



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Pablo Roberto Rios Toko

Asesorado por el Ing. Saúl Cabezas Durán

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO ROBERTO RIOS TOKO

ASESORADO POR EL ING. SAÚL CABEZAS DURÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Kevin Armando Cruz Lorente |
| VOCAL V | Br. Fernando José Paz González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Rolando Barrios Archila |
| EXAMINADOR | Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Gilberto González Padilla |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de noviembre de 2017.

Pablo Roberto Rios Toko

Guatemala,
07 de Septiembre de 2020

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director de Escuela
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica – **EIME-**
Facultad de Ingeniería – **FIUSAC -**
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

El motivo de la presente es para informar respecto a la asesoría al estudiante **Pablo Roberto Ríos Toko** quien se identifica con número de carné universitario 2005-11,775; número de DPI 2216 87106 0101 en el Trabajo de Investigación de Tesis titulado:

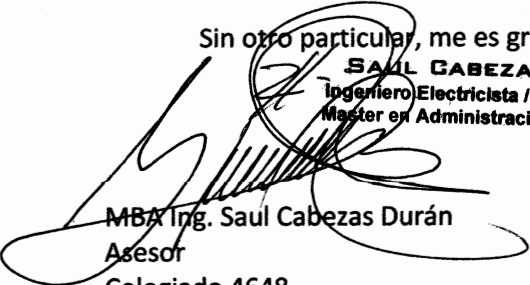
“MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”

Luego de haber revisado el contenido del trabajo de investigación, encuentro que el contenido es interesante y cumple con los objetivos planteados en la investigación, por lo que no tengo ningún inconveniente en extender la **APROBACIÓN** al trabajo de investigación de tesis en mención.

Por lo anterior expuesto, el autor de ésta y su servidor, como asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, me es grato suscribirme como su atento y seguro servidor,

SAUL CABEZAS DURÁN
Ingeniero Electricista / Colegiado 4648
Maestr en Administración de Empresas



MBA Ing. Saul Cabezas Durán
Asesor
Colegiado 4648

Email: scabezas@ing.usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 8 de septiembre de 2021

Ingeniero
Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería USAC

Ingeniero Rivera:

Por este medio, con base a lo indicado en el REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADUACION vigente, tengo a bien proponer la aprobación del trabajo de graduación titulado:

MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

del estudiante PABLO ROBERTO RIOS TOKO, habiendo cumplido con los requisitos establecidos en el referido reglamento y conforme la aprobación del asesor.

Sin otro particular

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Moscoso Lira', written over a set of diagonal lines.

Ingeniero Fernando Alfredo Moscoso Lira
Coordinador Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 158 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; PABLO ROBERTO RIOS TOKO titulado: MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 2 DE NOVIEMBRE 2,021.

Facultad de Ingeniería

Decanato

24189101-

24189102

secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.033.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**, presentado por: **Pablo Roberto Rios Toko**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuerza que lo mantiene a uno en el camino correcto a pesar de todas las adversidades de la vida.
- Mi madre** Rebeca Clara Mendía, por ser el apoyo incondicional en todo momento y mi único pilar para lograr culminar la carrera que empecé.
- Mi esposa** Jessica Ortiz por la paciencia y apoyo incondicional en cualquier adversidad presentada.
- Mi hijo** Fabio Rios, mi máxima inspiración y principal influencia en mi vida como profesional
- Mis hermanos** Douglas y Rudy, por estar siempre a la expectativa y pendientes de mi bienestar.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Honorable casa de estudios que enriqueció el aprendizaje y motivó a la superación personal.

Facultad de Ingeniería

Por desempeñar los objetivos de aprendizaje propuestos y demostrados con alta capacidad.

Familia y amigos

Por todos los buenos momentos compartidos a través del recorrido de lo que se llama vida.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XV |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN..... | XIX |
| | |
| 1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL..... | 1 |
| 1.1. Inicios de la automatización | 1 |
| 1.2. Desarrollo de la automatización..... | 3 |
| 1.3. La automatización | 5 |
| 1.4. Sensores, actuadores y transductores | 10 |
| 1.5. Características | 12 |
| 1.6. Dispositivos de control | 15 |
| 1.7. Evolución | 17 |
| 1.8. Dispositivos de interfaz humano máquina | 18 |
| 1.9. Aspectos importantes..... | 21 |
| | |
| 2. TECNOLOGÍA DE EQUIPOS Y SISTEMAS | 25 |
| 2.1. Generalidades de tecnologías | 25 |
| 2.2. Tecnología mecánica | 29 |
| 2.3. Tecnología neumática | 30 |
| 2.4. Tecnología hidráulica | 33 |
| 2.5. Tecnología eléctrica | 35 |
| 2.6. Tecnología de controladores..... | 37 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.7. | Clasificación general | 41 |
| 2.8. | Características de migración..... | 44 |
| 2.9. | Interfaces de operación modernas | 45 |
| 2.10. | Interfaces de diálogo..... | 45 |
| 2.11. | Control y señalización | 50 |
| 2.12. | Supervisión y monitoreo..... | 53 |
| 2.13. | Sistemas de información aplicados | 55 |
| 2.14. | Prestaciones de un sistema de información | 62 |
| 2.15. | Sistema de visualización y control | 65 |
| 2.16. | Sistema de históricos | 70 |
| 2.17. | Sistema de reportes | 76 |
| 2.17.1. | Aplicación en la industria..... | 77 |
| 2.17.1.1. | Características de migración..... | 83 |
| 3. | ARQUITECTURA DE DISEÑO Y RED | 87 |
| 3.1. | Generalidades..... | 87 |
| 3.2. | Requerimientos entre nivel de planta y nivel corporativo | 92 |
| 3.3. | Convergencia de redes en una planta industrial | 95 |
| 3.4. | Modelos y niveles de red | 104 |
| 3.5. | Topología anillo..... | 109 |
| 3.6. | Topología estrella..... | 110 |
| 3.7. | Topología mixta..... | 111 |
| 3.8. | Comunicación y protocolos..... | 113 |
| 3.9. | Modelo de Referencia OSI..... | 115 |
| 3.10. | Modelo de referencia TCP/IP..... | 117 |
| 3.11. | Medios de transmisión | 118 |
| 3.12. | Tecnología Wi-Fi | 123 |
| 3.13. | Tecnología <i>Bluetooth</i> | 124 |
| 3.14. | Tecnología infrarrojo | 125 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.15. | Tecnología microondas: | 126 |
| 3.16. | Estándares y protocolos de comunicación | 127 |
| 3.16.1. | Comunicación RS-232 | 128 |
| 3.16.2. | Comunicación RS-422/RS-485 | 129 |
| 3.16.3. | Profibus | 130 |
| 3.16.4. | Profinet | 131 |
| 3.16.5. | Modbus | 132 |
| 3.16.6. | DeviceNET | 133 |
| 3.16.7. | ControlNET | 134 |
| 3.16.8. | RemotelO (RIO) | 135 |
| 3.16.9. | Ethernet | 136 |
| 3.17. | Red de información Ethernet IP | 142 |
| 3.18. | Adaptación dentro de la industria | 143 |
| 3.18.1. | Campo de aplicación | 144 |
| 3.18.2. | Crecimiento de Ethernet IP | 145 |
| 4. | MIGRACIÓN Y MODERNIZACION DE TECNOLOGIAS APLICADAS | 149 |
| 4.1. | Inicios de migración y modernización | 149 |
| 4.1.1. | Propósitos de migración | 153 |
| 4.1.2. | Precedente de migración | 154 |
| 4.1.3. | Estrategias de migración | 158 |
| 4.1.4. | Diseño y desarrollo de migración | 161 |
| 4.1.5. | Finalización y puesta en marcha | 164 |
| 4.1.6. | Normativas dentro de la automatización industrial | 166 |
| 4.2. | Referencia descriptiva migración de máquina rotativa | 167 |
| 4.2.1. | Propósito de migración máquina rotativa | 168 |
| 4.2.2. | Precedentes de migración máquina rotativa | 169 |
| 4.2.3. | Estrategias de migración en máquina rotativa | 174 |

4.2.4. Finalización y puesta en marcha 187

CONCLUSIONES 191

RECOMENDACIONES 193

BIBLIOGRAFÍA 195

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Máquina transfer circular | 6 |
| 2. | Máquina transfer lineal | 7 |
| 3. | Proceso de automatización | 9 |
| 4. | Proceso de obtención de señales de campo | 12 |
| 5. | Sistema de engranajes helicoidales | 30 |
| 6. | Sistema neumático | 31 |
| 7. | Cilindro de simple efecto | 32 |
| 8. | Cilindro de doble efecto | 32 |
| 9. | Niveles de instalaciones neumáticas..... | 33 |
| 10. | Elementos básicos de un circuito hidráulico | 35 |
| 11. | Tendencia comparativa inversión – funcionalidad | 42 |
| 12. | Características técnicas de evaluación para control | 44 |
| 13. | Pilotos luminosos complementarios | 48 |
| 14. | Visualizador de control y monitoreo | 49 |
| 15. | Información de Eventos en Pantallas | 49 |
| 16. | Arquitectura de red como supervisión | 55 |
| 17. | Esquema de variables en línea de proceso | 72 |
| 18. | Esquema de bases de datos relacionables..... | 73 |
| 19. | Sistema de información industriales..... | 76 |
| 20. | Sistemas para generación de informes | 86 |
| 21. | Puntos de mejora en arquitectura de red | 90 |
| 22. | Características modernas de arquitectura de red | 91 |
| 23. | Definición de zonas de red | 94 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 24. | Convergencia de redes industriales | 102 |
| 25. | Modelo piramidal | 105 |
| 26. | Modelo plano | 105 |
| 27. | Sistema de control distribuido | 106 |
| 28. | Topología anillo | 110 |
| 29. | Topología estrella | 111 |
| 30. | Topología mixta | 112 |
| 31. | Modelo OSI | 115 |
| 32. | Modelo TCP / IP | 117 |
| 33. | Tecnología medio no guiado | 122 |
| 34. | Tecnología medio guiado | 122 |
| 35. | Tecnología Wi-Fi..... | 123 |
| 36. | Tecnología Bluetooth..... | 125 |
| 37. | Tecnología infrarrojo..... | 126 |
| 38. | Tecnología microondas | 127 |
| 39. | Repetidor Ethernet 1783-US16T | 138 |
| 40. | Puentes Ethernet 1783-ETAP | 139 |
| 41. | Enrutador Ethernet M876-4 | 140 |
| 42. | Pasarela Profibus DP hacia Ethernet IP PLX51-PBM | 141 |
| 43. | Análisis de migración..... | 151 |
| 44. | Líneas generales de estrategias de migración..... | 159 |
| 45. | Estado de ciclo de vida del producto..... | 171 |
| 46. | Diagrama de red actual RIO..... | 172 |
| 47. | Diagrama de red actual DH+..... | 173 |
| 48. | Diagrama de red actual DeviceNet..... | 173 |
| 49. | Sistema de conversión rápida PLC5 hacia Controllogix | 176 |
| 50. | Desconexión de pinetas cableadas de módulos PLC-5..... | 177 |
| 51. | Desinstalación chasis PLC-5 y montaje base de conversión..... | 178 |
| 52. | Montaje de bases de conversión y pinetas de señales de campo..... | 179 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 53. | Montaje de chasis ControlLogix y conexión de señales de campo..... | 179 |
| 54. | Conversión del final del sistema | 180 |
| 55. | Migración fase 2 de chasis secundario red RIO a Ethernet..... | 181 |
| 56. | Migración fase 3 de variadores por DeviceNET hacia Ethernet | 182 |
| 57. | Migración fase 4 de cabeceras remotas RIO hacia Ethernet..... | 183 |

TABLAS

| | | |
|------|--|-----|
| I. | Clasificación general de tecnologías | 29 |
| II. | Modelos de red | 88 |
| III. | Aspectos de red para nivel de planta y corporativo | 92 |
| IV. | Listado de señales chasis principal | 174 |
| V. | Listado de señales chasis secundario..... | 175 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------|---|
| IACS | <i>Industrial Automation Control System</i> |
| IIoT | <i>Industrial Internet of Things</i> |
| IT | <i>Information technology</i> |
| I/O | <i>Input / Output</i> |
| HMI | Interfaz humano - máquina |
| IP | <i>Internet protocol</i> |
| Mbit / s | <i>Mega bit per Second</i> |
| OSI | <i>Open System Interconnection</i> |
| OT | Operation technology |
| OEE | <i>Overall Equipment Effectiveness</i> |
| RIO | <i>Remote Input Output</i> |
| SCM | <i>Supply Chain Management</i> |
| TCP | <i>Transmission Control Protocol</i> |
| VPN | <i>Virtual Private Network</i> |

GLOSARIO

| | |
|--------------------|--|
| Actuador | Dispositivo encargado de realizar el movimiento final de control. |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CAM | <i>Computer Aided Manufacturing</i> |
| CIM | <i>Computer Integrated Manufacturing</i> |
| CIP | <i>Common Industrial Protocol</i> |
| Contactador | Equipo electromecánico utilizado para seccionar el paso de corriente por medio de inducción en el mando. |
| Corriente | Ionización de cargas que circulan a través de un medio conductor. |
| CPU | Unidad de procesador central |
| CRM | <i>Customer Relationship Management</i> |
| DCS | Sistema de Control Distribuido |
| ENIAC | <i>Electronic Numerical Integrator and Computer</i> |

| | |
|--------------------|---|
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> |
| Frecuencia | Variable física manifestada durante un período de tiempo. |
| ISO | International Standard Organization |
| KPI | <i>Key Performance Indicator</i> |
| LAN | <i>Local Area Network</i> |
| Manómetros | Instrumento utilizado para la medición de presión. |
| MES | <i>Manufacturing Execution System</i> |
| MTTR | <i>Mean Time to Repair</i> |
| PLC | Controlador lógico programable. |
| PAC | Controlador programable de automatización |
| Resistencia | Oposición a la conductividad de corriente en un circuito. |
| RTU | <i>Remote Terminal Unit</i> |
| SCADA | Supervisión, Control y Adquisición de Datos |
| Sensor | Dispositivo con capacidad de medición física. |

| | |
|---------------------|--|
| Temporizador | Equipo de control encargado de comandar la conexión y desconexión de un circuito eléctrico en un tiempo establecido. |
| Termómetro | Instrumento utilizado para la medición de la temperatura. |
| Transductor | Dispositivo encargado de convertir una medición en señal eléctrica. |
| Voltaje | Es la fuerza con la que se genera una diferencia de potencial eléctrico. |
| Web Server | <i>Servidor Web el cual brinda acceso a una aplicación por medio de una dirección IP a través de un navegador soportado.</i> |
| Wi-Fi | <i>Wireless Fidelity</i> |

RESUMEN

La obsolescencia y aplicación de tecnologías en las diferentes instalaciones industriales, que cuentan con sistemas de control ya con un recorrido dentro las plantas industriales y cierto tiempo de operación, siempre presentan riesgos en cuanto a la seguridad y/o disponibilidad de procesos que desempeñan; al no existir los procedimientos establecidos para realizar su modernización, actualización y reemplazo de los activos, estos podrán presentar un bajo indicador de eficiencia al llegar a ocurrir una falla dentro del equipo o podrán quedar excluidos dentro de la posibilidad de ser integrados hacia un sistema de manufactura empresarial por ser una tecnología antigua o desactualizada en donde ya no cuentan con soporte y respaldo.

Un sistema de control obsoleto desarrolla sus funciones de manera independiente con el fin de no depender de ningún otro sistema, debido a que su arquitectura fue contemplada con limitaciones al avance de la tecnología de su época y la capacidad de manejo de señales y/o memorias de los procesadores no se encontraban tan evolucionadas. Los equipos considerados como sistemas heredados, generan altos costos de funcionamiento y operación, debido a que, al no existir un respaldo en caso de pérdida del equipo o un cambio de un módulo esencial del sistema de control, impacta en las capacidades de poder adaptarse a un entorno en donde las demandas de producción son actualizadas constantemente y crecen los requerimientos, de tal manera que, al presentar un importante proyecto de migración de tecnología, los componentes y el software conjunto, transformarán los sistemas de automatización en aliados para el éxito de la empresa de manufactura.

Los sistemas de automatización modernos brindan ventajas en cuanto a rendimiento, flexibilidad y confianza, asegurando tiempos de producción y reduciendo paros no programados, reduce los costos de mantenimiento por medio de identificación rápida de fallas, aumenta la eficiencia de la planta, mejora la calidad del producto, brinda protección al personal, activos y medio ambiente relacionados con la planta. Ofrecen también versatilidad de monitoreo y modos de operación convenientes al proceso, posibilidad de consultar en tiempo real cualquier indicador programado o generación de forma automática de informes que llevan los datos relevantes hacia los niveles gerenciales de criticidad para la toma acertada de decisiones dentro de las instalaciones de la planta industrial y un valor agregado en todos los niveles de la empresa conectada, por medio de aumento de rentabilidad, alto indicador de eficiencia, actualización de activos, protección de su información, mejoramiento de experiencia en las áreas involucradas desde el nivel de operación hasta el alto nivel gerencial.

OBJETIVOS

General

Generar las migraciones de tecnologías por medio de modernización de hardware y software de automatización industrial.

Específicos

1. Identificar las oportunidades de mejora constante en las distintas áreas de las industrias, con relación al control y monitoreo de procesos industriales.
2. Interpretar y clasificar los alcances de las soluciones de automatización, con relación a contemplar el futuro crecimiento del sistema y aumento de indicador de disponibilidad de producción.
3. Clasificar las distintas aplicaciones de los sistemas de información como solución integral a la migración de tecnologías en los procesos automatizados y plataformas de adquisición de datos.
4. Evaluar los puntos críticos relacionados a una migración de tecnología heredada de la forma menos invasiva para el plan de producción en la industria.
5. Reconocer e identificar las propuestas de mejoramiento de sistemas automatizados y su impacto en la toma de decisiones.

6. Utilizar las tecnologías modernas en sistemas de automatización industrial.

INTRODUCCIÓN

El sector industrial en Guatemala actualmente cuenta con diversidad de áreas y procesos de fabricación, controlados y operados por medio de las distintas máquinas y equipos de control, en donde pueden ser, desde elementos mecánicos y electromagnéticos hasta los poderosos microprocesadores autómatas programables. El personal involucrado a las mejoras constantes y técnicos especialistas de la automatización industrial, cada vez tienen más claro que su futuro depende en gran medida de la modernización de equipos y reducción de recursos invertidos en los distintos niveles de la industria por medio de la inversión en la migración de tecnologías de automatización, que al ser implementadas reducirán tiempos muertos productivos y aumentarán eficiencias mejorando las métricas definidas.

El presente trabajo de graduación trata sobre las distintas migraciones de tecnologías en el ámbito de la automatización, con el fin de modernizar el sector industrial, es decir, la implementación de cambios necesarios de tecnología, tanto en hardware como en software, y que sean aplicados en todas las categorías de las distintas áreas de producción, por medio de los controles automáticos diseñados para sistemas avanzados y fáciles de ser integrados en sistemas de automatización, que al ser modernizados por medio de las migraciones, y combinando las distintas tecnologías, se logran optimizar las instalaciones de planta aumentando el mejoramiento de control, visualización, instrumentación y sistemas de información, que son los elementos esenciales para la toma de decisiones de una manera rápida y certera para control de procesos.

1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

La automatización de los distintos procesos industriales ha sido parte de los objetivos más importantes en las empresas para su desarrollo, y se define como una máquina o conjunto de equipos incorporados en un sistema por medio de elementos tecnológicos que brindan la seguridad y disponibilidad de control y visualización del comportamiento de procesos industriales. Deben de ser capaces de reaccionar ante las distintas condiciones previstas y establecidas como alcance de un proyecto para asegurar el objetivo y aprovechar tanto los recursos humanos como los de materia prima.

A través de los años, ha dado lugar un avance abismal en la industria por medio de las migraciones hacia nuevas tecnologías. Todo ha sido posible gracias a una serie de factores entre la modernización de equipos en el campo mecánico, electrónico, eléctrico, comunicaciones, y sobre todo el control y regulación de sistemas y procesos particulares; su integración es, sin lugar a dudas, el elemento puente que permite realizar una migración de tecnologías hacia una automatización integral de procesos industriales.

1.1. Inicios de la automatización

Desde la antigüedad, el hombre se ha cautivado por las máquinas que se mueven por sí solas, y en la antigua cultura se les describió por primera vez como autómatas. En la Grecia antigua, aparecieron los primeros mecanismos que se movían a través de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas; pero no fue hasta mucho más tarde cuando el perfeccionamiento de la mecánica permitió construir

autómatas complejos con movimientos secuenciales. El término autómatas, aparece primero por su nombre en inglés en el año 1625 y fue relacionado a la idea de inteligencia artificial, que dio como resultado de la evolución de la ciencia durante los siglos XVI y XVII. El desarrollo de la mecánica precisa para la fabricación de piezas fue un factor relevante en la edad de oro de los autómatas.

A partir del siglo XVII, empezaron las ideas de los autómatas para las primeras máquinas de la industria textil. Desde ese momento se puede decir que había empezado la mecanización y automatización de los procesos industriales. La revolución industrial y la producción de artículos y bienes entró en un proceso de desarrollo continuo, el cual impactó en la economía mundial con cambios fundamentales a finales del siglo XVIII. Al mismo tiempo, se introducen importantes cambios sociales los cuales generarían una etapa radical en la era de los autómatas, en donde se dieron cuenta de la importancia de la automatización de las fábricas y procesos, es decir, la producción con la menor intervención humana posible.

Fue en ese momento cuando se empezaron a desarrollar los elementos básicos que inciden en la automatización de los procesos industriales; los sistemas de control que permiten gobernar el funcionamiento de las máquinas y los procesos automáticos que realizan las operaciones secuenciales programadas. La producción en masa se convierte en la principal inversión para sobresalir en conjunto a sus similares de ámbitos agrícolas competitivos del negocio, siendo así la principal diferenciación la continuidad de fabricación de manera automática.

Cuando existen condiciones favorables dentro de la industria, la transformación y migración de sistemas de automatización se basa en: la mecanización del trabajo, la aplicación de las energías en favor hacia las

máquinas y la modernización de los sistemas por medio de migración de tecnologías. Los inventos empiezan a surgir de la práctica y experiencia de los artesanos, que adaptaron soluciones prácticas capaces de un aumento de producción y disminución de costos, manteniendo la calidad por un mismo bien producido y desarrollado a través de cambios y mejoras, los cuales nos llevan a reverenciar y perfeccionar cada vez más la automatización industrial.¹

1.2. Desarrollo de la automatización

El desarrollo económico a nivel mundial en el siglo XX es conmovido de una manera trascendental en donde el control automático y el control de procesos, evoluciona a pasos monumentales por medio de la vanguardia de nuevos conocimientos respecto a la manufacturación de tecnologías. Inicialmente, un control automatizado industrial, implementado por medio de sistemas mecánicos convencionales, carece de rapidez y exactitud de los sistemas electrónicos actuales, por lo tanto, los sistemas mecanizados se vieron en la necesidad de migrar hacia sistemas electromecánicos, eléctricos y sistemas electrónicos que existen actualmente.²

Los sistemas controlados por lógica cableada, fue la mejor forma de realizar un control por medio de señales eléctricas, sin embargo, su largo tiempo de puesta en marcha, alto consumo de energía, entre otras desventajas y con la aparición del transistor, la lógica de control, logró una mejora respecto al consumo energético, aumento del tiempo de respuesta y mejora de tamaño físico para áreas de espacio reducidos, en donde cada vez se fueron implementando unidades cada vez más rápidas, compactas, confiables y con mayor capacidad de realizar operaciones para las máquinas de proceso. La combinación de lógica

¹ GUTIÉRREZ SUQUILLO, Nelson Ramiro. *Migración de una red PLC's con protocolo Modbus a una red con plataforma ethernet.* p. 2.

² Ibid.

cableada y un sistema de levas, es utilizado para la realización de movimientos mecanizados, utilizados por su simplicidad, de tal forma que se ejecuten los movimientos secuenciales de un proceso.

La utilización de este tipo de mecanismos se extendió rápidamente a lo largo de la industria de fabricación, pero siempre se manifestaban limitaciones importantes cuando se exige alta velocidad, diversos grados de movimientos, sensibilidad y un tamaño reducido de todo el sistema. Por estas razones, los dispositivos de control mecánico fueron avanzando a través del tiempo, generando una interrelación en otros modelos de control combinando los sistemas eléctricos/electrónicos, hidráulicos y neumáticos. Un principal evento de la automatización a través del tiempo, en forma general, es el control automático regulable de velocidad centrífuga de James Watt, en donde como objetivo de control es la posición a partir de una velocidad rotacional.

Un elemento adicional, para los reguladores, fue el control de grandes máquinas, donde apareció el concepto de servomecanismo para describir un sistema de regulación automático, que se basa en el funcionamiento de un motor controlado por un sistema de mayor exactitud. El siguiente avance tecnológico, fue la utilización de cintas perforadas. En este proyecto se desarrollaron las primeras máquinas de control numérico, en las que las posiciones sucesivas de las herramientas, mesas posicionadoras, velocidades y alimentadores eran indicadas por agujeros en la cinta.

Todo esto encamina el desarrollo de la automatización de procesos por medio de operadores artificiales, máquinas involucradas desde el inicio hasta el final de la producción, con la mínima o nula intervención del operador humano, que se convierte básicamente en la supervisión del sistema, en donde el control automático, es necesario como función vital en el avance de ingeniería y

tecnología industrial de los procesos y aplicaciones industriales, donde se genera la necesidad de almacenar la secuencia de operaciones, cambios de tiempos de operación y cubrir las aplicaciones cada vez más complejas y de una forma más eficiente.

Los sistemas de control automático son capaces de convertirse en estables, cuando se utiliza la retroalimentación en frecuencia como elemento básico de todo el sistema de control y que satisfagan los requerimientos de acuerdo al desempeño de una tarea en específico. Las señales generadas de entradas y salidas para un sistema de control, en los procesos industriales, donde se requiere mantener los parámetros del producto final y asegurar la calidad en su fabricación; con la posibilidad de llevar todos los datos hacia un sistema de información para su posterior análisis e interpretación de indicadores.

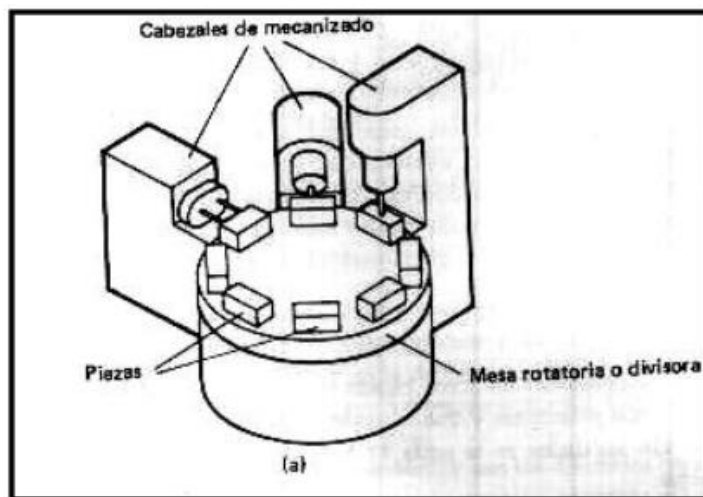
1.3. La automatización

El término de automatización se define como una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con una mínima o sin participación de una persona asignada al trabajo operativo.

Las primeras máquinas automáticas fueron principalmente desarrolladas para la industria textil. A través del tiempo, la producción de piezas específicas fue desarrollada por medio de la fabricación de poleas. La máquina realizaba todas las operaciones hasta obtener la polea y tuvo mucho éxito porque minimizó el número de operarios en una décima parte, reduciendo en paralelo la posibilidad de error.

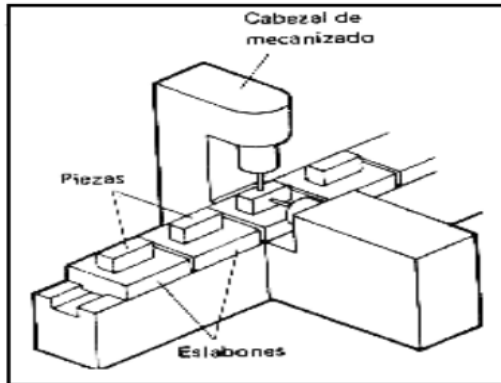
Una de las circunstancias en el progreso de la automatización en la industria, fue la máquina transfer. Su principio radica en un número determinado de estaciones de trabajo, cada una de ellas realiza una tarea específica, montadas sobre una base común que dispone de un sistema de alimentación integral que traslada automáticamente el producto terminado de una estación a otra. Esta máquina integra dos mecanizaciones en la automatización: la máquina automática y el transporte del producto entre máquinas.

Figura 1. **Máquina transfer circular**



Fuente: RÖGNITZ, Hans. *Herramientas para el trabajo de materiales con arranque de viruta.*
p. 23.

Figura 2. **Máquina transfer lineal**



Fuente: RÖGNITZ, Hans. *Herramientas para el trabajo de materiales con arranque de viruta*. p. 23.

Un importante paso en la automatización de procesos fue la introducción del movimiento continuo, que permite procesar un producto mientras se transporta. Este es un concepto que no se puede aplicar a cualquier tipo de industria, pero que tiene gran importancia en determinados métodos de proceso. La idea fue tomada e incorporada hacia cadenas de ensamblaje. Henry Ford fue quien creó una cadena de montaje de magnetos para lograr un movimiento continuo, generando para la empresa, la reducción de personal y la mejora de calidad del producto. Posterior a esto, se siguió aplicando la misma técnica a distintos procesos para la manufactura de automóviles.

Los siguientes eventos afectaron la demanda de productos, donde se fue incrementando, de tal manera, que la cadena de ensamblaje como elemento imprescindible para la disminución de tiempo de producción, aumentó de calidad de proceso y la reducción de costos asociados a la mano de obra humana fue una de las prioridades de los distintos procesos de producción. Conforme el tiempo fue avanzando, después de la Segunda Guerra Mundial, la

automatización de los procesos industriales, llegó a tal condición que empieza a ser afectada por factores de aumento de complejidad y rigidez en las instalaciones y máquinas, así como la falta de definición de un sistema de control adecuado, en donde la aparición de la microelectrónica, microprocesadores de computadoras y el nacimiento del primer Controlador Lógico Programable, que ha facilitado el desarrollo de técnicas de control complejas desde sus inicios, en paralelo a la robótica y para luego incorporarse los protocolos de comunicación donde se genera la implementación de comunicación entre los sistemas de automatización y control.

Todos estos elementos transmiten en conjunto un aumento de productividad y mejora de calidad de manufactura final, debido a su convergencia y modernización de interconectividad, digitalización, internet industrial de las cosas, inteligencia artificial, robótica avanzada, *Machine Learning*, *Big Data*, *Cloud Computing*, *Business Intelligence*, Ciberseguridad, entre otros; en donde serán necesarias las transformaciones y migraciones en todos los ámbitos de la industria moderna para poder adaptarse hacia la tendencia de tecnología industrial.

El control en los sistemas modernizados de automatización realizan una tarea independiente y autónoma, es decir, las mismas máquinas operan por medio de los dispositivos y equipos que le permiten recibir información de los cambios en sus entornos de ciertas condiciones o variables bajo las cuales son sometidas y que pueden ser recabadas o traducidas para realizar los ajustes necesarios de compensación a cambios según las necesidades del proceso y de esta manera mantener un control referido a la respuesta de un sistema aplicado y debidamente representado por equipos industriales de automatización. Para ello, los principios de los sistemas automatizados se basan en una respuesta a

las variaciones de las condiciones externas, las cuales se pueden clasificar en tres fases: medición, evaluación y control.

Figura 3. **Proceso de automatización**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

- Medición, para que un sistema automatizado reaccione ante los cambios de su entorno, este debe ser capaz de medir los cambios físicos de su alrededor. La información obtenida en base a las mediciones realizadas es necesaria para realizar un control y se le llama retroalimentación, ya que el sistema contará con un ingreso de datos para después realizar el respectivo control del proceso.
- Evaluación, la información obtenida por medio de las mediciones, es evaluada para luego determinar cuáles son las acciones que deberán de ejecutarse o no, y en qué magnitud deberán ser realizados los cambios necesarios.
- Control, como consecuencia a una medición y evaluación, aparece el control, el cual aplica las acciones correspondientes para los cambios de un sistema hasta obtener un resultado aceptable en base a las condiciones previamente evaluadas y establecidas.

Dentro de las configuraciones que pueden realizarse en un proceso automatizado, es necesario realizar un dimensionamiento adecuado de los equipos e instrumentos que se serán implementados para el desarrollo del proyecto, los cuales generarán un valor agregado, ya que en la actualidad las tecnologías permiten una amplia variedad de aplicaciones las cuales pueden ser integradas en conjunto para el cumplimiento de los requerimientos del proceso en el ámbito de la industria moderna.

El resultado de una planeación, la utilización de herramientas mejoradas, y la aplicación de métodos de migración, son aprovechados por los fabricantes de máquinas y/o industrias en conjunto a la automatización y la tendencia de tecnologías modernas, donde es necesario aplicar las técnicas de migración necesarias, que surgen en base a los requerimientos de procesos industriales más exigentes y críticos, desde la introducción de la materia prima, hasta la terminación del producto final, en donde tiene como base la automatización industrial, el aprovechamiento de todos los recursos disponibles.

1.4. Sensores, actuadores y transductores

Dentro de la automatización industrial, existe la necesidad de mejora constante, para ello se requiere la implementación de medición de variables físicas de procesos, la cual resultará en la obtención del control, y luego para la toma pronta y acertada de acciones, por lo tanto, si existe algo que se puede medir, entonces se puede controlar, y si se puede controlar, entonces se puede mejorar.

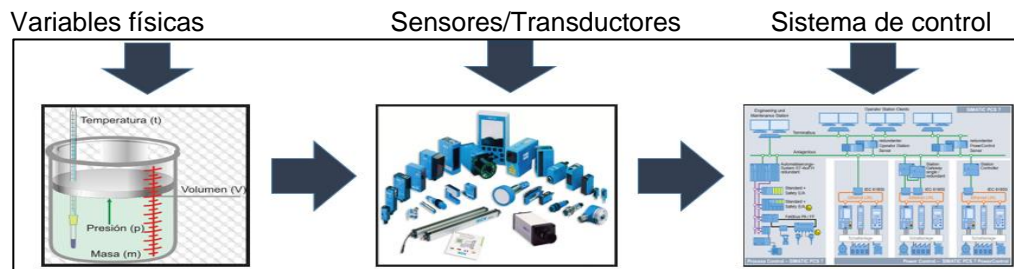
A los dispositivos que están encargados de la detección y/o medición de una variable física en específico se le llaman sensores, y sus componentes son los encargados de detectar la variable física a medir. El transductor es el

encargado de convertir la variable física a una forma alternativa de comunicación o señal eléctrica para control. Los dispositivos que convierten la señal de control en una variable física se le llama: actuador, y por lo general necesita una fuente de alimentación externa para su funcionamiento.

A la evolución de sensores, actuadores y transductores, se le consideraba en el tiempo de la mitología griega como fabricación de dispositivos mecánicos con comportamiento similar al humano, pero su aparición en los sistemas de automatización y control no había sido posible por la tardía aparición del computador, para luego incorporarse en conjunto a la robótica, los PLC's con una ligera demora debido a la utilización de los metales suficientemente ligeros en la construcción de las tecnologías mencionadas.

Una vez se han acondicionado los elementos mecánicos adecuados para su desarrollo, los sensores, actuadores y transductores, se enfocan en el procesamiento de una señal generada por un instrumento de aplicación, que a u vez brinda una mejora de compensación de señal de alguna otra variable física, para luego lograr como objetivo una señal normalizada. Luego se implementa la ingeniería de mejora dentro de los sistemas digitales derivados de la conversión de señales analógicas a señales digitales, como la conmutación remota y la direccionalidad, la cual consiste en monitorear la posibilidad de identificar en qué punto se encuentra el sensor para un seguimiento de control adecuado.

Figura 4. **Proceso de obtención de señales de campo**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

1.5. Características

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas en el sector de la automatización como: variables de instrumentación o de proceso, que a su vez tienen propiedades de transformar hacia una señal eléctrica dentro de un controlador, para la posterior realización de un automatismo determinado, según necesidad del proceso o aplicación. Algunas de las variables de instrumentación pueden ser:

- Temperatura
- Revoluciones por minuto (RPM)
- Posición
- Desplazamiento
- Presión
- Nivel
- Torque
- Humedad
- Presencia
- Concentración Ph

Estas variables podrán estar o no, siempre en contacto con el instrumento de medición, que recopilará el estado de la variable en campo para luego ser transmitida a otro dispositivo, siendo de gran valor para industrias que exigen un control de fabricación de acuerdo a distintas aplicaciones y conforme se vayan realizando las migraciones de los sistemas de control, se deberán implementar cada vez más los instrumentos de medición específica y con un porcentaje de error mínimo para obtener la certeza de sus sistemas de control. En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, para posteriormente puedan brindar un mantenimiento y regulación de todas las variables eléctricas programadas de forma visual hacia el usuario, en base a un proceso de control lo más exacto, y en donde el operador realice el menor tiempo de intervención durante la supervisión.

En los inicios de la era industrial, el operador llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando únicamente islas de control con instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, entre otros. Dicho control era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad y mayor exigencia de calidad para un producto final, ha generado en la automatización una progresión por medio de los instrumentos de medición y control.

Estos instrumentos han ido liberando al operador de su función y dependencia de actuación física directa y realización de control manual en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y monitoreo del proceso desde centros de control ubicados en el nivel de planta o bien en salas aisladas de control; asimismo, como beneficio de los instrumentos, ha sido posible la fabricación de productos complejos en condiciones estables de calidad y características, en condiciones donde los operadores antes se complicaban en lograr su adquisición de información utilizando un control manual

y en donde se requerían muchos operadores para observar los instrumentos y maniobrar los actuadores.

Los instrumentos de control fueron evolucionando a medida que las exigencias del proceso lo implantaron. Las necesidades de la industria fueron, y son actualmente, el impulsor que puso en marcha la ingeniería de los fabricantes o de los propios usuarios, para idear y llevar a cabo la fabricación de los instrumentos con mayor fiabilidad desde la medición en campo, hasta el acceso a su estado de operación, gracias a la incorporación de los transmisores modernos, permitió también la centralización y función de entradas y salidas de variables medidas, que a su vez regulan todo un sistema de control dentro del proceso en una lógica programada. Los instrumentos de reciente tecnología se han ido modernizando conforme el tiempo y presentan características técnicas, las cuales cumplen las normas según la aplicación dentro de la instalación y proceso, para brindar el aseguramiento de calidad y proceso.

Los sistemas de instrumentación y actuadores fueron desarrollados y perfeccionados por temas de fabricación, los instrumentos se fueron haciendo todavía más complejos y su implementación se convierte en una necesidad. Las plantas industriales empiezan de manera individual y modo piloto o de forma modular, a implementar la migración de sus componentes para que el aseguramiento de los valores medidos y acciones realizadas sean lo más cercano posible a su realidad, donde se contemplan los cambios necesarios de equipos receptores, transmisores, graficadores e instrumentación y actuadores en general.

1.6. Dispositivos de control

El control de procesos industriales inicia con la implementación de mandos utilizando la forma cableada, lógica de relés, contactores y temporizadores. Al operador de turno se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizar las tareas de operación y mantenimiento de producción, para luego mantener en forma continua el proceso de la máquina. Al existir un evento externo o una variación durante el proceso, se hace necesario modificar físicamente gran parte de las conexiones de las instalaciones, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor presupuesto para cubrir la revisión de las áreas involucradas para modificar el control del proceso.

El Controlador Lógico Programable (PLC) surge con base en la necesidad de control de circuitos complejos de automatización, que al final se integra a otros equipos eléctricos/electrónicos, reemplazando los circuitos auxiliares y/o de mando de los sistemas por lógica cableada. En la actualidad, cuando un proceso complejo de alto nivel es desarrollado por técnicas cableadas, se empezará a generar un incremento en el índice de paro no programado al ocurrir una falla, en cambio, al ocurrir la misma falla dentro de un sistema automatizado, esta puede ser detectada y diagnosticada por una secuencia de programación debidamente programada. La computadora y los Controladores Lógicos Programables han influenciado de forma notoria, como punto de mejora, su implementación diaria, impulsa principalmente sus migraciones por el tipo de instalaciones que ya cuentan con la tecnología instalada, y que se encuentra obsoleta o próxima a vencer su tiempo de soporte.

Una migración de tecnologías de control, brindan la seguridad y disponibilidad de funcionamiento de todos los componentes de un sistema, con un índice alto satisfactorio. Inicialmente se utilizaba un control de procesos, a

partir de un único procesador que integrara la visualización y mando de tareas. Por otro lado, la velocidad de procesamiento debía de estar dimensionado en base a la rapidez de ejecución del programa secuencial de tareas, sus lazos de control como parte esencial del proceso y densidad de señales a controlar. Asimismo, el software de cada dispositivo de control necesita la versatilidad de realizar funciones complejas para cargar modificaciones en línea.

Sin embargo, debido al alto costo de los controladores de gama alta, debido a las exigencias del sistema y su baja fiabilidad a partir de un único procesador, no fue ampliamente aceptado, por su bajo rendimiento, poca capacidad de señales a manejar, falta de funcionalidad de cambios en línea, y protocolos cerrados de comunicación, generando islas de control. Gracias al avance de la automatización y la introducción de los microprocesadores para tecnologías de control y automatización de diversas aplicaciones, el control de los procesos industriales empezó a ser evaluado según los niveles de aplicación, para que luego se fueran implementando las migraciones de tecnología, de ser una teoría, hacia la práctica de sistemas de control distribuidos totalmente transparentes, con capacidad de crecimiento y con arquitectura integrada para su fácil integración e incorporación dentro de las empresas.

El principal eje donde deberán de implementarse las migraciones de tecnologías de control ocurre en los procesadores y su sistema de entradas y salidas, ya que realizan fundamentalmente funciones de lógica programada, sustituyendo así a la clásica electrónica para el enclavamiento de relés, dentro de los paneles de control. Los controladores programables serán el principal promotor de migración, ya que dentro de su programación se ejecutarán las secuencias de órdenes donde se deberán contemplar características de control de PID, traslado de información, expansión y comunicación con los distintos sistemas de control.

1.7. Evolución

El primer PLC que regula la producción surge en el año 1969 con aplicación en la industria de fabricación de autos. Consistía en un controlador modular digital con funciones de coordinación central, reloj incorporado, memoria, módulos de entradas y salidas, temporizadores y fuentes de alimentación. El microprocesador tiene capacidad de evaluar los algoritmos adecuados, también acepta puntos de consigna remotos, aunque siendo la comunicación su principal limitante, debido a una corta habilidad de intercambio de señales entre procesadores, fue hasta el año 1973 donde se integra el protocolo Modbus. Al existir diversas tecnologías y marcas fabricantes de controladores, la mayoría presenta manejo de señales digitales, y diversidad de protocolos propietarios, haciendo que los sistemas no sean compatibles entre distintas marcas y generando complicaciones al momento de resolver una falla, demandando al personal técnico un alto conocimiento de la diversidad de marcas que se tienen en la empresa.

En 1983, aparece el transmisor digital con señal analógica de 4-20mA en corriente continua y se inicia el desarrollo de las comunicaciones *field bus*, entre los instrumentos de lazo de control. Se eliminan las incómodas y costosas calibraciones necesarias en los instrumentos convencionales y se facilita el cambio del campo de medida y el autodiagnóstico. Las migraciones que se vayan generando, pueden brindar un tiempo de respuesta inmediato al ocurrir una falla o aplicar un cambio en la operación en tiempo real para realizar los ajustes necesarios operativos.³

En 1986, aparece el primer transmisor enteramente digital, con lo que aumentan todavía más las prestaciones, con la única limitación importante en la normalización de las comunicaciones donde todavía no es posible el intercambio de instrumentos de diferentes marcas.

³ MARTÍNEZ ROMERO, David. *Antología de la asignatura de instrumentación*. http://www.tese.edu.mx/documentos2004/5275_ZFKLJYL.pdf. Consulta: 10 de enero de 2020.

En un sistema de automatización de su época, el intercambio de información entre diferentes marcas y tecnologías se vuelve una principal característica de evaluación en la actualidad para que sea lo más transparente posible, y gracias al Ethernet IP esto se vuelve una realidad por medio de las migraciones y tendencias en la industria moderna de control y automatización.

1.8. Dispositivos de interfaz humano-máquina

Los dispositivos de interfaz humano-máquina o HMI, se refiere a los sistemas que permiten operar y visualizar el estado de un proceso, el cual debe de estar comunicado hacia un controlador lógico programable, para luego generar una plataforma gráfica del estado en el que se encuentren las señales, permitir la escritura dentro del controlador, cambio de parámetros, variaciones de velocidad de forma manual / automática, monitoreo de variables, revisión de histórico de fallas, entre otros.

Como reseña histórica, las estaciones de operación de cada máquina o sistema de control fueron evolucionando desde un punto de vista práctico, con el desarrollo de un computador e integrador numérico electrónico (ENIAC) para la elaboración de datos necesarios en el proceso de las plantas de armas y municiones como primeras aplicaciones. Sin embargo, la primera aplicación industrial ocurrió con la introducción de los transistores como elementos básicos como parte de un computador. En 1960, fue implementada la primera línea de producción de resistencias controladas por computador. Dicha línea incluye aspectos de realización de control automático de producción y además adicionaba la mejora visual de inspección, ensamblaje y verificación de partes para su funcionamiento óptimo, incluyendo el monitoreo según se requiera y la posibilidad de carga de cambios a la máquina en tiempo real.

Una HMI, puede ejecutar una aplicación de los distintos equipos de campo digitalizados, en donde se pueden definir pantallas dedicadas a un proceso en específico y/o estaciones de ingeniería conformadas por potentes servidores de desarrollo y varios clientes como usuarios según diseño del DCS o isla de sistema de control. Las funciones de una interfaz pueden ser:

- El monitoreo y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos pueden ser mostrados como valores y pueden ser acomodados en la aplicación, de tal forma, que el operador identifique algún estado crítico de operación.
- La supervisión que permite en conjunto con la parte del monitoreo, el ajuste dentro de un entorno de automatización, modificar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la interfaz de operación, sin depender de conexión hacia el controlador para realizar cambios de funcionamiento de la máquina.
- Integración de alarmas donde se reconocerán todos los eventos que permitan notificaciones dentro del proceso y reportarlos en base a límites de control preestablecidos.
- Capacidad de realizar cambios en el control para mantener las acciones y valores del proceso dentro de los límites establecidos.
- Registro de históricos, donde se define un muestreo, para luego almacenar en archivos, datos del proceso en un determinado tiempo, con posibilidad a realizar tendencias y/o trasladar hacia una base de datos.

Una arquitectura de control y visualización de mayor capacidad es la de un control distribuido DCS, que fue introducida por medio de uno o varios microprocesadores que se encuentran repartidos en varios puntos estratégicos de la planta en conjunto con su interfaz de aplicación, que a su vez direccionan varias señales de proceso simultáneamente.

Todos estos controladores y pantallas se distribuyen de forma administrada y están comunicados para trasladar la información hacia un centro supervisorio central, el cual es llamado: control central, desde donde se tiene acceso a escribir cambios para habilitación de modo automático / manual, lectura para las variables de proceso, y por consiguiente, datos de la planta debidamente automatizada. La necesidad de coordinar los diversos controladores e interfaces de aplicación deberá establecer una jerarquía entre los mismos, y lograr una versatilidad que permita el cambio fácil del tipo de control y obtener la mayor disponibilidad posible en el proceso de la planta.

Para sistemas ya existentes de pantallas obsoletas y que se han dejado de fabricar, se recomiendan altamente las migraciones correspondientes con el apoyo del personal de planta para aportar a la nueva visualización como parte de la interfaz del operador, participación del área de mantenimiento y producción para reconocer su papel dentro de la nueva aplicación de la máquina, y todo esto se deberá de implementar dentro del proyecto de migración del sistema.

Se deberá identificar claramente la presentación visual del sistema de control, ya que será el método de monitoreo de las señales de forma visual hacia el operador; incorporando los requerimientos del usuario, donde se podrá virtualizar el proceso que puede incluir un sistema de tuberías, válvulas, bombas, motores, variadores de frecuencia, instrumentación de nivel, presión, flujo, entre otros. Las librerías gráficas permiten incorporar a la migración los diferentes

escenarios, logrando que se visualice el diagrama esquemático del proceso y valores medidos en pantalla como monitoreo de estados.

Estas pantallas, dependiendo de su tecnología, algunas cuentan con un sistema táctil y botonería, o puede ser combinado, para la selección de parámetros del proceso y/o acceder a menús de ayuda, diagramas de flujo, histórico de alarmas y revisión de señales. Es obligatorio que, dentro de un proyecto de migración, la visualización de las alarmas sea utilizada como una de las herramientas más importantes y poderosas en un sistema de control ya que se podrán generar mensajes de texto si está habilitada la conexión a una red de telefonía o correo automático debidamente integrada a una red con internet y sus respectivas seguridades.

La ventaja fundamental de migrar una interfaz HMI hacia un control distribuido, comparado con un control aislado, es la mayor seguridad y disponibilidad de funcionamiento, al integrar por periféricas descentralizadas de control de menor longitud y densidad, siendo menos vulnerables al ruido o a fallas debido al avance y robustez de las tecnologías; por otro lado el operador podrá realizar el manejo de varias HMI's, donde las aplicaciones podrán residir en un servidor debidamente respaldado y las pantallas se convierten en simples monitores que pueden ser reemplazadas sin mayor complicación alguna, en el menor tiempo posible.

1.9. Aspectos importantes

Como características principales, se puede incluir la mejora de integrar la utilización de una estación de ingeniería (computadora como HMI) en paralelo al sistema de control principal (PLC + HMI). Esto brinda un respaldo adicional al momento de solución y soporte para las fallas complejas, en donde el personal

de planta podrá direccionar desde los más sencillos cambios, como configuración de PID o tendencias de variables y su interrelación hacia los más complejos como auditoría energética y la optimización de costos de las diversas secciones de la fábrica, reporte de KPI'S, y enlaces hacia un ERP en general.

La arquitectura distribuida por medio de una computadora permite analizar y crecer más en un futuro a corto plazo, ya que el sistema se podrá adaptar para instalar las tecnologías posteriores con el fin de llegar a implementar un sistema robusto, fácil gestión de producción y mantenimiento, y al mismo tiempo brindar la información necesaria para la dirección y una toma correcta de decisiones en el menor tiempo posible sobre una puesta en marcha de planta.

La migración del sistema de control, con todas sus herramientas, irán convergiendo para una aplicación desarrollada, impactada fuertemente en la optimización de la producción, mejora de calidad y ahorro de consumibles dentro de la planta (gas, energía eléctrica, agua, vapor, aire, entre otros). Ambas arquitecturas (control distribuido y aislado), han ido evolucionado en varios aspectos, de tal manera que son capaces de operar sistemas de multifunciones en procesos discontinuos con una fácil modificación, como pudiera ser la facilidad de modificación de recetas hasta una operación secuencial con rutinas de seguridad y algoritmos preestablecidos que indicarán en qué momento deberán de ejecutarse las distintas programaciones del proceso.

Para sistemas distribuidos, la coordinación entre múltiples periféricas remotas programables se vuelve vital, ya que serán las carreteras donde circularán las señales de campo entre uno o varios sistemas. Es ahí donde las migraciones deben de contemplarse y dimensionarse previendo el futuro crecimiento de la planta, donde se podrán ir migrando e integrando hacia un control centralizado. El soporte deberá ser cada vez más enfocado al personal

operativo, de mantenimiento, de producción, de operación, y en general todas las áreas involucradas para el manejo en caso de llegar a necesitar de su intervención.

Una migración bien estructurada deberá de presentar las vías de comunicación, utilizando las tecnologías modernizadas de cableado físico como de tecnología en cuanto a los protocolos de comunicación totalmente abiertos y de fácil integración hacia nuevos enlaces que se requieran ir añadiendo conforme el crecimiento de la planta. Otro punto de mejora y notable al realizar la migración de un sistema de automatización, específicamente las tecnologías de control y visualización, es que se minimizan los factores de error humano ya que la nueva aplicación y programación serán rediseñados a manera de inducir hacia la persona únicamente los alcances según permisos establecidos y evitar cualquier mal funcionamiento de un sistema nuevo.

Los resultados de una migración de sistema permiten diseñar las aplicaciones de HMI que presenten los diferentes movimientos del operador ante situaciones difíciles, en las que, tras reconocer la situación, gracias a la información presentada en las pantallas, podrán reestablecer el proceso en un estado normal de parámetros funcionales. Las fallas que pueda cometer un operador pueden ser debidas a que la falta de visualización del proceso, en donde se ejecuta una acción errónea, la falta de monitoreo de señales de alarma, dando a lugar a un tiempo largo de paro no programado, que a su vez genera pérdidas económicas para las plantas, y que también impacta dentro de las partes determinadas de los presupuestos no contempladas de la planta. Una migración debe de incluir la disminución de costos por tiempos muertos no programados y las consecuencias resultantes por la falta de aplicación de técnicas de mejoras en la interfaz hombre-máquina serán corregidas por medio de la migración.

Se puede afirmar que la tecnología digital evolucionará cada vez más, gracias a las integraciones totales de sistemas de información y sistemas de operación, y que a su vez es imprescindible realizar las migraciones de sistemas obsoletos o fuera de servicio, esto para poder utilizar las ventajas de nuevas tecnologías, las cuales brindan un flujo de información continua entre las diversas áreas de la planta (fabricación, mantenimiento, calidad y gestión, entre otros). La aplicación de los instrumentos, actuadores, software y hardware de reciente tecnología permitirá al usuario final mantener una constante seguridad y disponibilidad del proceso en sus etapas de fabricación, como beneficio de la planta.

Los procesos de fabricación industrial se podrán controlar y seccionar según la categoría y criticidad que representan como procesos continuos y/o procesos discontinuos. En ambos tipos de proceso, se deberán definir los objetivos que deberán adaptarse hacia las variables según el control programado, integrarse hacia la interfaz de operación diseñada y registrar los datos relevantes para su posterior publicación en un sistema de información a nivel gerencial por medio de la modernización de las plantas y las migraciones de tecnologías integrales.

2. TECNOLOGÍA DE EQUIPOS Y SISTEMAS

La obsolescencia es uno de los principales factores de causa raíz por el cual los sistemas de producción son afectados con un rendimiento bajo. La amenaza inminente de sufrir un paro de operaciones en un proceso productivo automáticamente disminuye la rentabilidad del sistema actualmente instalado, el cual mantendrá condiciones de antiguas características para sistemas aislados, con limitaciones, y sin la disponibilidad de repuestos y/o accesorios. La constante actualización y monitoreo de la base actual instalada y un programa de modernizaciones para las tecnologías a lo largo de los años en la industria brindarán un sistema con capacidad de mantener una alta resiliencia debido a la constante actualización de las tecnologías en el mercado industrial.

2.1. Generalidades de tecnologías

Al conjunto de dispositivos encargados de realizar un monitoreo, ejecución y entrega de la mayor información posible y necesaria, para realizar tareas las cuales fueron asignadas en cada rutina de operación, se le llaman sistemas de control. Esta información, es transferida por medio de enlaces de comunicación, siendo integrados a un sistema SCADA, en donde el sistema de gestión (MES) con la información depurada, para luego ser analizada y realizar las acciones posteriores de mejora constante en un sistema de control.

La modernización y migración del hardware y software asociados de un sistema de control, hacia una reciente tecnología, ofrece un rendimiento de mejora por la convergencia de varios sistemas de aplicación, que a su vez se convierten en poderosos métodos de recolección de datos, análisis de tendencias

para la rápida y acertada toma de decisiones, generación de seguridad y disponibilidad de procesos que realizarán una secuencia ordenada en base a las necesidades de la máquina según convenga, para la rápida resolución/diagnóstico de fallas y que plasmando una inducción para el personal encargado operación/mantenimiento obtendrán autonomía en la planta como resultado de las migraciones hacia nuevas tecnologías.

En la aplicación de los avances tecnológicos dentro de los planes de migración se identifican ciertos factores que necesitan ser considerados y aventajados como las dificultades de instalación, mantenimiento y uso de los sistemas nuevos, falta de personal calificado para su operación, falta de estándares y directrices reguladoras, entre otras. A partir de las tendencias identificadas, se mencionan las recomendaciones para obtener una migración de tecnología adecuada según permitan las modernizaciones generales de los sistemas de automatización en la industria y dentro del marco de tecnologías recientes:

- La administración de la planta debe de establecer políticas de actualización y migración de los sistemas de producción.
- Debe de fomentarse la capacitación técnica continua del personal involucrado del área para que puedan seguir en conjunto con los avances tecnológicos y modernizaciones.
- Los equipos de control y potencia deben de estar dimensionados de tal forma que se prevea una futura expansión como reserva en el sistema.

- Establecer las fallas recurrentes que afecten al sistema de producción previo a la migración de tecnologías, para luego establecer la causa raíz y documentación de estas.
- Inversión en la modernización para la implementación de las recientes tecnologías (PLC's, HMI's, servidores, licenciamientos, instrumentación, cableados, entre otros).
- Optimización de tiempos muertos de producción por medio de las inversiones de mejoras constante en la planta.
- Evaluación de puntos críticos de una manera programada, para la prevención de pérdidas generadoras de costos innecesarios para la planta en general.

Para lograr una producción eficiente es necesario implementar las migraciones continuas de tecnologías, a través de modernizaciones de equipos y sistemas, los cuales están siendo cada vez más enfocados a un mercado competitivo global, siendo la globalización su principal factor de impulso como parte de una tendencia de proceso industrial y la implementación final de un MES. Las tecnologías de automatización y control simplifican procesos complejos de producción, incentivan el ahorro de tiempo y reducen los costos en un plazo determinado, como beneficios e implementando una industria moderna dentro de la planta. Simultáneamente, se busca el aumento de la productividad y rentabilidad en general que se logra por medio de mejoras para proyectos de automatización y sistemas, de los cuales se deberá evaluar su tiempo de vida de soporte y/o reposición específica, donde se definen las pautas para modernizar, actualizar y migrar tecnologías tales como:

- Obsolescencia.
- Calidad de producción.
- Velocidad de producción.
- Disponibilidad de producción.
- Cambio de formatos / materiales.
- Costos de mantenimiento.
- Paros innecesarios de producción.
- Tecnologías disponibles y alcanzables.
- Integración hacia nuevas plataformas.
- Crecimiento y nuevos requerimientos de control.
- Soporte especializado localmente.

La tecnología ha evolucionado en gran medida en los últimos años. En específico las soluciones que integran equipos de control automatizados (OT) y los sistemas de información (IT) que se han posicionado como herramientas empresariales trascendentales, que proporcionan a las empresas, plantas y fábricas, no solo una tecnología inteligente, sino que también herramientas operativas para crear un lugar de trabajo más seguro y eficiente. Estas tecnologías inteligentes se utilizan para crear alertas cuando algún parámetro no se encuentra en su valor establecido previamente para un proceso en específico, por lo que es importante detectar las condiciones bajo las cuales un proceso genera este tipo de alertas y cuál será su ejecución de rutina ante estas condiciones.

Es importante mencionar que un lazo de control puede lograr establecer el mando dentro de los parámetros establecidos, pero, aun así, si es que existiera algún desbordamiento de alguna variable, se toma como principal condición a detectar alertas del sistema. La evolución de tecnologías de automatización,

pueden dividirse en dos grupos: primeras tecnologías y tecnologías programables.

Tabla I. **Clasificación general de tecnologías**

| Tecnologías en automatización | |
|---|--------------------------|
| Primeras tecnologías como: mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica, electrónica. | Tecnologías programables |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

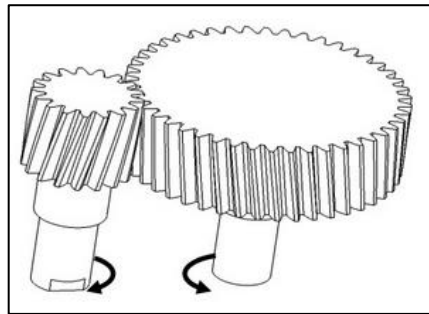
2.2. Tecnología mecánica

Los sistemas mecánicos suelen ser complicados por la gran cantidad de mecanismos de partes con muy poca flexibilidad y mantenimiento específico. Esto representa un funcionamiento básico y accesible para un nivel técnico del personal a cargo. Estos mecanismos pueden ser compuestos por: ruedas dentadas, poleas para transmisiones en movimiento: biela-manivela, piñón cremallera, entre otros, para la conversión del movimiento rectilíneo hacia circular y viceversa, que son unidos mecánicamente por levas, palancas, cadenas, entre otros, y que serán encargados de ejecutar un trabajo final.

Los grandes problemas de la automatización mecánica radican en su longitud de sistema, con secuencias cinemáticas y sincronización de movimientos en las piezas móviles, sin embargo, existe una gran variedad de automatismos mecánicos en la industria, desde las máquinas-herramientas (tornos, fresadoras, limadoras, entre otros), hasta los relojes mecánicos pasando por telares, motores de combustión interna y toda maquinaria que formó parte de la revolución industrial. Que, en la actualidad, se sigue operando con esta tecnología, con la diferencia de que el control de motores/actuadores, y sus

referencias de posición / vueltas, avance, entre otros, se encuentran debidamente monitoreadas y documentadas por el sistema de control, gracias a las migraciones dentro de los sistemas de automatización industrial.

Figura 5. **Sistema de engranajes helicoidales**



Fuente: Universidad de Cantabria. *Cinemática y Dinámica de Máquinas*.
<https://ocw.unican.es/course/view.php?id=202>. Consulta: 15 de diciembre de 2017.

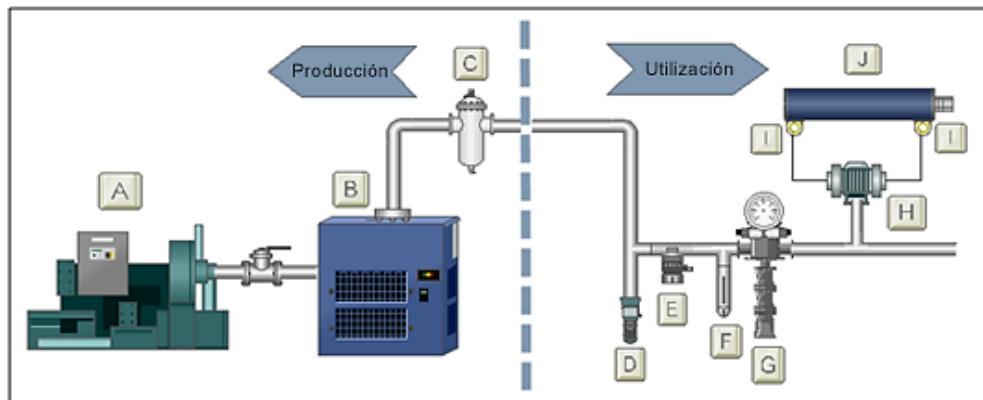
2.3. **Tecnología neumática**

Se emplea un gas como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y realizar algún trabajo, utilizando algún mecanismo como parte del diseño, y para el cumplimiento de una función. El aire comprimido es normalmente utilizado como fluido gaseoso, el cual, al ser compactado por una fuerza, este devuelve la energía acumulada cuando se le permite expandirse, según la ley de los gases ideales, que relaciona las variables de presión, volumen y temperatura. Como parte de las bondades, el tiempo de respuesta corresponde a una velocidad favorable, la sencillez para la parte de mando, facilidad de cambios de regulación, trabajo a alta velocidad, flexibilidad de operación por cambios de sentido del flujo al utilizar el aire como el gas de medio de transmisión de energía.

Por el contrario, el mantenimiento del gas utilizado en las mejores condiciones su calidad presenta un alto costo, ya que puede existir una pérdida de carga para distancias extensas, en caso de recuperar el gas utilizado se presenta adicional el costo de su implementación, y los valores de presión que se utilizan en cada sistema están limitados según la carga para la cual fue diseñado.

La neumática como técnica que utiliza el aire comprimido, impacta mayormente en el sector de alimentos y bebidas, ensamblaje y manipulación, sistemas robotizados, industrias de proceso continuo, y toda aquella necesidad de planta que requiera esta tecnología. Los mandos neumáticos integran por elementos, señalización, mando, y un aporte de trabajo dentro del proceso. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de ejecución de rutinas de los elementos de campo.

Figura 6. **Sistema neumático**



- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| A) Compresor. | F) Lubricador de aire comprimido. |
| B) Secador de aire refrigerado. | G) Regulador de presión. |
| C) Filtro de línea. | H) Válvula direccional. |
| D) Purga automática de aire. | I) Controladores de velocidad. |
| E) Filtro de aire comprimido. | J) Actuador. |

Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

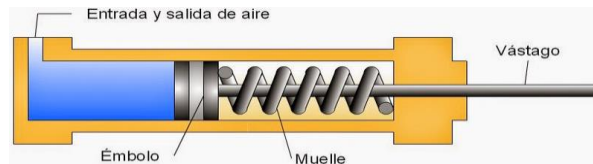
La figura 6 representa cada elemento para un sistema neumático tomado como ejemplo su generación, hasta su descarga:

Los dispositivos encargados de realizar el movimiento, dentro de un sistema neumático, son los actuadores, y son los encargados de transformar la energía neumática en otro tipo de energía, por lo general, suele convertirse a energía mecánica. Todos estos elementos actuadores se pueden clasificar principalmente en dos grandes grupos:

- Pistones

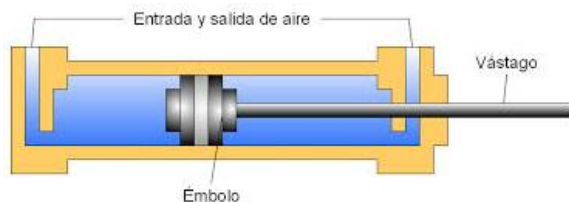
Estos dispositivos transforman la energía neumática hacia energía mecánica, por medio de un movimiento rectilíneo alternativo. Estos pueden ser de simple efecto o doble efecto, como los más utilizados.

Figura 7. **Cilindro de simple efecto**



Fuente: elaboración propia, empleando Robot Structural 2018.

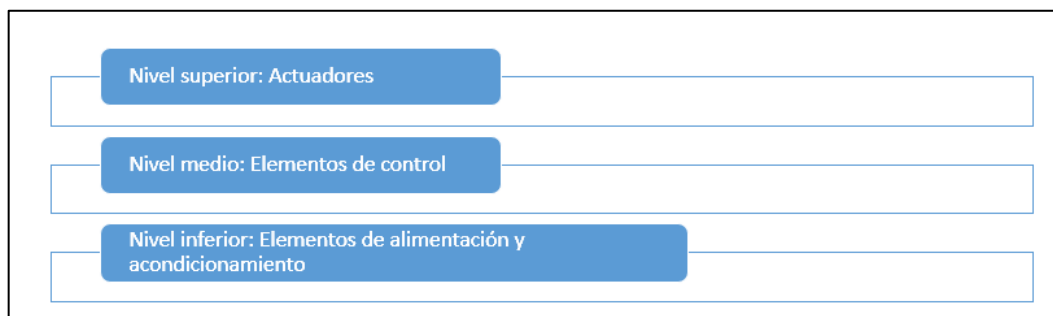
Figura 8. **Cilindro de doble efecto**



Fuente: elaboración propia, empleando Robot Structural 2018.

Dentro de los esquemas de las instalaciones neumáticas, se pueden identificar por varios niveles. En el nivel inferior se encuentran los elementos compresores, acumuladores y acondicionadores del aire; en el nivel medio se sitúan los elementos de control; y en el nivel superior los elementos actuadores.

Figura 9. **Niveles de instalaciones neumáticas**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

2.4. **Tecnología hidráulica**

Al conjunto de técnicas que utilizan el aceite a presión como medio de transmisión de energía para realizar un trabajo determinado se le llama tecnología hidráulica. Es muy parecida a la neumática, con diferencias en cuanto a los elementos de proceso, parámetros y características monitoreadas en secuencia para realizar un funcionamiento en específico. Dentro de sus ventajas podemos mencionar que son capaces de desarrollar grandes fuerzas a un nivel de sencillez de operación alto. Las desventajas se pueden identificar en instalaciones de elevado costo en general, desarrollan suciedad en su medio físico e instalaciones y una retroalimentación con una velocidad de tiempo de respuesta prolongado que lo vuelve poco eficiente.

La presión aplicada a un fluido confinado se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando estas fuerzas normalmente hacia las paredes del medio de contención, es ahí donde las propiedades del aceite abarcan una mayor comprensión, y por ende, generan una mayor fuerza de actuación.

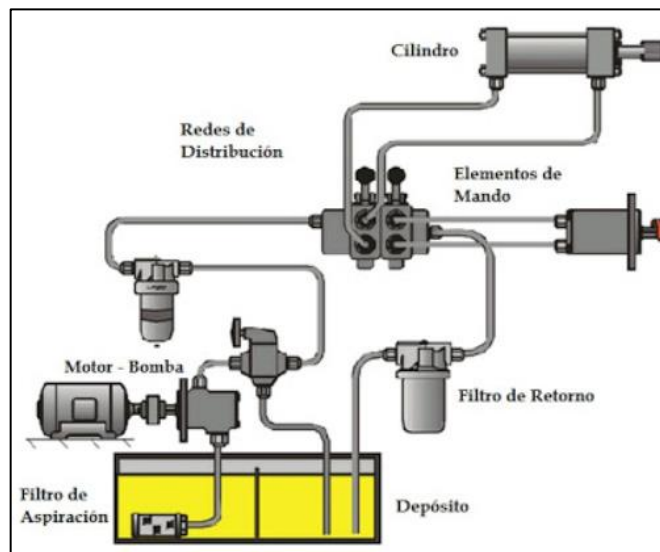
Sus elementos integran un sistema de equipos para la realización de un trabajo determinado, dentro de la automatización industrial, es por ello por lo que se debe contemplar un plan de migración de cada componente del sistema como, por ejemplo, un sistema de bombas encargadas de proporcionar una presión y caudal adecuado por medio de una automatización correcta, con sus respectivos parámetros de control y dimensionamiento de equipos, los cuales deberán de actuar conforme a la programación realizada.

Dentro de los elementos que prolongan la vida de un sistema hidráulico, previo a realizar una migración de componentes del sistema, podemos mencionar, el filtro que tiene como tarea principal la interrupción de cualquier partícula sólida dentro del aceite y el manómetro para monitoreo y seguridades de componentes a los cuales estará midiendo valores. Se deberán de identificar todos los elementos de regulación y control para un sistema basado en presión de aceite, ya que su ciclo de vida puede ser recortado por: uso diario, falta de mantenimiento, mala manipulación de componentes, y que pueden llegar a generar un paro de producción no previsto logrando pérdidas dentro del complejo industrial.

Algunos elementos pueden ser: los actuadores, válvulas y/o cilindros, circuitos eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos, inclusive combinados pueden llegar a ser muy poderosos, pero deberán de tener un riguroso mantenimiento para lograr la disponibilidad, ya que, al ser combinados, se

vuelven relativamente más complejos y dependientes en ciertas partes entre tecnologías.

Figura 10. **Elementos básicos de un circuito hidráulico**



Fuente: Blogspot. *Automatización industrial*. <http://industrial-automatica.blogspot.com/2011/05/elementos-de-un-circuito-hidraulico.html>. Consulta: 5 de enero de 2018.

2.5. Tecnología eléctrica

También conocido como automatismos eléctricos, normalmente se basan en la aplicación y uso de relés y contactores, los cuales son instalados mediante un circuito de baja potencia, para abrir o cerrar un segundo circuito de funcionamiento de mayor potencia y en secuencia de aplicación. Se realiza un acoplamiento entre ambos circuitos y de lógica cableada mecánicamente para ejecutar finalmente una acción determinada. Los tan conocidos contactores o relés son los encargados de la conmutación a distancia mediante un electroimán,

al que se le aplica una tensión en los bornes de las bobinas, para luego conseguir la apertura o cierre del electroimán.

Dentro de esta tecnología, las migraciones de estos equipos también avanzan dependiendo de la marca y tipo de aplicación. Existen varias ventajas de actualización de componentes industriales esenciales, donde se puede obtener un mayor conocimiento del estado de los equipos y su funcionamiento.

Dentro de este marco de tecnología se pueden mencionar los interruptores de potencia, que internamente cuentan con motores y servomotores dedicados para su apertura y cierre con control con capacidades de accionamiento local, remoto y ajustable de corrientes, seccionadores de línea monofásicos y trifásicos con capacidad de monitoreo de estado y conteo de ciclos operativos, supresores de transitorios y filtros con sus respectivos monitoreo de estados, contador de eventos, parámetros de protección, información brindada para el usuario, supervisor de voltajes y corrientes con su electrónica capaz de rápida detección y alarmas de protección desde las más básicas hasta las más avanzadas.

La tecnología eléctrica también contempla el enfriamiento de tableros de control y potencia, es parte vital para el alargamiento de la vida de los equipos instalados. Este tipo de enfriamiento ha ido evolucionando desde los sistemas de ventiladores básicos, hasta los poderosos enfriamientos por intercambiador de temperatura utilizando circuito de tuberías con refrigerante específico.

Todos estos tipos de tecnologías eléctricas modernizados son capaces de brindar información al usuario del estatus operacional y estadísticas interesadas por temas de mantenimientos. Es por lo que las migraciones deberán de ser implementadas para adquirir todas las bondades que se ofrecen hoy en día en cuanto a la modernización de los sistemas.

2.6. Tecnología de controladores

Toda industria debe de adecuarse a la mejora constante por medio de actualizaciones en todos los niveles, y no únicamente con lo funcional adquirido en su momento. EL objetivo de una migración debe de ser en base al futuro crecimiento y no únicamente al resultado inmediato funcional, en donde se deben contemplar diversos factores específicos de cada proyecto como punto de mejora al momento de realizar una migración. La tecnología de controladores es una pieza importante en el diseño de la solución de migración, ya que la metodología del cambio de controlador o implementación desde cero puede estar sujeta según los alcances y características del equipo a instalarse, en donde se podrá tomar la suficiente ventaja en cuanto a un aumento de ciclo de vida y el opcional de crecimiento y evolución a futuro del sistema realizando su migración debidamente dimensionada y que puede ser realizada por etapas.

Un controlador de automatización programable se refiere a la tecnología de control industrial orientada al control automático, diseño de prototipos y mediciones importantes de un sistema, el cual se tiene como objetivo ejecutar acciones. Está conformado por una unidad de procesador central (CPU), módulos de entradas y salidas para todas las señales (I/O), y una vía de comunicación para la parte de buses de datos que interconectan todo el sistema, dependiendo de cómo se haya diseñado la arquitectura.

Una migración únicamente del control (solo el PLC), puede ser asignado como la primera etapa por ejecutarse en el plan de migración, ya aquí es donde residirán todas las señales involucradas de la mejora del sistema. Las migraciones ayudarán por medio de sus tecnologías de aplicación, a modernizar el CPU principal, acarreando las bondades de un sistema de control con controlador modernizado, para su luego posterior migración de I/O.

Al haber migrado el procesador, como inicio de mejora, se integrarán las variables involucradas en un solo dispositivo, donde se integran todas señales de entradas y salidas, puertos de comunicación, temporizadores, contadores, memorias y convertidores analógicos dentro de un solo equipo de automatización de reciente tecnología, el cual deberá de ser dimensionado con base en las aplicaciones concretas según se enfoque de diseño hasta su puesta en marcha. Al existir una diversidad de tecnologías de controladores en el mercado eléctrico, se deben de contemplar todas las bondades de migrar hacia un sistema nuevo, en donde condiciona un plan de migración como punto de mejora.

Cumpliendo como la tecnología de controladores, donde es el principal equipo de unidad de control y procesamiento de información, que, al actualizar por medio de migración, se, minimizará el tiempo de paros no programados y subiendo los niveles de soporte al sistema. Muchas plantas industriales utilizan esta tecnología, sin embargo, el avance del tiempo impacta principalmente al hardware instalado, y es entonces cuando se debe de ejecutar un plan de migración para obtener el mejor beneficio tecnológico actualizado y respaldado por temas de reemplazo parcial o total de un sistema de control.

La obsolescencia de un sistema de control en sus inicios y debido a una baja exigencia de calidad, para un sistema convencional, este brinda la capacidad de cálculo aceptable y algunas conexiones hacia estaciones gráficas específicas, en donde se limita según los avances y diversidad de controladores de su temporada. Al ir evolucionando, su integración se convierte sin mayor complejidad y con gran capacidad de control para multiprocesos de la planta, dando como beneficio el aumento de disponibilidad y seguridad para la tecnología de controladores.

En la actualidad, para la tecnología de controladores, existen numerosos modelos de autómatas programables, multiprotocolarios como opciones para migrar: desde los microautómatas, que se adaptaban a las máquinas e instalaciones simples con un número reducido de puertos de entradas y salidas, hasta los autómatas multifunción, capaces de gestionar varios millares de puertos de entradas y salidas, dedicados al direccionamiento de procesos complejos.

Al momento de migrar hacia un autómata programable moderno, se estará invirtiendo en la mejora de electrónica especializada y encargada de gobernar los distintos procesos industriales de manera ordenada, monitoreada y en tiempo real. Es el encargado de ejecutar una serie de instrucciones introducidas en su memoria en forma de programa para realizar una acción específica de tarea, con dos principales características que representan ventajas competitivas al modernizar un sistema, las cuales son:

- Pueden conectarse directamente en ambientes industriales duros (temperatura, vibraciones, microcortes de voltaje de alimentación, entre otros).
- La programación se basa en lenguajes, específicamente desarrollados para el tratamiento de funciones de automatismo, de modo que ni su instalación ni su uso requieren conocimientos de informática, a menos que sea solicitado.

Un controlador lógico programable, deberá ser capaz de obtener las mejoras y actualizaciones de hardware y software, donde deberán de impulsar poderosos procesadores, velocidad de memoria y el monitoreo de cualquier señal involucrada con el sistema de control. El bus de campo también puede interesar como aspecto importante de migración para evaluar la saturación de datos que

manejará el sistema, el cual, se piensa dirigir, que, para su correcta puesta en marcha de migración y óptimo funcionamiento, es necesario establecer un correcto intercambio de información entre las distintas partes que relacionan el sistema, para lo cual, es de carácter importante disponer de las interfaces necesarias para llevar la armonía de todo un sistema en conjunto.

Al existir las distintas tecnologías de un sistema ya instaladas, se debe de evaluar una migración de los equipos involucrados para llevar a cabo un intercambio de comunicación efectivo, de lo contrario, se crearán sistemas aislados como islas, los cuales puede que cumplan con el funcionamiento en específico, pero se evidenciará su limitación en cuanto a supervisión, historización y/o reportería de las variables que pueden presentar valiosa información acerca de eficiencias, controles de mantenimiento, toma de decisiones de una forma acertada y rápida, puntos de mejora de proceso, entre otros.

Las principales aportaciones al automatizar y migrar hacia una tecnología reciente, dentro de las distintas áreas, se encuentra la tecnología de control, que son las herramientas de fácil manejo por medio de software de programación y configuración, al momento de realizar pruebas y resultados realizados, facilitan su manejo. De esta forma permiten al integrador concentrarse en los algoritmos de control en un ambiente controlado y analizar cualquier variable que pueda afectar el sistema y contemplar su acción adecuada dentro de la migración como mejora del proyecto.

Además, al automatizar un sistema convencional de relevación, se podrán combinar los simuladores de proceso para poder anticipar cualquier eventualidad durante su funcionamiento y puesta en marcha, que generan una reducción de costos de ingeniería al anticipar la fase de ingeniería de diseño por prever la

disponibilidad del proceso a controlar. Es importante resaltar que los componentes del circuito de mando empleados por el operador para ejecutar su funcionamiento como los pulsadores, interruptores, manijas selectoras fundamentalmente seguirán presentes en la implementación mediante un PLC cumpliendo la misma función.

Asimismo, la migración hacia nuevas tecnologías de control o mando han sido utilizadas para mostrar información acerca del estado de activación o no de los componentes del circuito de fuerza o proceso, que son conectados hacia el controlador donde cada día crece en temas de compatibilidad y soporte de parte del fabricante o representante de marca.

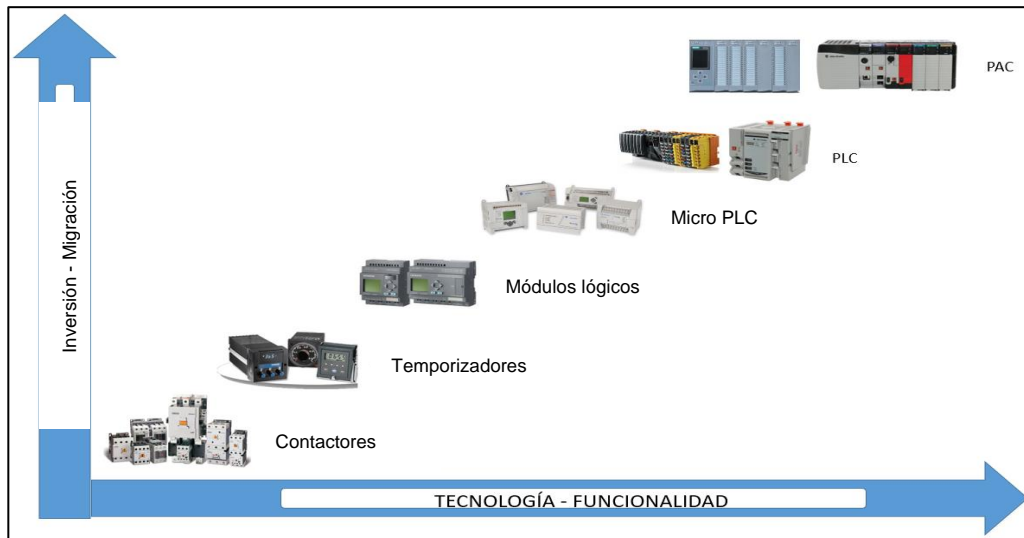
Como puntos esenciales por revisar, al momento de modernizar y migrar hacia una nueva tecnología de control, están los aspectos de capacidades técnicas del equipo que deberán ser evaluadas y comparadas para los puntos de lectura de entradas y salidas, escritura de salidas, limitantes de mensajes de comunicación y cantidad de nodos para la red de planta, ciclos y velocidades de procesamiento, expansibilidad del sistema, memoria de procesamiento y tiempo de vida de ciclo del producto.

2.7. Clasificación general

Dependiendo de la aplicación y de los requerimientos de mejoras, existen clasificaciones para las tecnologías de control donde sus inicios de automatismo se realizan con lógica de relevación y circuitos cableados, hasta los poderosos controladores de automatización programables, en donde parte de la evolución tecnológica en los equipos electrónicos, los cuales son utilizados para llevar a cabo el control de uno o varios procesos, en donde su complejidad y

funcionalidad que aporta cada tecnología o marca, y el precio de mercado, se puede establecer, como la que se muestra en la siguiente figura:

Figura 11. **Tendencia comparativa inversión – funcionalidad**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

Según la evolución de la tecnología y su implementación mediante las migraciones como mejoras dentro de un proceso industrial, los elementos sencillos y económicos utilizados para poder implementar el control de un proceso empiezan con los contactores.

Estos dispositivos han mantenido su función primitiva de funcionalidad de “enlace” entre el circuito de potencia y el de control, que ahora se puede realizar de forma digital, al igual que los temporizadores mecánicos y/o relés temporizados fueron modernizados para realizar control digital, que dependiendo de la complejidad de la instalación que se requiera automatizar, la funcionalidad por tecnología de relevación puede complicarse y volverse crítica para sistemas

muy grandes, es ahí donde se puede implementar la puesta en marcha del proyecto de mejora, mediante un equipo de control programable bastante sencillo con un pequeño incremento en su costo como equipo de control.

Los módulos lógicos, son los dispositivos de frontera entre la lógica cableada y lógica programada. Llamados también relés programables y son dispositivos sencillos utilizados para control de pequeñas aplicaciones de una instalación, que pueden ser combinados con módulos de contactores y temporizadores. La diferencia radica en que son programables en un ambiente de software bastante amigable. Su principal desventaja es que se encuentran limitados para la cantidad de señales manejadas por el sistema y su poca expansibilidad por integración de señales futuras y baja versatilidad de operación.

Para sistemas de implementación relativamente pequeños, pero que se requiere obtener un control centralizado y comandado por una lógica programada, se puede utilizar la migración en la escala de la lógica cableada hacia una tecnología que corresponde a micro PLC, este cuenta con capacidad de lenguaje de programación, memoria de almacenamiento y una cantidad decente de entradas y salidas que pueden ser expandibles según el modelo seleccionado para implementarse en la tecnología de controladores, aun teniendo como limitante el manejo de sistemas relativamente pequeños para su uso.

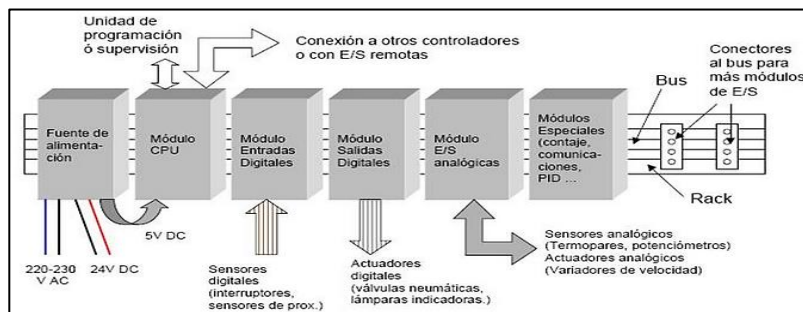
Si la aplicación demanda un alto procesamiento de señales, gran capacidad de memoria, conexión a distintos elementos de campo, mucha mayor capacidad para expansión, variedad de interfaces de comunicación y alto rendimiento de tecnología, es necesaria la implementación de un PLC dimensionado a la vanguardia de la ciencia o inclusive un PAC, al cual se le podrá extraer todo el

beneficio posible para obtener un sistema mucho más estable y certero como disponibilidad hacia la planta o proceso, el cual está orquestando.

2.8. Características de migración

Para toda la parte de procesamiento de datos, comunicaciones, manejo de señales, monitoreo de estados y ejecución de todas las acciones necesarias bajo las cuales se debe cumplir un sistema con altas exigencias para control de procesos. Las características de los PLC y PAC pueden llegar a claves en varias categorías, dependiendo fundamentalmente de sus necesidades y características a nivel de hardware y software, todos presentan una arquitectura similar como la que se detalla y deberá de evaluarse como aspectos técnicos para definir hacia qué sistema se realizará la migración de tecnología.

Figura 12. Características técnicas de evaluación para control



Fuente: SOBREVILLA GONZÁLEZ, Marco. *Estandarización con autómatas programables*.

<https://es.slideshare.net/alexoluthor/plcs-14035728>. Consulta: 10 de enero 2018.

Una parte de gran importancia en cuanto a temas de soporte y rápido tiempo de respuesta, es que se deberán considerar los lenguajes de programación y orden de rutinas de secuencia, las cuales deberán quedar debidamente documentadas con los comentarios de las últimas modificaciones realizadas, tipo

de diagramas internos al controlador, y que la transición de una tecnología hacia otra sea lo más amigable y transparente posible, ya que de esta forma todo el personal de las distintas áreas de la planta posean un conocimiento referente al cambio de migración y su beneficio dentro del sistema de lógica programable, permitiendo que las plantas, gracias a la implementación de nueva tecnología, se logre la obtención de los nuevos modelos de automatización de procesos y soporte para sus sistemas.

2.9. Interfaces de operación modernas

Las plantas industriales deberán contemplar como parte de sus migraciones, la implementación de una interfaz moderna, en donde tengan la capacidad de realizar consultas, operaciones, y revisión de forma local y remota, con los protocolos de comunicación abiertos y almacenamiento por memoria interna con capacidad de exportar la información, para el cumplimiento de los distintos requerimientos de procesos y aplicaciones.

2.10. Interfaces de diálogo

Como parte de los cambios realizados por las migraciones de tecnologías en un sistema de control, el enlace de comunicación entre el dispositivo de control (PLC) y su interfaz de operación (HMI), deben de implementarse de manera simultánea, esto para evitar costos de convertidores que pueden llegar a cubrir el costo de modernizar el hardware en comparativa, obtener la mejora de alta disponibilidad por ser producto de reciente tecnología, y ganancia en temas de soporte al ir estandarizando bajo un plan de migración escalado.

Las pantallas de operación sustituyen un sistema de botonería convencional de pulsadores o manijas selectoras, las cuales tienden a sufrir un desgaste

operacional y las cuales dependen de las técnicas y maniobras del operador para realizar las funciones de cada máquina o proceso. Las nuevas tecnologías de pantallas también nos indican los estados o alarmas por medio de mensajes o alertas en tiempo real y con la opción de historizar cierta información definida como esencial para análisis posterior, en donde se han podido realizar estos avances tecnológicos por medio de las migraciones de interfaces modernas de operación.

Cuando se decide migrar una interfaz de operación, la temática de visualización de sistemas afirma que la obtención de variables del proceso se obtiene mediante el constante monitoreo. El proceso de visualización de las variables recibe el nombre de monitoreo. Para realizar correctamente ese proceso se deben tener en cuenta una serie de características.

- Localización. El sistema de monitorización debe mapear la mayor cantidad de estados de las entradas y salidas posibles para su fácil localización.
- Las interfaces de monitoreo deben permitir extraer la información y disponer de una metodología para su extracción.
- La información para obtener del sistema debe ser preseleccionada, ya que si no se realiza existe la posibilidad de obtener información redundante.

El objetivo principal de migrar hacia las nuevas interfaces de monitoreo consiste en la capacidad de mostrar datos en tiempo real mediante un formato alfanumérico o tipo gráfico, en donde existirá un diálogo hombre-máquina en función de las capacidades y automatización de la máquina, para luego recibir órdenes y ejecutar acciones de proceso. Durante mucho tiempo, las únicas interfaces que permitían este vínculo entre el hombre y la máquina eran los

sistemas de botoneras (pulsadores, manijas, entre otros), en donde las nuevas tecnologías, al ser implementadas por las migraciones de interfaces, cada vez que aumenta la tecnología, aumenta su disponibilidad y versatilidad dentro de la planta. Su desarrollo y tendencia de migraciones hacia sistemas modernos de control ha impulsado la aparición de nuevos interfaces que amplían las posibilidades del diálogo, control y monitoreo. Básicamente es el encargado de intercambiar y proporcionar información constante al momento de realizar consultas de un sistema o proceso.

Como aspectos a contemplar, previo a la migración de interfaz de operación, es la función de diálogo, ya que con base de los datos que se disponen, el sistema de interfaz deberá de tener capacidad de interactuar con el usuario sin comprometer la seguridad, y de esta manera garantizar el control en el momento que se requiera. La función del operador es otro punto por evaluar, ya que se establecerán los niveles de accesos a los cuales el operador tendrá la posibilidad de acceder y realizar cambios, o únicamente visualizar los parámetros de monitoreo en la operación, en donde todo esto servirá de herramienta para quienes estén capacitados en la operación del sistema. Al haber establecido los aspectos de migración de interfaz, se evalúa la calidad de diseño de diálogo, esto para facilitar al humano operador a percibir y comprender los sucesos que están ocurriendo, en donde, inclusive, se pueden integrar alarmas sonoras / visuales para lograr la alerta del operador y que pueda revisar las pantallas correspondientes de diagnósticos donde se deberán plasmar todos los eventos presentados en el sistema.

La comprensión del operador es clave para evitar cualquier riesgo de acciones contraproducentes de seguridad, la información que percibe el operador debe ser suficientemente legible y precisa, de manera que sea posible comprenderla y utilizarla inmediatamente, en donde al momento de migrar hacia

una plataforma nueva, se deberá contemplar la ergonomía de lectura de los componentes y que pueden ser complemento de las soluciones al instalar una moderna pantalla de operación y control, con balizas luminosas, bocinas industriales y estrobos designados para identificar los eventos a revisar en la pantalla para su control dedicado.

En algunos equipos complementarios para un sistema donde se obtienen mejoras de migración se deberán considerar, de una gran manera, los adicionales para llevar a cabo una señalización de campo lo más establecida y combinados como posibles opciones de migración que se mencionan a continuación:

- Para los pilotos luminosos: estandarización del color indicado por los procedimientos, cadencias de parpadeo lento y rápido claramente diferenciados estratégicamente instalados y de fácil acceso a su visualización.

Figura 13. **Pilotos luminosos complementarios**



Fuente: Allen Bradley. *Operadores redondos de 22 mm 800F.*

<https://www.rockwellautomation.com/es-ar/products/hardware/allen-bradley/push-buttons-and-signaling-devices/22-mm-operators--iec/800f-round-push-buttons.html>. Consulta: 10 de enero 2018.

- Para un visualizador: textos precisos en el idioma del usuario, distancia de legibilidad apropiada, adición de monitores extras ubicados en áreas donde se requieran, diversidad de operación y control desde varios puntos.

Figura 14. **Visualizador de control y monitoreo**



Fuente: Departamento de control y monitoreo, Empresa Uniaceites.

- Para las pantallas: el uso de símbolos normalizados, acercamiento para mostrar detalladamente la zona en que hace referencia el mensaje, capacidad de revisión de falla en historial de la propia memoria de la pantalla, clasificación de eventos por colores designados, importancias, críticos, entre otros.

Figura 15. **Información de eventos en pantallas**

 A screenshot of a software interface window titled 'HMI tags' and 'System tags'. The main content is a table titled 'Default tag table'. The table has the following columns: Name, Data type, Connection, PLC name, PLC tag, and Address. The rows contain the following data:

| Name | Data type | Connection | PLC name | PLC tag | Address |
|---------------------|-----------|----------------|----------|--------------|---------|
| FileName | Wstring | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| Material | Wstring | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| MaterialFromFile | Wstring | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| Pressure | Int | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| PressureFromFile | Int | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| Temperature | Real | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| TemperatureFromFile | Real | <internal tag> | | <Undefin...> | |
| <Add new> | | | | | |

 At the bottom of the window, there are three buttons: 'Discrete alarms', 'Analog alarms', and 'Logging tags'.

Fuente: Pantalla de interfaz de aplicación en máquina de empaque, Empresa Teknopak.

2.11. Control y señalización

Las interfaces para uso del operador se entienden como todos los pulsadores y visualizadores de gama estándar, que se consideran interfaces de diálogo adaptados a los requerimientos en los que la información que se intercambia entre el operador y la máquina es muy fácil y de forma generalizada, donde limita las señales de tipo “todo o nada”. En muchas migraciones son utilizadas estas tecnologías como complementos para indicar un estado específico del sistema.

Pueden equiparse con variedad de colores para que su identificación, resulte ser fácil a un código de color normalizado. Se utilizan igualmente para las operaciones relacionadas directamente con la seguridad, que requieren mandos simples y directos como sea posible:

- Mandos generales de arranque y de parada, funcionamiento de ajuste, funcionamiento modo manual, semiautomático, automático, pulsos.
- Mandos de circuitos de seguridad como paros de emergencia, guardas de seguridad, cortinas de luz, micro interruptores.

Los distintos operadores e indicadores cuentan con diámetros variados y en distintas versiones según la aplicación que se vaya a desarrollar o el entorno donde se vayan a instalar. Los de tipo metálico para ambientes industriales excesivamente rudos y servicio de durabilidad alta, los de fabricación totalmente de plástico, para aplicaciones en ambientes de industria química, agroalimentaria y ambientes salinos. Dentro de los mandos de operación, los indicadores son auxiliados por medio de luces indicadoras para el estado general de la máquina a la que podrá acceder de manera remota, únicamente ubicando el color

designado para asignación de parámetros de supervisión. Los visualizadores numéricos también forman parte de la visualización, y son los encargados de mostrar resultados de medición de las distintas variables de proceso (temperaturas, presiones, humedad, nivel, concentración, entre otros) del conteo de piezas producidas, de la posición de piezas mecánicas.

Para la parte de informe de datos y visualización, la migración puede incluir pantallas o *displays*, los cuales brindan al usuario un diálogo de todos los eventos ocurridos en la máquina y control de la operación por medio de mensajes y menús de navegación para realizar el intercambio de entre sistema de visualización y control, que son la sustitución de las luces pilotos y sistema de botonería convencional. Los datos, pueden ser almacenados en la HMI, si es que la tecnología que se está contemplando en la migración posee esta funcionalidad, así como también la replicación de teclados alfanuméricos para aumento de control, y los útiles puertos de comunicación para facilitar su compatibilidad entre varias marcas con cierta compatibilidad de enlace. Los componentes de diálogo de tecnología anteriormente mencionados ofrecen soluciones idóneas para numerosas aplicaciones a través de la implementación de migraciones. Sin embargo, la evolución y tendencias de unidades de fabricación hacia una mayor flexibilidad, exige la posibilidad de realizar cambios rápidos y fáciles en los programas de producción, una gran precisión en los controles y ajustes, la necesidad de modificar datos, entre otros. Por consiguiente, los intercambios de datos entre el operador y la máquina son cada vez más numerosos y variados.

Las exigencias de las aplicaciones para realizar todos estos cambios e intervenciones de manera fácil y rápida en los parámetros de funcionamiento y capacidad de mostrar los datos hacia el operador, se logra por medio de las instalaciones de tecnologías avanzadas en el campo de la automatización industrial. Las terminales o interfaces de operación poseen un conjunto de

funcionalidades, las cuales pueden ir variando y se deberá de escoger la opción más adecuada según la necesidad del proyecto, ya que se pueden incluir las mejoras de cada migración, con el fin de obtener su máximo beneficio para la operación de la maquinaria. Es por eso por lo que se deben de evaluar las distintas tecnologías, para luego brindar al sistema de control un aumento de seguridad y disponibilidad con un mayor control sobre manejos de memorias y aumento dinámico en la operación.

En cuanto a la funcionalidad y la transmisión de datos, es un aspecto técnico de mucha importancia, debido al intercambio de señales entre equipos HMI y controladores PLC's, que se realizan por medio de un enlace de comunicación específico. Los protocolos utilizados permiten intercambiar datos con autómatas de distintos fabricantes y con cualquier producto que tenga capacidad de comunicación compatible. Muchos de los fabricantes tienen su propio protocolo industrial de comunicación para generar únicamente compatibilidad entre su propia marca, sin embargo, existen convertidores y acopladores encargados de realizar una traducción entre distintos protocolos para realizar la comunicación deseada según la solución que se requiera.

La visualización de los mensajes de diálogo, deberán de utilizar un indicador según sus categorías dentro de los terminales de operación. Esta característica describe la demostración de los mensajes, incluyendo de configuración y funcionamiento básico de hardware de cada pantalla. Durante una migración de pantallas o automatización de botonería convencional, los equipos podrán ser configurados y programados para disponer de toda la información necesaria para realizar un manejo optimizado para los estados de la máquina, alarmas, parámetros de funcionamiento, como parte de una inteligente migración de tecnología, deberá de tener la capacidad de crear y mostrar una representación

gráfica o esquemática del proceso y buena capacidad de manejo de datos, inclusive recetas editables según aplicación de proceso.

El ingreso de datos y parámetros en la terminal de operación deberá de contener pulsadores digitalizados y un menú de navegación entre pantallas, esto para obtener inclusive teclas físicas programables como adición a la pantalla táctil. En donde claramente una modernización del sistema permitirá visualizar:

- Parámetros de operación configurados por el operador y estados de funcionamiento.
- Mensajes o valores para los procedimientos de fabricación, información valiosa para control de mantenimientos.
- Representación semigráfica y/o gráfica en su totalidad, de las instalaciones o proceso mediante el cual se requiera implementar, que puede contener mensajes o valores de tipo alfanuméricos.
- Información de utilidad para otras instalaciones, permitiendo descentralizar los datos hacia pantallas configuradas como parte de la red de diseño.
- Impresión de datos a medida que aparecen en pantalla de manera automática.

2.12. Supervisión y monitoreo

La supervisión es una forma evolucionada de diálogo hombre-máquina, que, al no encontrarse implementada en un sistema de control, se puede obtener

un gran beneficio en cuanto disponibilidad y modernización de este, por medio de su migración correspondiente. Sus posibilidades superan ampliamente a las de funciones de mando y visualización descritos con anterioridad. Este tipo de solución es implementada en base a la necesidad de resolver problemas, que requieren una elevada metodología de su análisis correspondiente a:

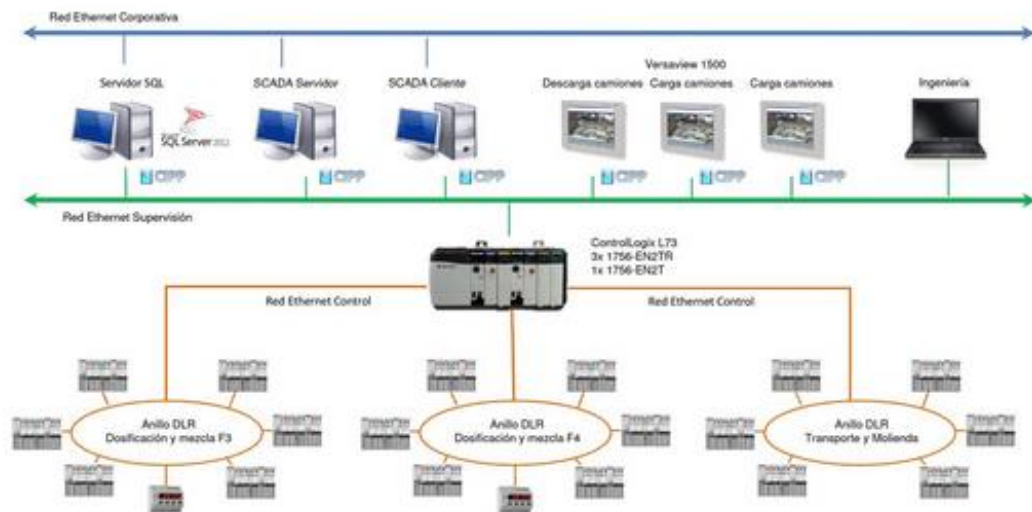
- Aseguramiento de comunicación entre equipos de automatismo y herramientas informáticas que son utilizadas para gestionar la producción y los distintos programas de fabricación.
- Coordinar el funcionamiento de los conjuntos de máquinas que componen grupos o líneas de producción, garantizando la ejecución de órdenes comunes y de tareas específicas como sincronización, control de marcha maestro-esclavo, disponibilidad de procesos, entre otros.
- Garantizar la gestión cualitativa y cuantitativa de la producción, tarea que requiere la captura de numerosos datos en tiempo real, su archivado y tratamiento inmediato en base a las condiciones previamente establecidas como prioridades de medición del proceso.
- Asistencia al personal encargado de mantenimiento y operación de la maquinaria para realización de diagnósticos y maniobras de mantenimiento preventivo y correctivo.

El potencial de procesamiento y las funciones avanzadas de los sistemas de supervisión son utilizados principalmente en los procesos continuos y en los grupos o líneas de producción integrados en estructuras de automatismo distribuido y jerarquizados. Sin embargo, también pueden ser implementados en máquinas o procesos autónomos controlados por un solo autómeta. En muchos

escenarios, el uso de un supervisor puede mejorar considerablemente el rendimiento, por ejemplo, cuando la producción requiere cambios frecuentes de recetas, cuando los ciclos de producción incluyen fases de preparación o de un paro programado, cuando se requiere gestionar la producción, la supervisión brinda información para la toma de decisiones de una manera más acertada en base a los datos recopilados del sistema.

Se muestra a continuación la implementación de una arquitectura basada en supervisión de planta.

Figura 16. **Arquitectura de red como supervisión**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

2.13. **Sistemas de información aplicados**

Una de las funciones principales de un sistema de información se basa en el procedimiento de los datos correspondientes a los diferentes sistemas de

medida, organización de las bases de datos y obtención de los parámetros de interés.

Las funciones principales de un sistema de información aplicado son:

- Recopilación de datos obtenidos en campo, a través de un concentrador.
- Adquisición, traslado y fácil compartición de datos para un sistema de información.
- Procesamiento inicial y prefiltración de los datos.
- Visualización en tablas, gráficos, tendencias, históricos.
- Agrupamiento de datos.
- Salida, acumulación y mantenimiento de las bases de datos.
- Regulación automática de parámetros como variable de proceso.
- Integración de sistemas de información para coordinamiento de tablas de datos representadas en reportes y/o indicadores.

Los sistemas, a su vez, se pueden mencionar principalmente como tres:

- Sistema de visualización y control.
- Sistema de historización.
- Sistema de reportes.

Todo control en la actualidad de los sistemas de información se está estableciendo en un gran número de campos. Las tareas automatizadas de control y visualización que se efectuaban con PLC's se están realizando con sistemas de control basados en una PC, utilizando tarjetas de expansión o de adquisición de datos, las cuales son implementadas en las migraciones y contempladas como mejoras de su modernización.

Ventajas de control mediante PC:

- Alta densidad de procesamiento de datos.
- Visualización de forma expandida adicionando monitores de proceso.
- Alta velocidad de transmisión de datos.
- Obtención de respaldo a nivel de sistema operativo y no solo de aplicación.
- Trabajos en redes predefinidas.
- Futuro crecimiento y mejoras de hardware secuencialmente conforme el tiempo.

Desventajas de control mediante PC:

- Datos e información en tiempo real únicamente.
- Servidor de datos deberá ser implementado por aparte para realizar ordenamiento de datos.
- Servidores extras para aplicaciones y sistema de plataformas donde irá montada la información, interfaz, base de datos, entre otros, deberán ser independientes.
- Alta vulnerabilidad del sistema.

Por lo que se recomienda migrar en conjunto a los PLCs a un nivel más alto, para la realización de tareas de monitorización y control, historización y reporte. Es aquí donde los sistemas de información se pueden llegar a convertir en sistemas SCADA, que son utilizados por industrias para una gran variedad de procesos con características escalables, permitiendo a cada empresa que desea implementarlo, una configuración simple como isla, hasta las instalaciones grandes y de arquitecturas complejas.

SCADA se refiere por sus siglas en inglés a “Supervisory Control And Data Acquisition” (supervisión, control y adquisición de datos), es un sistema de software y hardware que permite a las industrias:

- Control de procesos localmente o a distancia.
- Monitorizar, recopilar y procesar datos en tiempo real.
- Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, bombas, motores, señales específicas, entre otros, a través del software de interfaz hombre-máquina (HMI).
- Almacenar eventos en archivos de registros.
- Fabricación de reportes para indicadores requeridos.

Los sistemas de información o SCADA son integrados a los distintos tipos de controladores, que, a su vez, son comunicados con una gran variedad de estaciones de trabajo para el control de máquinas, pantallas de monitoreo / operación, sensores y dispositivos, estaciones de soporte, y servidores de información, que, todos trabajando en conjunto, se encargan de redirigir toda la información desde estos objetos y señales de campo, hasta los ordenadores donde se encuentre instalada la plataforma de servicios para obtener la migración hacia un sistema SCADA.

Estos sistemas son cruciales para los procesos industriales, ya que brindan la información necesaria para la mejora de eficiencia, procesamiento de datos para la toma de decisiones más inteligentes y acertadas, y aviso de problemas del sistema de control, lo cual reduce un tiempo muerto de producción o inactividad. También pueden notificar rápidamente a un operador que un lote de producción muestra una alta incidencia de errores o rechazos debido a estrictos controles de calidad. Este tipo de software constituye un avance de gran impacto en la automatización industrial, es por ello por lo que se recomiendan altamente

las migraciones correspondientes de los distintos equipos de control, para que puedan ser integrados al SCADA, ya que permite ilustrar gráficamente los procesos productivos en pantalla y crear alarmas y advertencias en tiempo real, para el manejo confiado y pleno del proceso que se desea controlar.

Existen una variación de sistemas de control, que, al ser integrados, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales, lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada, es la parte de control supervisado, la cual, es la característica definida por el proceso que se desea controlar por el hardware y la instrumentación necesaria de control (PLC's, controladores lógicos, gabinetes de control), que se instalarán sobre un sistema de control. En consecuencia, el operador supervisa el control de la planta y no solo monitorea las variables que en un momento determinado están actuando sobre la planta; esto significa que puede actuar y modificar las variables de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con facilidad intuitiva que ofrecen los sistemas SCADA.

La función de monitoreo de los sistemas se realiza sobre un computador industrial, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla HMI, que a su vez ofrecen una gestión de acceso para alarmas básicas, mediante las cuales la única opción para el personal operativo de la máquina es la activación de un paro de emergencia, reparar o compensar la anomalía controlada y realizar un restablecimiento de la máquina.

Los sistemas utilizan una interfaz que permite la detección de cambios del sistema y que permiten solucionar el problema mediante las acciones diagnósticos en tiempo real y autorizar la carga de cambios para su corrección. Esto les otorga una gran flexibilidad, seguridad, disponibilidad y orientación de procedimientos para la resolución de una falla.

Como características principales de un sistema de información, al ser migrado hacia nuevas tendencias de tecnología, tenemos:

- Almacenamiento de alta densidad de datos. Los datos pueden mostrar varios formatos según los requerimientos del usuario.
- Interfaz para conexión de gran cantidad de señales en una amplia región para varias operaciones de monitorización y control.
- Simulaciones de datos reales con la ayuda de los operadores.
- La seguridad de los operadores y el equipo se incrementa a través de procesos predefinidos administrados por un sistema de información.
- Obtener muchos tipos de datos de las unidades terminales descentralizadas que se encuentran interconectadas con la unidad maestra o principal.
- Los costos de ingeniería, tiempo y riesgo se reducen a través de una integración por medio de todo el paquete completo de una misma plataforma de tecnología.
- Con los protocolos avanzados y softwares de aplicaciones, los datos se pueden monitorizar desde cualquier lugar y no depende desde el sitio localmente.
- Optimización de recursos, personas y activos de la planta, ya que los sistemas de información ofrecen un alto nivel de control sobre el entorno de la planta.

- De naturaleza escalable y flexible al agregar recursos adicionales.
- La productividad se incrementa a través del análisis de los procesos utilizados para mejoramiento de eficiencia de la planta y producción.
- Se utiliza en amplias industrias y departamentos, incluyendo telecomunicaciones, energía, transporte, petróleo y gas, agua, milicia, artículos de limpieza, alimentos, bebidas, entre otros.
- La calidad se ve afectada de forma incremental, ya que el análisis de datos del proceso puede resultar en la prevención de errores antes de que ocurran.
- Los operadores son más efectivos al utilizar un sistema de información completo, ya que consolida los diversos procesos de la planta y les proporciona una visión general completa de las operaciones.
- Adquisición y almacenado de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida en forma continua y confiable.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y su monitorización por medio de alarmas y estados.
- Ejecución de acciones de control para modificar la evolución del proceso, actuando ya sea sobre los reguladores autónomos básicos o directamente sobre el proceso mediante las salidas automatizadas.
- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.

- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.
- Supervisión, para observar desde una o varias estaciones de monitoreo el comportamiento de las variables de control y acceso a la información.
- Transmisión e interacción de información con dispositivos de campo y otros controladores.
- Bases de datos, gestión de estas y sus accesos con bajos tiempos de respuesta.
- Presentación y representación gráfica de los indicadores de manufactura.
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera, indicadores, KPI'S.

2.14. Prestaciones de un sistema de información

Comprende una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador. El clásico supervisor soportado por un SCADA es un sistema donde se integran todas las tareas de control, visualización, detección y diagnóstico de fallas, como actividad previa, que permite incorporar de manera natural, el control de la forma más accesible para el operador y niveles gerenciales que realizan consultas a la información.

Al implementarse una migración de tecnología, las prestaciones que ofrece un sistema de información, se extienden desde los paneles de control para un determinado proceso en donde se deberá reconocer e indicar una parada del servicio o situación de alarma, quedando un registro de incidencias, la generación y exportación de estos históricos para su posterior análisis, la ejecución de programas con capacidad de cargar cambios en línea sobre el controlador bajo ciertas condiciones previamente establecidas, contempladas dentro del proyecto de migración. Estos beneficios se pueden obtener de las aplicaciones basadas en controladores e interfaces de computadoras industriales, programadas y configuradas para la captura de datos relevantes, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a unidades de almacenamiento, impresión, control de actuadores, entre otros.

Entre los requisitos que debe de tener un sistema de información para obtener el máximo beneficio, planteado como objetivo de migración, se encuentran las arquitecturas abiertas capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de las industrias, la fácil comunicación y de manera transparente hacia el usuario, supervisor, gerencia y personal de soporte con sus respectivos niveles de acceso. Un sistema de información, como aplicación SCADA correspondiente a un software industrial específico, requiere ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema para poder gobernar y gestionar la información recopilada que se describe a continuación:

- Un ordenador principal del sistema, el cual supervisa y recoge toda la información del resto de sistemas, que a su vez pueden ser estar otros ordenadores conectados a instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos.

- Un ordenador secundario o clientes dentro de una arquitectura cliente-servidor, que no necesariamente tiene que ser una PC, ya que la tendencia actual es dotar a los PLC's la capacidad de ser la unidad remota gracias a los avances de la tecnología en sistemas de automatización industrial y sus mejoras de características técnicas según los fabricantes. Estos controles son ubicados en nodos estratégicos del sistema gestionado y controlando las máquinas o estaciones de aplicación; se encargan de recibir las señales involucradas, que a su vez comandan los elementos finales de control. Se encuentran en el nivel intermedio creando un enlace entre la unidad maestra y los dispositivos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.
- Red de comunicación: corresponde a la fase de automatización y migración de un sistema antiguo de intercambio de información obsoleto, que puede ser el bus de campo para enlace de instrumentos de campo, como mensajes entre varios controladores, y que estos a su vez envían toda la información a los ordenadores principales del sistema. El bus de campo utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según los requerimientos y condiciones del sistema. La diversidad de software y su adecuada selección para la implementación del sistema SCADA, en una migración de tecnología de sistema de información, son necesariamente un punto de evaluación para poder realizar una conexión amigable de enlace para su topología de control actual y futura.
- La estandarización de comunicaciones con los dispositivos de campo es, cada vez más, una ventaja para las distintas plantas industriales, al ser implementada la estandarización, es posible una puesta en marcha de un sistema SCADA, ya que no existirá inconveniente alguno referente a los protocolos de comunicación variantes o en caso de que exista una

variabilidad de buses de comunicación, se necesitarán convertidores o acopladores de red específicos para crear la interconexión entre un sistema y otro.

Una característica de los sistemas de información es que su estructura, componentes del software, y plataformas de complemento, son modulares o escalables, lo cual permite a la industria implementar su migración según las necesidades del proyecto.

2.15. Sistema de visualización y control

Es el encargado de procesar la información de operación y realizar las acciones necesarias de manera automática o manual según los alcances de tecnología de equipos de mando, potencia y medición, para luego transmitirla en un protocolo standard de información hacia uno o varios servidores, los cuales se podrán acceder para consultas y monitoreo del sistema. Las necesidades de monitoreo con opción a control se dan en los primeros tableros de control, donde una multitud de luces indicaban las diferentes situaciones o estados de la máquina.

Cualquier situación imprevista, o pasada por alto, podía significar varias horas de trabajo de los encargados técnicos, para llevar la falla del sistema omitida hacia el panel de control y su integración como tal llegase a complicar debido al espacio físico para integrar una luz piloto, bornes de conexión, módulos de señales e inclusive una memoria limitada del controlador como complicación del sistema. Debido a esto, la aparición de la informática permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla y las modificaciones o integraciones nuevas como parte del sistema que se requieran implementar, se vuelven

factibles debido al avance de las tecnologías y su puesta en marcha a través de las migraciones de cada sistema.

Varios fabricantes desarrollaron paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron así una flexibilidad para la parte de monitoreo y control. Esta tendencia ha ido en crecimiento, de tal manera que las migraciones deberán de ser diferenciadas por su capacidad de crecimiento y enlace de comunicación con las distintas redes de control. Algunas de ellas son:

- Rockwell Automation: FactoryTalk View
- Siemens: WinCC
- Schneider Electric: WonderWare / InTouch
- Omron: Sysmac SCS
- Inductive Automation: Ignition

La evolución de los sistemas operativos ha incrementado también las posibilidades de que estos sistemas permitan arquitecturas de multi-clientes debido a las capacidades de cada tecnología. El avance del IIoT (internet industrial de las cosas), en el mundo de las comunicaciones industriales, ahora es posible conectarse a un sistema de control situado en cualquier parte del mundo por medio de la tecnología Web-Server, que no es más que un acceso por medio de un navegador web que permite la aplicación de interfaz a través de una dirección IP asignada, para visualización y con posibilidad de control de manera remota. La parte de control está totalmente ligada al sistema de visualización, y las migraciones de tecnologías deberán de ser implementadas para los distintos controles y/o visualizaciones, ya que, con su modernización de ambas partes, se logra un tiempo de respuesta mucho menor, mayor información

de diagnóstico, histórico de fallas, tendencias, que a su vez mejorará la seguridad y disponibilidad de un sistema de control industrial.

Las bondades de migrar hacia un sistema moderno de control y visualización radican en el manejo completo sobre un sistema de control estándar para la industria donde se implemente, y que su compatibilidad sea en la mayoría o totalidad del hardware. El Adquirir una arquitectura integrada y abierta, permite las combinaciones de aplicaciones estándar para diversos controles sin importar la marca o fabricante.

Como aspectos importantes a considerarse dentro de las migraciones de los sistemas de visualización y control, se conciben como una herramienta de apoyo para las siguientes áreas:

- **Económico:** brinda la facilidad de visualizar qué ocurre en la instalación, desde un punto de control, antes de coordinar la movilidad de un operador a realizar la tarea. Evita que ciertas revisiones sean innecesarias.
- **Accesibilidad:** se refiere al beneficio de acceso al control específico de equipos automatizados, que se encuentren en ubicaciones altamente dificultosas para su revisión. Es posible consultar el estado de las distintas estaciones de operación por medio de una estación de ingeniería, ubicada no necesariamente en sitio, y ejecutar maniobras y revisiones necesarias.
- **Mantenimiento:** la adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener las referencias del proceso, almacenarlos, y presentarlos de manera resumida, para las áreas involucradas. El sistema de informaciones posible configurarse, de tal manera que, se genere un informe cuando se aproximen fechas de revisión preventiva y/o correctiva.

- Ergonomía y Gestión: donde se procura realizar que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos desgastante posible, y que permitiendo que todos los datos recopilados sean valorados de múltiples maneras, mediante herramientas estadísticas, gráficas y valores del sistema.
- Flexibilidad y Conectividad: cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización / control, no significará una gran inversión de tiempo y medios, ya que existen permisos designados para carga de modificaciones que sean requeridas o de alguna otra tarea específica parecida, por medio de la implementación de sistemas abiertos y transparentes. La documentación de protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y tecnologías, evitando la desinformación que pueda causar fallas en el funcionamiento y que se benefician por medio de las migraciones de tecnologías de los sistemas de información.

Dentro de las ventajas más evidentes al migrar hacia un sistema de visualización y control, comprende, una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador, que permiten la monitorización de datos en tiempo real a los operadores en planta, la supervisión y mando de procesos y herramientas de gestión para la toma de decisiones, con la capacidad de ejecutar cambios que permitan supervisar los nuevos resultados del control establecido, y que bajo ciertas condiciones, permita anular o integrar programación, con el fin de minimizar la supervisión del operador, que tiene como objetivo facilitar la interacción con las máquinas, líneas y áreas de una o varias plantas de una sola empresa de forma sencilla e intuitiva, pudiendo ser desde una sala de control central como desde una terminal de operación al pie de la línea donde se encuentre la máquina.

La nueva configuración de un sistema supervisorio, debido a una migración de tecnología como parte de la estructura de un sistema de información, permite definir el entorno de trabajo de la aplicación según la disposición de pantallas requeridas y los niveles de acceso para los distintos usuarios. Se deberán contemplar para la migración todas las pantallas gráficas o de texto que se van a implementar, pudiendo ser importadas desde una aplicación existente, o generadas en el propio sistema de monitoreo y control. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar o utilizar objetos estándar disponibles, con funciones de edición y que durante la migración se deberán tomar en cuenta todas las configuraciones de *drivers* de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo, conexión de red entre interfaz y equipos de control. La sinergia del sistema de visualización y control, sistema de históricos y sistema de reportes, proveen las herramientas que facilitan el estudio del proceso y aumentan la comunicación de planes estratégicos para requerimientos particulares que impactan considerablemente en cada planta industrial.

Los desafíos planteados debido a los procesos industriales exigentes, han sido desarrollados y favorecidos por las tecnologías de automatización en cuanto a sistemas de información, y han potenciado la convergencia de la administración estratégica y optimización de procesos por medio de las migraciones de tecnologías, las cuales deberán considerar una serie de características de proceso de planificación previas a la migración, donde se plantean importantes desafíos de diseño y arquitectura de funcionamiento al momento de migrar. Naturalmente se migra un sistema de información principalmente por:

- Necesidad de integrar información técnica, económica, operativa, estadística y estratégica en el diseño del proceso.

- Participación de diversas especializaciones del proceso; esto con el fin de documentar y detallar toda la información prioritaria del sistema que se planea implementar o migrar.
- Manejo, análisis y comunicación de la información contenida en grandes conjuntos de datos multivariados, y su utilización de forma gráfica durante la toma de decisiones.

Todas las herramientas de visualización y control están basadas en la necesidad de migrar hacia un sistema, el cual construye representaciones visuales interactivas de datos, con el objetivo de que su manipulación facilite la extracción de información y el entendimiento de los procesos que los generan. La motivación principal para utilizar una codificación gráfica se basa en la utilización y explotación de las tecnologías de la automatización según el fabricante y la alta capacidad de procesamiento para la detección de patrones en los datos, ingreso y/o modificación de secuencias, reconocimiento de estados, alertas, alarmas, y advertencias que dirigen el proceso hacia una modernización del sistema visual y de control por medio de las migraciones correspondientes de hardware y software.

2.16. Sistema de históricos

Como parte de los sistemas integrados de automatización, existe la parte de recolección de datos, la cual permite obtener información del proceso, en tiempo real e histórico. Suministra datos complejos de fabricación en una unidad centralizada, para luego brindar valiosa información sobre parámetros de rendimiento, tiempos, paros programados y no programados, velocidades, entre otros, ya sea para una máquina individual, línea de producción y/o la fábrica completa. Un sistema de históricos debe de ser fácil de integrar, utilizar interfaces

estándar y automatizar los procedimientos de instalación con los softwares encargados de desarrollo de los equipos de control en planta. Las ventajas de utilizar un sistema de recolección y registro de información, es que se puede acceder a los datos en tiempo real, la forma de obtención de datos de planta debe de ser robusta y confiable, identificar interrupciones de línea y lugares que requerían acciones correctivas necesarias y el aumento de la eficiencia de producción.

En toda migración de tecnologías, en cuanto a sistema de información, se deberán de contemplar los aspectos técnicos de manejo de bases de datos, recolección de datos, muestreo de información, a través de sus funciones principales de almacenamiento y procesado, ordenamiento de los datos, según formatos simplificados para los elementos locales y periféricos a nivel de hardware y/o software del sistema. Uno de los aspectos importantes es la forma en que otra aplicación o dispositivo pueda obtener un acceso a la información, en donde gracias a las nuevas tecnologías y accesos remotos, los datos generados por el proceso pueden seleccionarse por intervalos periódicos y almacenados como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por un software desarrollado como reportes para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento.

Esto es posible por medio de un intercambio dinámico entre el sistema de visualización y control, el sistema de históricos de información y el sistema de reportes. Las distintas tecnologías de computadoras serían las designadas para almacenamiento y procesamiento de toda la información, pero se fueron convirtiendo en limitaciones debido a sus capacidades de hardware y manejo de variables con un tiempo de respuesta relativamente creciente. Dentro de las migraciones se debe identificar claramente la utilidad de poder disponer de estos datos generados y almacenados sobre un sistema, de manera que se pudiera

realizar las consultas necesarias como objetivo de proyecto de migración a implementar el hardware capacitado para la alta demanda de información que será almacenada y procesada según se requiera.

Los aspectos por evaluar para la migración de un sistema de información, cuando se llega a la parte de almacenamiento de datos, es definir el primer tiempo de almacenamiento donde resguardarán los datos provisionalmente, antes de tomarse en cuenta como una variable. la cual podrá ser accedida desde una ubicación dada para su traslado, el ordenamiento de elementos por categorías, es decir: la creación de bases de datos de forma jerárquica para establecer un esquema de variables definidas y sus restricciones por nivel.

En la figura 17, se muestra un esquema correspondiente a una línea de producción, el cual está conformado por un grupo de máquinas, a la cuales se les asignará una o varias variables como datos de extracción, y que serán clasificadas según las necesidades del proyecto de migración.

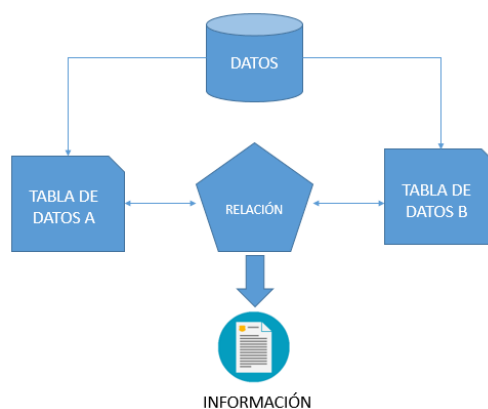
Figura 17. **Esquema de variables en línea de proceso**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

La interacción entre una base de datos y otra, puede tener un valor agregado, si se contempla en la migración de un sistema de información, ya que la tendencia de tecnologías ha sido implementar la mayor transparencia al momento de realizar los intercambios de datos entre las distintas bases de datos.

Figura 18. **Esquema de bases de datos relacionables**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop CS 2018.

Las bases de datos relacionales industriales deberán de ser capaces de almacenar una alta densidad de datos para un periodo dado, hardware adecuado para expansibilidad y crecimiento de la información a procesar. Las bases de datos industriales han ido modernizándose donde toman y ejecutan la solución principal de actualización de datos aumentando la capacidad de almacenamiento y disminuyendo el espacio requerido. Los datos recabados de planta son requisitos básicos para una gestión óptima, y representan únicamente espacio de memoria aquellos que han sido registrados de forma exhaustiva y precisa, que hayan sido comprimidos y archivados adecuadamente, en donde al culminar la migración hacia la nueva plataforma, se puedan lograr las consultas necesarias para su posterior obtención de futuras medidas de optimización de un proceso eficaz.

Todos los datos a los que se acceden, directamente mediante recabados de campo como los sensores y máquinas en general, deben gestionarse de la mejor forma posible, esto conlleva a la ejecución de planes de migración para lograr el procesamiento en conjunto de datos de diferentes entornos del sistema. La optimización de procesos en plantas industriales se basa en una data válida desde el inicio hasta el final del proceso. En las nuevas tecnologías de bases de datos industriales se establecen qué datos se necesitan, en qué formatos habrá que trabajar y cómo será el método de obtención, compresión y almacenamiento con una elevada calidad consistente.

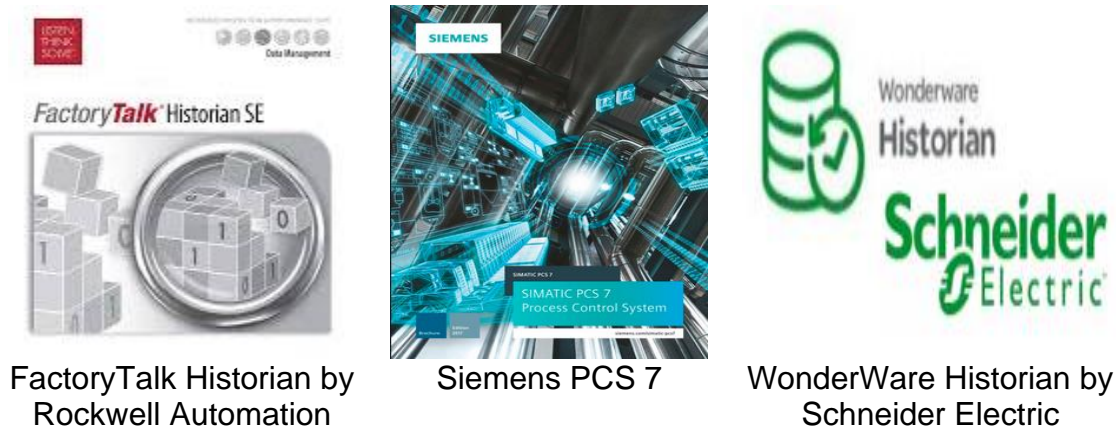
Entre los sistemas modernos de información, la tendencia de migración de estos sistemas es el enfoque de históricos para las señales y posteriores indicadores dentro de las plantas industriales. Entre los más utilizados podemos mencionar: FactoryTalk Historian (Rockwell Automation), Simatic Process Historian (Siemens) y Wonderware Historian (Schneider Electric), que son plataformas bastante completas donde se ha ido optimizado la recolección de datos, por medio de las siguientes mejoras y modernizaciones para el sistema de información:

- Optimización del rendimiento: Los ajustes que hacen posible que el equipo alcance su estado óptimo solo se puede determinar lentamente y de forma selectiva. Además de una estrategia precisa, con un plan específico por ejecución, se requiere una gran cantidad de datos diversos que deberán ser archivados durante largos períodos de tiempo y deben poder evaluarse de manera transparente. Los datos deben de permanecer disponibles para llevar a cabo análisis diversos para posibles estudios de tendencias. Para ello, es importante que al momento de registrar los datos se acceda a la información de las máquinas y sistemas de la forma más directa posible. Esto implica la migración de tecnologías para lograr total transparencia.

Deben de ser posibles en tiempo real las consultas y en intervalos de tiempo cortos, con información temporal y de manera precisa.

- Garantizar la calidad: Se establecen las condiciones de producción para cada lote. Con el objetivo de obtener una optimización determinada de la calidad de producción y la distribución del producto final y el tiempo específico, para recurrir a datos con profundidad en detalle.
- Documentación de proyectos: La generación de proyectos de migración y/o automatización, y su convergencia de los sistemas de información trabajando en conjunto, requiere recursos y tiempo de diseño. Sin embargo, a través del proceso de documentación por medio de la tecnología y software adecuado es posible crear la información precisa y detallada del proyecto, por medio de un cronograma y objetivos puntuales para tareas específicas durante toda la migración.
- Recolección de datos de planta: Es la máxima prioridad, y se basa en el requerimiento de un soporte real, mediante procedimientos automatizados para el levantamiento y procesamiento de datos de planta. Idealmente, los datos deben registrarse y procesarse de forma automática. Esto implica la obtención de datos de HMI, módulos especializados de PLC y software dedicado en la evaluación de datos. La dirección de planta debe de establecer los procedimientos: de obtención de datos y criterios de calidad, por medio de la implementación de las bases de datos industriales para la acertada toma de decisiones.

Figura 19. **Sistema de información industriales**



FactoryTalk Historian by
Rockwell Automation

Siemens PCS 7

WonderWare Historian by
Schneider Electric

Fuente: elaboración propia.

2.17. Sistema de reportes

La mayor parte de información que generan las distintas plantas de producción necesitan aprovecharla y conocer acerca de sus indicadores de operaciones en fabricación, la cual se encuentra oculta en su mayor activo encubierto, los datos de fabricación, que es la información más valiosa que puede obtener una planta de producción para conocer realmente sus puntos de mejora. Es por esto por lo que se debe de migrar hacia un sistema de reportes. Sistema de información que permite el acceso de usuarios para la exploración de todos los datos valiosos del proceso de fabricación, la cual puede ser consultada a través de una estación de ingeniería, una aplicación dentro de una pantalla, o simplemente un portal web, dependiendo de la tecnología y marca que se decida implementar en una migración.

Su función como una útil herramienta es integrar toda la información existente en una base de datos y trasladarla a un solo entorno de aplicación visual, brindar información depurada de manera continua, para la toma de

decisiones. Toda ingeniería aplicada al campo industrial y relacionada con los fabricantes permite automatizar buena parte de los circuitos operativos y productivos, de tal modo que se cumple una eficiencia en producción y control, la fabricación de mejores productos y hacerlos de manera más rentable, permitiendo al mismo tiempo que los operarios trabajen con umbrales más elevados de seguridad y que puedan liberarse de tareas demasiado rigurosas, donde únicamente desempeñará un papel de supervisión gracias a la migración del sistema de control.

Dentro del conjunto de sistemas, que tienen la automatización presente, únicamente se deberá evaluar la parte de sistemas de información, en donde los reportes industriales resultan de gran importancia para las tareas de supervisión y control, y mucho más esencial para lograr una correcta integración de los sectores productivos (la planta) y las instancias de gestión y administración, por medio de reportes. Es importante resaltar que no toda la información es de gran utilidad, sino se filtran los datos y no se depuran en relación a lo que sea de interés para un indicador en específico, los reportes serán demasiado extensos y se perderá visibilidad objetiva al momento de su análisis.

Los sistemas de reportes aportan hacia la industria, una gestión con los datos relevantes que brindan la información adecuada para su aprovechamiento en los niveles superiores de la jerarquía de la planta industrial.

2.17.1. Aplicación en la industria

Evidentemente en relación a la migración o automatización de los distintos procesos que configuran la actividad de una planta de índole industrial, se basa en tres planos principales: su disponibilidad, la calidad de fabricación y el rendimiento. La reducción de costos también es una aspiración central, así como

garantizar la adecuada provisión de los clientes y lograr que el mantenimiento de las máquinas y procesos sean lo suficientemente amigables después de una migración.

Bajo este contexto, los sistemas de reportes son una herramienta fundamental para las empresas industriales, en donde automatizar sus esquemas productivos y migrar los ya existentes hacia nuevas tecnologías, permitirán converger hacia el sistema de reporte necesario para el acercamiento entre producción y la gestión de alto interés para los niveles superiores de jerarquía empresarial. El automatizar y aplicar las migraciones correspondientes en conjunto con un control de tarea en específico, permitirá asegurar que los sistemas de reportes industriales se conviertan en el complemento de toda planta industrial en donde se implementa una solución de automatización plasmada en la visualización de los datos de manera amigable y útil para el seguimiento, la gestión y la oportuna toma de decisiones.

Como parte de la convergencia de tecnologías, la integración de equipos y las migraciones de software/hardware de automatización, los sistemas se vuelven más confiables y obtienen la capacidad de enlazarse a distintas plataformas de los múltiples fabricantes en donde cada implementación y puesta en marcha debe garantizar las respuestas con seguridad y disponibilidad que satisfagan a plenitud los requerimientos de las plantas más exigentes, de los múltiples rubros industriales. De esta manera podemos mencionar que está claro que, sin información, es complicado tomar decisiones acertadas sobre el rumbo de la producción y sus ciclos automatizados, para ello se debe automatizar y extraer la información. Pero esto no es todo: la misma debe ser debidamente presentada, de tal modo que pueda ser claramente visual y aprovechable como insumo para definir las políticas empresariales. Los sistemas de reportes para la industria son los que nos acercan estos datos de modo conveniente, a fin de

brindar a las conducciones de las empresas industriales toda la flexibilidad que necesiten a fin de incrementar la rentabilidad de sus procesos.

Al implementar un sistema de reportes por medio de migración de tecnologías obtenemos:

- Los datos de fabricación son accesibles en tiempo real.
- Capacidad de navegador web para visualización de informes publicados, tableros e indicadores claves de rendimiento en tiempo real.
- Valor del tiempo por medio de informes, tendencias y tablas preconfigurados brindando una integración y configuración simplificada.
- Los reportes publicados proporcionan una sola versión de la realidad para toda la empresa, lo que maximiza la productividad minimizando los costos asociados.
- Generación de informes basados en una programación establecida o de cambio de valores, envío de correos electrónicos con los informes adjuntos y mensajes de texto a los números involucrados definidos.
- Conectividad a datos en tiempo real, mediante las plataformas necesarias que enlazan la información de un mismo u otros fabricantes y sus distintas fuentes de datos en tiempo real y/o históricas.
- Puede administrar quien tiene acceso para visualizar el contenido de los informes del modelo con la definición del rol de cada usuario.

Los sistemas de reportes principalmente benefician a los encargados de toma de decisiones por medio del acceso de la información en tiempo real e históricos según requerimientos, las tablas de datos son actualizadas continuamente y son disponibles en cualquier momento mediante un acceso propio de la tecnología y marca del sistema de información o a través del sistema operativo donde resida la plataforma de reportes. La toma de decisiones informadas, basadas en datos en tiempo real, se convierte en un proceso estándar en sus operaciones mejoradas.

La reducción de tiempo dedicado a la preparación de informes simples, recopilación de datos relevantes de sistemas distintos, puede tomar horas e incluso días, para luego encaminar dichos datos y ser analizados antes de tomar decisiones de producción, en donde todo esto es simplificado al migrar hacia un sistema de información identificado como punto de mejora a nivel global de la industrial. La reducción de muchos de los retardos asociados con la generación típica de informes de fabricación se logra por medio de la migración de los sistemas de reportes.

Los atrasos y las imprecisiones se producen mientras los usuarios buscan y recaban datos relevantes de diversos sistemas de fabricación y producción, para luego ser incorporados en hojas de cálculo manualmente, se organizan racionalmente, se correlacionan y se diseminan los resultados. Finalmente, los interesados tienen el tiempo suficiente de analizar los informes, en donde la información se vuelve inútil por el tiempo transcurrido y con un margen de error muy alto. En el peor de los casos, los destinatarios pierden el interés e información importante que necesitan para mejorar la productividad y reducir los costos. Al organizar todas las fuentes de datos en un modelo de producción unificado, se producen puentes entre múltiples sistemas, proveedores y tipos de datos. Las migraciones de los sistemas de información y en específico de los

reportes, presentan la información relevante en función y responsabilidad de los usuarios dentro de la planta industrial de la siguiente forma:

- Los operadores de máquinas pueden ver la información a nivel de máquina, como tablas con mediciones de eficacia total del equipo, hora, fallas y análisis de piezas, eficiencia total del equipo por hora con un objetivo, incluyendo listado de detalles de eventos tabulares.
- Los gerentes de planta pueden acceder a los indicadores claves de rendimiento a nivel de planta en formato de pantalla de puntuación de producción, para reemplazar un resumen de producción manual que la mayoría actualiza de forma manual.
- Los ejecutivos de operaciones pueden ver informes a nivel de toda la empresa; por ejemplo, una comparación de planta hacia planta de producción en tiempo real y rendimiento financiero.

Los usuarios deben de ser capaces de obtener toda la información que necesitan para reconocer el significado de lo que está sucediendo al momento, y frente al histórico según necesidad de evaluación de una fecha específica. Al existir varias fuentes de datos de distintas plataformas, el sistema de información debe ser capaz de enlazar todos los sistemas de fabricación involucrados según requerimiento de análisis y generación de informes. Gracias a la migración de sistemas de reportería, la información siempre será actualizada, ya que todos los datos permanecen en los lugares originales de donde se produjeron y no se crea un almacenamiento de datos por separado.

Todo esto de manera automática, en tiempo real y de alta disponibilidad para los sistemas que tengan compatibilidad entre plataformas e interfaces. Con

el sistema de reportes una vez instalado, se podrán utilizar y ver rápidamente los informes en el portal web o localmente con accesos dependiendo del sistema operativo utilizado, si es que la tecnología del proveedor soporta esta funcionalidad que, en la actualidad, es parte de las características de un reporteador. También las tendencias y los métodos de visualización para tendencias preconfiguradas, cuyas características principales son:

- Monitoreo de indicadores claves de rendimiento (KPI).
- Informes de alarmas y eventos.
- Informes de lazos de control.
- Informes de dispositivos y equipos.

Dentro de los límites de informes preconfigurados, se pueden utilizar como indicadores de planta o como base para crear propios informes a conveniencia. La generación de informes debe ser sencilla, accesible por el usuario final y no únicamente para el desarrollador, para que de esta forma cualquier adición de nuevos reportes o cambios a los existentes sean desarrollados por parte del personal de la planta de manera local. Estos beneficios se deberán establecer al inicio de un proyecto de migración, refiriéndose específicamente para la parte de sistema de reportes.

El resultado al finalizar una migración o implementación desde cero de un sistema de reportes es disponer de más potencia de aplicación de la creatividad del usuario final para realizar lo siguiente:

- Múltiples períodos de tiempo, administración de lotes y consultas específicas.

- Función de acercamiento, panorámica, datos directos, información estadística.
- Gráficos muy informativos y claros, con fácil acceso.
- Vínculos de alto rendimiento para datos de estadística.
- Facilidad de modificaciones al sistema, pero con previa autorización.
- Administración de datos en serie cronológica con actualizaciones activas.
- Administración de datos transaccionales para la configuración de ítems y propiedades y cambios en los datos que datos recabados.

2.17.1.1. Características de migración

Todo sistema de reportes debe incluir especificaciones y características, para que los componentes de generación de informes sean más eficientes en la industria. Se puede iniciar creando un informe especializado para luego, cumplir todos los requisitos y condiciones, realizar la publicación de manera automática o manual desde la plataforma. Los objetos como característica importante pasan inmediatamente a formar parte del modelo y quedan accesibles desde la lista de informes a cualquier persona que disponga permiso de usuario. Las tendencias y gráficos incorporan de las más versátiles y eficientes aplicaciones de tendencias y gráficos en el mundo, una simplicidad de arrastrar y colocar las variables de proceso u objetos completos en la aplicación gráfica. Se pueden cambiar los períodos de tiempos comparativos, recopilación de búsquedas, conmutación de datos del histórico y en tiempo real.

Como parte del aprovechamiento de todas las capacidades del sistema de reportes, se debe contar con la obtención de información del modelo del proceso, unificado para la generación de informes con una alta eficacia. La singularidad de permitir modificar informes, formatear celdas y regiones con total acceso, añadir gráficos y tablas a partir de datos que se requieran, entre otros. La visualización de los informes individualmente, por medio del nuevo sistema de información debidamente migrado, deberá ser configurado a través de los elementos, dentro de zonas por medio del portal web correspondiente a la plataforma de reportes o localmente en la red donde se encuentre el servidor designado para la generación de reportes.

La vinculación de los elementos a otros informes permite la profundización con el fin de obtener más detalles de un informe en específico. Las funcionalidades para la generación de informes y análisis proporcionan una base sobre la que establecer, medir y analizar, esto para poder impulsar los procesos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto pensando desde el punto de vista de mantenimiento, o mejorar la cadena de suministro por medio de evitar los paros no programados de producción. Al extraer, agregar, analizar y difundir con rapidez y precisión datos procedentes de diversas fuentes, es posible medir y adoptar decisiones de gestión más acertadas para impulsar los parámetros clave de mejora constante en varios puntos de la planta industrial.

Dentro de las funcionalidades de implementación de un sistema de reportes tenemos:

- Sistema fácil de utilizar basado en el portal web o localmente para compilación de datos generados.

- Funcionalidades de agregación de datos que combinan varias fuentes de datos en una solución integrada a través de la empresa conectada y su sistema de información.
- Los datos obtenidos desde cualquier aplicación, para cumplir las convenciones empresariales y seguridad de los procesos.

Las ventajas de migrar hacia un sistema de información como reportería son las siguientes:

- Establecimiento, medición y análisis de parámetros clave del rendimiento para su análisis a favor de los sectores de mejoras constantes.
- Extracción rápida y precisa de conocimientos de varias interfaces.
- Reducción de tiempo para tomar acción de un elemento de proceso.
- Control de costos, garantías de calidad y verificación de supervisorios relevantes.

Todas las tecnologías han ido evolucionando y las empresas industriales deben de migrar hacia estos puntos en donde se han realizado las conectividades de todos los niveles de la planta. Cada migración, tiene su aplicación que puede ser implementada de manera escalonada, generando fases de automatización, las cuales puede ser integradas según requisitos y funcionalidades principales de reportes, en donde se puede mencionar: Scada Simatic WinCC, FactoryTalk VantagePoint, Ignition Reporting Module, XLReport WonderWare Interface.

Figura 20. **Sistemas para generación de informes**



Siemens – WinCC



Rocwell Automation – FactoryTalk VantagePoint



HMI • SCADA • MES Software
Inductive Automation – Reporting Services



Schneider Electric – Wonderware Dream Report

Fuente: elaboración propia.

3. ARQUITECTURA DE DISEÑO Y RED

Todas las herramientas que favorecen a un sistema la capacidad de realizar un enlace de información para transmitir un mensaje hacia uno o varios receptores, desde uno o varios emisores, para coordinar las acciones y lograr objetivos de tareas específicas dentro de un sistema de automatización industrial, son afectados por su inherente tecnología de marca propietaria, su compatibilidad para enlazarse con otros sistemas y protocolos, su cumplimiento con los recientes estándares abiertos, y su accesibilidad de información dentro de una red y topología de funcionamiento en general, se deberá comprender y contemplar todas las aristas relacionadas derivadas por una migración de tecnología.

3.1. Generalidades

Dentro del ámbito de la automatización, es importante definir el tipo de sistema funcional al cual se realizará la migración. Básicamente, se encuentra compuesto por los distintos equipos de transmisión, programas y protocolos de comunicación, convergiendo entre sí, como también la definición de infraestructura de medio físico, y que todos estos son necesarios para una migración exitosa para los aspectos de transmisión de datos entre los distintos niveles de planta, esto define la arquitectura de red con la cual contará el sistema.

Toda arquitectura de red debe de migrar hacia una topología, definida como diseño del sistema para poder brindar los distintos beneficios de acuerdo a la necesidad del proyecto de migración. Para ello, es necesario identificar los dos

modelos que relacionan los distintos componentes de una red, el modelo cliente – cliente y el modelo cliente – servidor.

Tabla II. **Modelos de red**

| Descripción | Cliente – Cliente | Cliente – Servidor |
|--------------------|--|--|
| Tamaño de la red | Pocos Usuarios (<5), según el tráfico de cada cliente. | Muchos usuarios, según capacidad del servidor. |
| Expansión | Mínima. | Máxima. |
| Seguridad | Individual en cada usuario. | Centralizada en el servidor. |
| Tráfico | Excesivo, no existe control de tráfico. | Reducido, el servidor controla el tráfico. |
| Eficiencia | Baja, disminuye con cada usuario. | Alta, se mantiene con cada usuario. |
| Costo inicial | Bajo | Alto |
| Costo posterior | Potencialmente alto. | Potencialmente bajo. |
| Compartir recursos | Limitado y complicado. | Ilimitado y fácil. |
| Redundancia | No es posible. | Es posible. |

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Una industria que se rige por un diseño de red en donde evalúa los requerimientos previos, para la migración de una red y lograr su optimización de valores, impacta fuertemente en la integración de proceso de producción. Este impacto se refleja en la productividad de la empresa conectada, la sostenibilidad de planta y la agilidad de puntos de red inteligente, cadena de suministros, centro de distribución y el producto final del cliente, logrando una convergencia entre todas las áreas donde se implemente la migración a nivel de red.

La mayor característica de una infraestructura de red es llevar la información correcta hacia las áreas correctas, en el momento correcto y de forma segura. Empezando desde el personal de operación de la máquina, simplificando las maniobras de accionamientos y diagnósticos cuando son requeridos, para el personal de mantenimiento, que son los encargados de conservar las máquinas en marcha en las condiciones de límites máximos operacionales para incrementar la eficiencia general y ayuda a identificar la causa de raíz del tiempo medio hasta reestablecer un paro por falla. Para el nivel gerencial, provee un indicador de rendimiento acumulativo y visualización como clave para la utilización de activos o rendimientos, KPI'S. Todos estos puntos de mejora son de utilidad para establecer límites de acceso a la información reportada, fiabilidad de mensajes en el nivel de piso de planta y esclarecimiento de incertidumbres referentes a los temas de mantenimiento. La arquitectura de red y su diseño serán la clave para mantener toda esta información trasladada desde los puntos generados hasta los puntos de interés.

Para el caso de ya existir una red de manufactura (OT) y una red información (IT), se deberán unificar bajo una misma infraestructura, en donde se crean retos y oportunidades a través de las migraciones entre estos dos departamentos, que comúnmente se encuentran aislados uno del otro, pero que, gracias a la evolución y migración de tecnologías, se logran los siguientes puntos de convergencia:

- Ampliación del medio de comunicación entre uno o varios protocolos.
- Incremento de puntos seguros de conexión.
- Enlaces de comunicación transparentes entre equipos y redes.
- Unificación e identificación organizacional.
- Innovación y estructura de modelos de red.

En toda infraestructura de red industrial existen puntos que afectan su rendimiento e impactan en los procesos de lograr obtener una red industrial confiable y robusta.

Figura 21. **Puntos de mejora en arquitectura de red**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

El enfoque de todas las industrias respecto a los servicios y soluciones que deben implementarse para lograr una red industrial óptima empieza con el objetivo de migrar su red actual o crear una en caso de no existir, la evaluación de flexibilidad y estudios de conceptos aplicados a sus objetivos, el diseño contemplando para todos los puntos de ingeniería, la implementación con la instalación y puesta en marcha, validación por medio de operación, pruebas y mantenimiento de las redes industriales. Los puntos de mejora para una red industrial deben de contener las siguientes características para lograr el enfoque de soluciones y servicios modernos dentro de las plantas industriales.

Figura 22. **Características modernas de arquitectura de red**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

Las realidades de muchas plantas en la industria presentan limitaciones, las cuales pueden ser superadas por medio de las migraciones correspondientes de cada tecnología. Parte de estas limitaciones son tener una gran base instalada de redes propietarias del proveedor / fabricante, y no del usuario final, convertidores de protocolos de alto costo especializados, segmentación o seguridad de piso de planta limitada, soluciones de acceso remoto inseguras, control limitado por falta de políticas y procedimientos, servidores de tecnología obsoleta dependientes de una gran base de datos e infraestructura de sistemas operativos antiguos, impacto negativo en producción debido a la falta de protección de virus, falta de expansión de servidores dedicados por crecimiento futuro, gestión de reportes, historiadore de datos, entre otros, y la falta de recursos del departamento de IT para ejecutar migraciones a nivel de operación por no ser su área de especialización. Una migración debidamente dimensionada puede brindar valor en los distintos puntos de mejora, al realizarse contemplando las nuevas tecnologías que relacionan OT con IT.

3.2. Requerimientos entre nivel de planta y nivel corporativo

Para toda red industrial de planta y/o red corporativa en una empresa, es importante que se generen las políticas y acuerdos necesarios para establecer los requerimientos, prioridades y alcances, entre sus características y necesidades para obtener la mejor administración de redes con el personal de planta o soporte externo. La identificación de los enfoques para una migración de arquitectura de red o generación de esta es establecer los impactos para cada área según la tabla IV.

Tabla III. Aspectos de red para nivel de planta y corporativo

| | Red: nivel de planta | Red: nivel corporativo |
|--|---|--|
| Enfoque | Operaciones 24/7, alto indicador OEE | Protección intelectual de propiedad y activos de la compañía |
| Prioridades de precedencia | Disponibilidad Integridad Confidencialidad | Confidencialidad Integridad Disponibilidad |
| Tipos de tráfico de datos | Red convergencia de datos, control, información y seguridad | Red convergencia de datos, voz y video |
| Control de acceso | Acceso físico estricto Acceso simple a dispositivos de red | Autenticación de red estricto Políticas de acceso |
| Implicaciones de falla en un dispositivo | Paro de producción | Retraso en la obtención de datos |
| Protección contra amenazas | Aislar la amenaza pero sigue operando producción | Cierre completo de acceso de la amenaza detectada |
| Actualizaciones | Programado según paro establecido de producción | Automáticamente ejecutado durante producción |

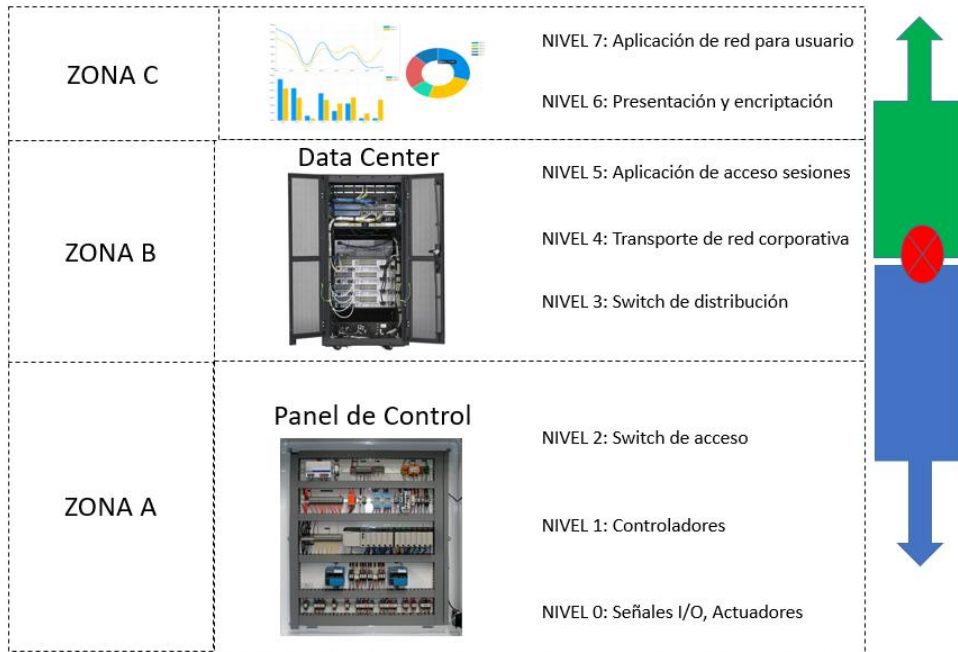
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Existen otros aspectos en donde las migraciones de arquitecturas de red pueden brindar organización, eficiencia y seguimiento estricto a sus aplicaciones en conjunto con su infraestructura de comunicación física, ya que, el 80 % de problemas en una red son de índole física por una mala instalación presentando los siguientes inconvenientes:

- Pobreza en el cableado genera dificultades para solución de problemas.
- Falta de identificación y desorganización de cableados.
- Falta de mantenimiento y revisiones de rutina.
- Riesgos de seguridad por cableado ineficiente.
- Aumento de desgaste de vida útil de equipos y cableado por falta de control de temperatura / ruido / protección mecánica.
- Rendimiento de conectividad, alimentación y puesta a tierra ineficiente generan baja confiabilidad.

Dentro de las causas presentadas en las redes industriales, en muchas ocasiones se llega a creer que se relaciona con virus, *malware* y/o accesos no autorizados, pero en la realidad se inicia con una falta de diseño de red, segundo, una falta de mantenimiento en una infraestructura física de la red, tercero, servidores obsoletos en conjunto con sus sistemas operativos antiguos, y la falta de segmentación de tráfico de datos, generando una latencia y problemas de seguridad hacia la planta. Como resultado de esto, las industrias están experimentando una anomalía en su eficiencia y flexibilidad en sus operaciones, obstaculizando el rendimiento de fabricación y dejando los sistemas de control vulnerables ante estos problemas. Como referencia a los niveles de una red, las mejores prácticas de diseño y arquitecturas para un panel de control, datos y aplicación como solución completa dentro de un modelo OSI, se tiene lo siguiente:

Figura 23. Definición de zonas de red



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

La zona A, se refiere al nivel OT, donde se implementarán las migraciones correspondientes para integrar toda la información de campo hacia un panel de control, que puede ser un sistema distribuido por periféricas remotas y un controlador potente gama alta para dirección y procesamiento de señales. Dentro de esta zona se deberán implementar los accesos hacia la data recopilada, creando una red de planta con puntos de accesos.

Para la zona B, delimitada como la más importante, debido a que tendrá el hardware y software necesario para recibir la información de la zona A, y transmitirla hacia la zona C, en donde deberán de aplicarse extensas plataformas individuales como distintos servidores para almacén de datos, ejecución y almacenamiento de aplicación, generación de reportes, información de control de

procesos y las seguridades necesarias para evitar archivos maliciosos, evitar tráfico de red y caída de la misma, brindar respaldo de acceso remoto, así como sus permisos para realizar consultas bilaterales. La zona C, se delimitará para mostrar hacia los altos mandos corporativos los datos relevantes, que generen impacto e interés para su análisis o inclusive, mostrar el resultado de dicho estudio y únicamente brindando un estatus de los indicadores o tendencias correspondientes. Es por ello por lo que una migración para obtener una arquitectura de red por zonas se deberá de diseñar en base a la necesidad particular de cada planta o proceso industrial.

3.3. Convergencia de redes en una planta industrial

Ante las crecientes necesidades de una industria que requiere reducir los costos y cumplir con las migraciones para poder mejorar sus productos finales y servicios, las plantas industriales están cada vez más orientadas a evaluar sus redes, desde los distintos equipos de manufactura conectados, a través de la integración de redes y establecimiento de arquitecturas, donde las infraestructuras deberán intercambiar toda la información sin afectar la producción. Las migraciones en la parte de arquitectura de red convergen con la implementación de una migración brindando los siguientes aspectos:

- Globalizar las operaciones a través de la integración de tecnología de informática con los sistemas de control y automatización industrial, permitiendo la convergencia de la red de la planta hacia la red corporativa, impulsando así las decisiones comerciales estratégicas que están respaldadas por datos en tiempo real de IACS (siglas en inglés que significan Industrial Automation Control System).

- Visibilidad en el IACS para la gestión optimizada de la cadena de suministro.
- Proporcionar visibilidad en el piso de la planta para una gestión optimizada.
- Mejorar los costos operativos y la eficiencia a través de las características y capacidades de fácil uso de herramientas estandarizadas que mejoran la productividad del personal de mantenimiento e ingeniería de las plantas de producción.
- Reducir el tiempo medio de reparación (MTTR) y aumentar la efectividad general del equipo (OEE) a través del acceso remoto seguro para empleados y socios involucrados con los indicadores y operación de proceso.
- Mitigar los riesgos al mejorar el tiempo de una red activa y la disponibilidad del equipo con tecnología industrial de características de seguridad y un enfoque de protección para los procesos críticos de manufactura.
- Reducción de costos y mejor utilización de activos al estandarizar una comunicación en todos los niveles de la empresa para redes IACS, capacitación de personal, repuestos y/o reposición para desarrollo de herramientas.
- Simplificación de gestiones relacionadas con una mejor integración de los IACS y soporte remoto según la capacidad de tecnología implementada.

Al migrar un sistema automatizado, la arquitectura de red para un IACS se beneficia enormemente de la transición y modernización hacia las tecnologías de redes en una planta de forma optimizada. Nuevas prestaciones y optimización de eficiencia son el resultado obtenido cuando la información contenida en el IACS está disponible y puede ser compartida hacia la red corporativa (zona A hacia zona C).

El acceso a la información de fabricación para los equipos de red existentes puede estar restringido por sistemas independientes, aislados, propietarios y cerrados a medida que continúa el movimiento hacia sistemas abiertos y transparentes como lo es el Ethernet IP como protocolo estandarizado. Aunque los integradores, empresas de procesos industriales y fabricantes como dueños de IACS, reconocen que Ethernet IP son los estándares de red, la adaptación total hacia una red Ethernet IP sigue siendo un importante trabajo de progreso, el cual viene marcado por el rechazo a la interrupción de los sistemas existentes, las realidades contables de los activos totalmente depreciados, y el flujo general de los ciclos de inversión en el proceso de manufactura de la planta al no aplicar las migraciones como protocolos de red estandarizados. A pesar de estos desafíos, el Ethernet industrial se está implementando en la actualidad a gran escala a nivel global ya que la tendencia de los dispositivos es aplicable para una conectividad transparente en un gran porcentaje de empresas industriales.

Las empresas con sistemas de control poco automatizados y arquitecturas no estandarizadas, están expandiendo cada vez más sus operaciones globales para implementar mejoras continuas y de esta manera reducir los costos de operación debido a una alta demanda con capacidad de abastecerla. También se busca mejorar la eficiencia para que los costos de sus instalaciones y procesos existentes se minimicen al máximo y lograr que sus objetivos, como la globalización y la excelencia en las operaciones se logren implementar por medio

de una mayor conectividad entre IACS y las arquitecturas de red corporativas, obteniendo visibilidad en tiempo real de la información y una colaboración efectiva donde la integración de todos los sistemas a través de la migración de tecnologías pueden brindar los siguientes aspectos:

- Garantizar la calidad y rendimiento constante en todas las operaciones globales.
- Equilibrar la fabricación con la demanda para optimizar el uso de materiales y utilización de activos.
- Implementar y mejorar el cumplimiento de normativas y estándares.
- Implementar operaciones de fabricación más flexibles y ágiles para responder a las cambiantes condiciones del mercado.
- Cumplir con los requisitos y las métricas exigentes para una entrega a tiempo mediante una reducción de MTTR y un aumento de OEE.
- Reducir el costo de diseño, implementación y soporte de los sistemas de fabricación y de IT en las plantas de fabricación globales.
- Mejorar la respuesta a los eventos que ocurren en la planta, independientemente de la ubicación del IACS.

Parte de la solución para resolver estos problemas, es una mejora al acceso a la información con la transparencia en las tres zonas de red. Con un flujo constante de datos, las empresas pueden desarrollar formas más eficientes para conectarse de una forma global con proveedores, empleados y socios, para satisfacer de manera efectiva las necesidades de los usuarios finales del producto fabricado.

Muchos sistemas industriales son funcionales, pero a un costo elevado de mantenimiento, difícil de conectar y lento para evolucionar. Con sus protocolos confinados de IACS, los requisitos específicos de operación y la variabilidad del

personal especializado en el sistema fueron las mayores complicaciones presentadas por las industrias. Al tener controles discretos, de proceso, por lotes o híbrido, los fabricantes tienen la necesidad de que su sistema interactúe en tiempo real con las demás aplicaciones a nivel corporativo, con los miembros de la cadena de suministro y los clientes finales. Para lograr esto, los fabricantes están migrando y convergiendo sus redes IACS con las redes empresariales o corporativas. Al realizar esto, las migraciones de red afrontan una serie de desafíos, como:

- Confiabilidad, a medida que las operaciones de manufactura se integran globalmente, los fabricantes tienen el desafío de brindar un acceso consistente a los datos y hacer que el entorno de manufactura sea flexible. La seguridad, la disponibilidad y el uso de los activos son de vital importancia para las empresas de fabricación, ya que los equipos IACS son fundamentales y críticos para la medición de eficiencia y de esta manera conservar un nivel de competitividad industrial.
- Costos, los sistemas de control obsoletos, pero aun operando, se deprecian continuamente por los entornos de fabricación moderna. Esto puede ser difícil de integrar con la red corporativa e incrementar un costo elevado de operación o extracción de información, debido a las múltiples redes en uso que requieren administración, capacitación, integración, puertas de enlace, repuestos, lo cual puede representar un obstáculo para la modernización de la industria.
- Integración del diseño del producto, el acceso limitado a personal experto de forma local en las especializaciones de fabricación colaborativa afecta la capacidad de respuesta rápida ante los eventos y la evolución de

nuevos productos, presentando un aumento de costo para resolver un problema.

- Gestión e interacción de datos, Incorporando datos operativos y de productividad de la planta en tiempo real a los sistemas de ejecución de fabricación (MES), gestión de relaciones con el cliente (CRM), gestión de la cadena de suministro (SCM) y otros sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), restringen la migración hacia una arquitectura orientada a servicios disponibles.

Estos desafíos están impulsando a los fabricantes de migrar hacia redes Ethernet IP estandarizadas en su ámbito de fabricación OT. Al realizar una migración de red estándar, la industria puede beneficiarse de:

- Obtención de ahorros de costos significativos, la tecnología de red estándar, con una base más amplia de proveedores de IACS, los recursos e innovación son más factibles que las tecnologías de red de IACS obsoletas. Además, los ahorros generados por una moderna integración, una gestión más sencilla y la capacidad de operar más aplicaciones en una red de reciente tecnología.
- Mejoramiento de flexibilidad, permite obtener ganancias de fabricación rápidas con una mayor disponibilidad y un mejor rendimiento que las tecnologías de redes heredadas o propietarias.
- Aumentar la eficiencia, mejora la visibilidad para las empresas en cuanto a la toma de decisiones y capacidad de transformar el proceso de negocio debido a la migración e integración de IACS y sistemas corporativos.

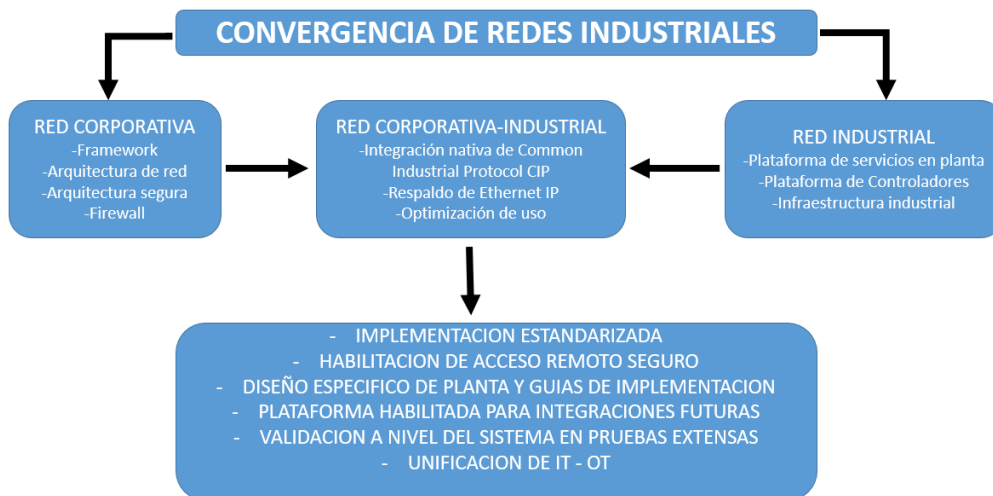
Los fabricantes reconocen el beneficio de migrar hacia tecnologías modernas de IACS estándar, para luego integrar hacia sus redes industriales, donde existen desafíos que han frenado las implementaciones. Uno de los principales es la falta de guía y recomendaciones consistentes que sean relevantes para los ingenieros a cargo de redes IT y redes OT. Otro desafío es que algunos proveedores de IACS continúan suministrando tecnologías cerradas y difíciles de integrar, como la actualización de sus sistemas instalados. El principal argumento de estos proveedores es que en los entornos de fabricación receptivos al tiempo requieren más de lo que las tecnologías abiertas y estándar pueden ofrecer.

Otros cuestionan la fiabilidad y flexibilidad inherentes de las tecnologías estándar, e inclusive han afirmado que las tecnologías de redes modernas sufren de puntos vulnerables los cuales generan inseguridad como principal riesgo, en donde es todo lo contrario ya que al ser modernas, ofrecen un rendimiento en tiempo real, incluidas la latencia, fluctuación de fase, y capacidad de evitar la pérdida de paquetes que satisfacen o superan las necesidades de las aplicaciones antiguas. Las redes modernas tienen tecnologías maduras y probadas para el aseguramiento de forma continua de la red y los sistemas que interconectan más allá de lo que están disponibles para las redes de bus de campo antiguas.

Una migración de arquitectura de red debe representar el diseño e implementación de una red abierta y estandarizada, lo que conlleva a una convergencia de red en toda la planta basada en modelos industriales que interconectan una red corporativa con la red de manufactura en las distintas zonas dentro de la industria.

Las características claves de una convergencia de red por medio de migración, presenta una base y fusión dentro de la planta, la arquitectura integrada de dispositivos de control y las delimitaciones por zonas de una comunicación industrial entre las tecnologías de IT y OT, representan las capacidades y beneficios con una tecnología de informática unificada con la red de operaciones como beneficio.

Figura 24. **Convergencia de redes industriales**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

Al existir un conjunto de islas de control en una planta industrial, las migraciones son justificadas por los ingenieros de planta y los ingenieros de control que tienen la clave de su implementación por medio de una convergencia de red industrial, donde surge la necesidad de obtener una transparencia en su sistema el menor tiempo de respuesta al momento de soporte por temas de modificaciones, fallas o consultas de arquitectura de red.

En la mayoría de las industrias los administradores de IT suelen ser los administradores de la infraestructura de red de la empresa, más no de la red de control (IACS). Sin embargo, se involucran cada vez más con la integración de planta hacia la red corporativa, donde la convergencia de redes industriales, el despliegue y la operación de tecnologías de red comunes en las plantas necesitan una estandarización de red, reutilización de lo que sea posible para reducir costos y eliminar o disminuir el conflicto generado entre tecnología de información y manufactura, en donde la convergencia de red industrial ofrece lo siguiente para ambos departamentos al crear convergencia de migración:

- Aumenta el conocimiento de IT acerca de los desafíos y requisitos particulares de IACS.
- Diseño de soluciones en conjunto que permiten personal de IT y OT centralizar una solución en mutuo beneficio y acuerdo.
- Desarrolla un estándar de arquitectura de referencia para implementar redes IACS de manera más rápida y segura.
- Permite y simplifica la convergencia de la red IACS con las redes corporativas para mejorar el flujo de información y la integración de datos de fabricación en los sistemas empresariales.
- Permite el acceso remoto para ingenieros, socios, proveedores de IACS, por temas de diagnósticos y mantenimientos. Aumenta la eficiencia y el tiempo de respuesta donde permite brindar servicios a los procesos de manufactura que posean un recurso limitado para el manejo de soporte.

- Reduce el riesgo y aumenta el tiempo de operación de la planta, mejora la efectividad del equipo OEE a través de arquitecturas de referencia validadas con un enfoque a la recuperación de una falla en la red y disponibilidad.
- Reduce costos operativos y de capital mediante el uso de estándares transparentes para eliminar la necesidad de admitir múltiples protocolos en las redes IACS.
- Integración de tecnologías avanzadas por futuro crecimiento.

La migración de tecnologías de automatización industrial proporciona una propuesta de valor en relación con el resto de la industria, que brinda beneficio de estándares abiertos y de fácil integración donde se incluyen:

- Combinación de dos áreas principales: la red corporativa de IT con los IACS y la red de control integrada hacia nivel corporativo.
- Brinda seguridad integrada específicamente configurada para la red de IACS, protegiendo información vital de manufactura, limitando el acceso a equipos de control.

3.4. Modelos y niveles de red

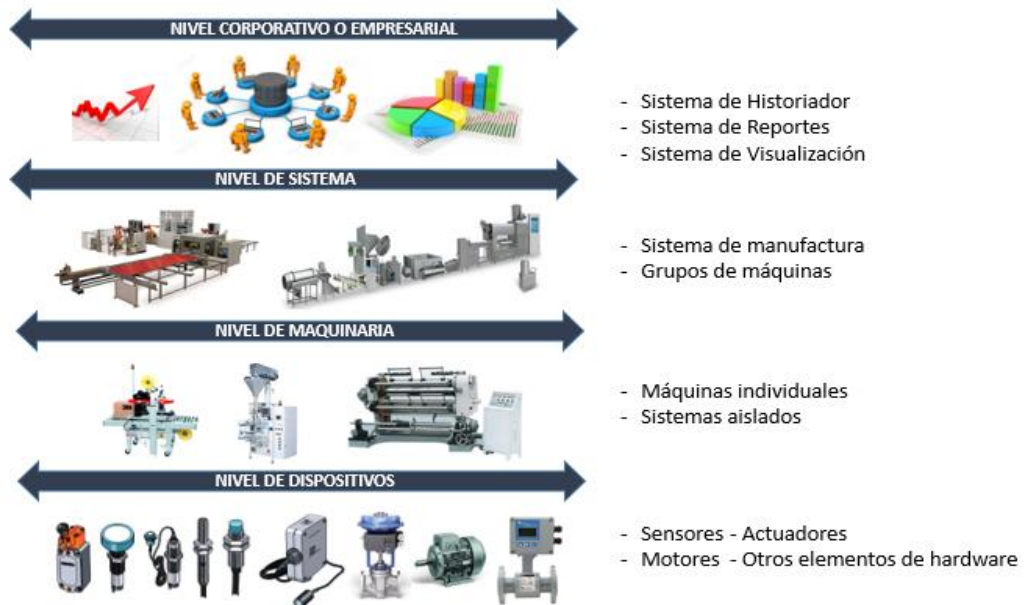
Las necesidades de comunicación en las distintas industrias deben de ser satisfechas por medio del desarrollo de varias redes orientadas a cada nivel de acceso de información, conformada por un modelo piramidal o un modelo plano.

Figura 25. **Modelo piramidal**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

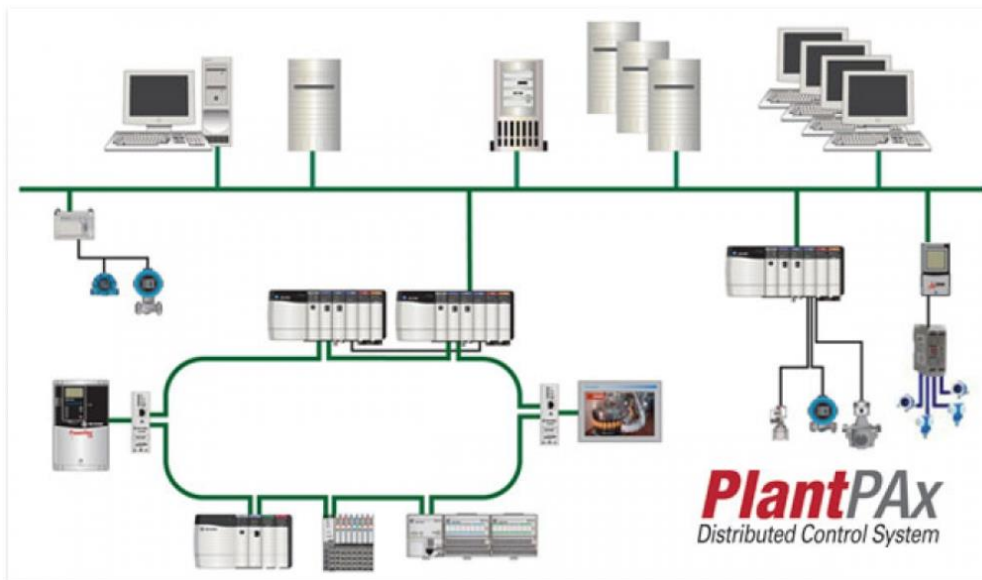
Figura 26. **Modelo plano**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

Un sistema centralizado (DCS) se refiere a la disposición de todas las señales de una o varias máquinas en específico cableadas, hacia un gabinete de control como recopilador de señales remotas, donde localiza todos los componentes necesarios para lectura y escritura del proceso. Estas a su vez son conectadas a un solo controlador, quien es el encargado de procesar y decidir las acciones correspondientes sobre las cuales deberá de realizar, según su programación. Al existir un grupo de máquinas ligadas únicamente a un solo controlador, esto puede generar desventaja ya que, si se cae el control principal, también entrará en falla cada una de las máquinas al tener en falla la unidad maestra. Existen formas de mitigar estos riesgos, pero generan un costo, el cual se deberá de evaluar durante el diseño de la migración y justificarse por medio de valor dentro del proyecto de modernización.

Figura 27. **Sistema de control distribuido**



Fuente: Rockwell Automation. *Sistema de control distribuido PlantPax.*

[https://www.infoplc.net/noticias/item/103570-plantpax-rockwell-automation-control-distribuido.](https://www.infoplc.net/noticias/item/103570-plantpax-rockwell-automation-control-distribuido)

Consulta: 17 de noviembre 2021.

A medida que una sola máquina sigue expandiendo su sistema de control, el volumen de cableado y su complejidad empieza a ser un factor considerable que implica: mano de obra dedicada, mayor cantidad de materiales involucrados, mantenimiento más complicado, ingeniería invertida de mayor costo, aumento de *stock* de repuestos, entre otros. Y todo esto se complica aún más por la cantidad de máquinas que el sistema pueda llegar a controlar. La necesidad de simplificar este tipo de instalaciones y de reducir los costos de mantenimiento de estas, dio lugar a que sistemas de producción complejos sean seccionados en subsistemas más sencillos, con asignación de tareas en específico y controlados por procesadores independientes, que es todo lo contrario a un sistema DCS.

El punto de riesgo para sistemas independientes radica en que se deberá establecer una comunicación entre varios controladores de las distintas máquinas, y al no compartir los mismos protocolos de comunicación, esto incurrirá en costos elevados debido a los dispositivos convertidores y que también estarán agregando un punto más de posible falla. La migración de los sistemas de control, y automatización de equipos semiautomáticos o manuales hacia controladores lógicos programables, permite la reducción de materiales requeridos para el control de una máquina; ya que estos permiten realizar modificaciones en funcionamiento a nivel interno de programación en cualquier momento que se soliciten las modificaciones como parte de una mejora al proceso en general.

La disponibilidad que se gana al implementar un sistema DCS contra una isla de control, es generalizar los equipos recopiladores de señales periféricas a un bajo costo, ya que estos serán a mediano/largo plazo más económicos que instalar un controlador y su reposición es drásticamente de mayor ahorro para la industria que lo implemente. Los distintos modelos y niveles de red son utilizados en la industria, de acuerdo a las definiciones de *CIM*, o *Computer Integrated*

Manufacturing, que se traduce al español como Manufactura integrada por computadora, por el cual se determina una jerarquización de redes según el propósito para el que han sido diseñadas y aplicadas en la industria.

Los principales objetivos de un CIM para un diseño son:

- Aumentar la flexibilidad.
- Asegurar la calidad de comunicación.
- Reducción de costos.
- Reducir el tiempo y el número de pasos empleados.
- Aumentar la confiabilidad del sistema.
- Evidenciar la resiliencia de una o varias redes interconectadas.

Para lograr escalar los objetivos de una red por medio de las migraciones adecuadas, se deberán de analizar las topologías bajo las cuales un sistema puede ser modernizado, y de esta manera determinar las necesidades de la arquitectura, niveles de red y esquemas de comunicación donde se transmitirán los datos para los intercambios a nivel de campo, hasta el nivel corporativo. Cada topología de red lleva asociada una topología física y una topología lógica.

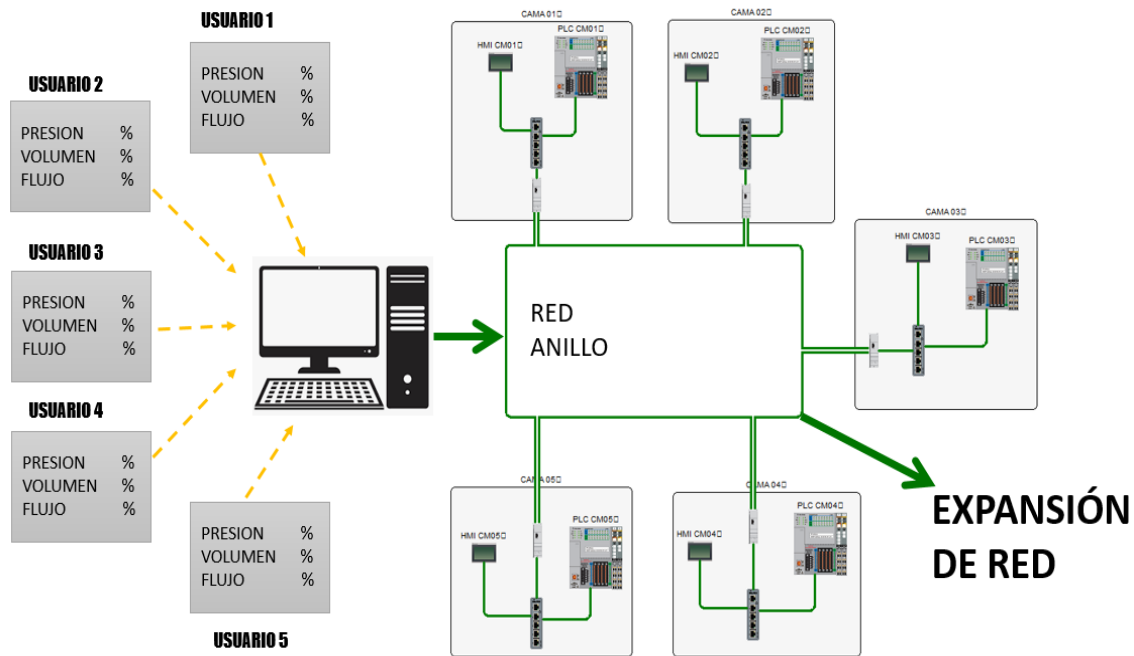
La primera (topología física), es la que define la estructura de la red, es decir, la manera en la que debe ser dispuesto el cable de interconexión entre los elementos de la red. La topología lógica es un conjunto de reglas normalmente asociado a una topología física, que define el modo en el que se gestiona la transmisión de los datos en la red. La utilización de una topología influye en el flujo de información (velocidad de transmisión, tiempos de llegada, entre otros), en el control de la red, y en la forma en la que esta se puede expandir y actualizar.

Las topologías más utilizadas en los sistemas de control suelen implementarse en forma de estrella, anillo y la combinación de ambas. Su utilización reside en el nivel de resiliencia que se desee obtener por medio de la migración de red, y la disponibilidad de comunicación puede estar ligada a las distintas tecnologías de equipos y programación / configuración de la red.

3.5. Topología anillo

Los puntos de conexión se conectan en serie formando un anillo. Cada nodo se deberá interconectar en el punto de entrada y salida de la conexión, y de esta misma salida, se deberá conectar hacia el siguiente punto que continuará la sucesión de conexiones hasta llegar al punto de inicio de conexiones para completar el anillo de red. Los mensajes se transmiten en una dirección o ambos sentidos, pasando por todos los nodos necesarios hasta llegar a su destino. No existe un nodo principal y el control de la red queda distribuido entre todos los nodos. Al existir una falla de conexión para un nodo en particular, el sistema podrá continuar su comunicación por el otro extremo, logrando un segundo camino de comunicación para la transferencia de datos en la red que se diseñó.

Figura 28. Topología anillo

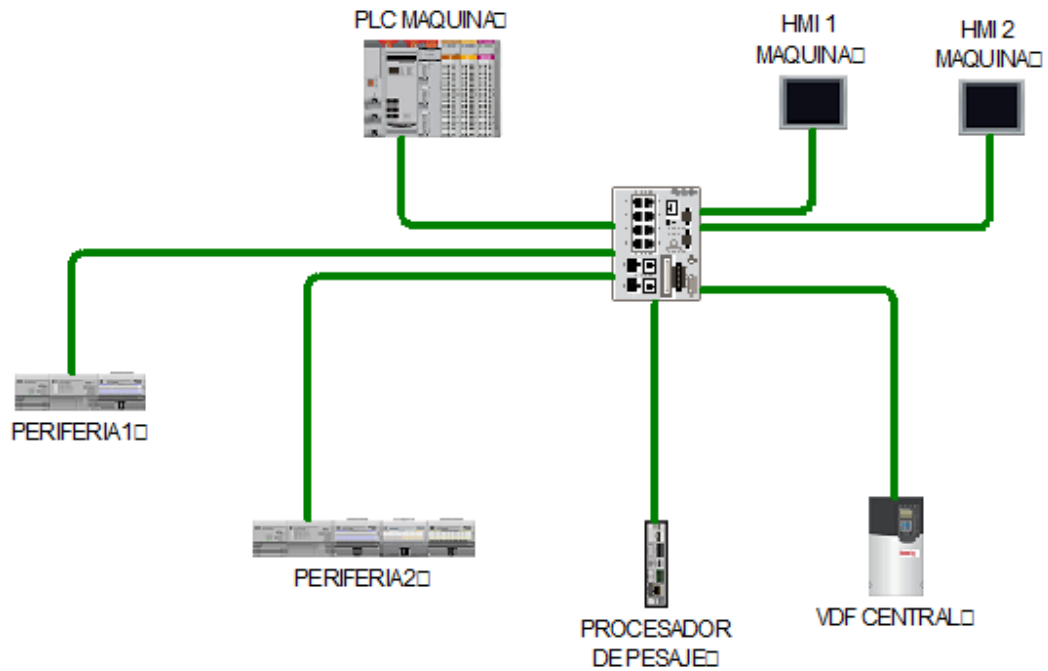


Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

3.6. Topología estrella

Tipo de conexión en donde cada nodo perteneciente a un dispositivo es conectado en un punto central. Es una de las más utilizadas debido al bajo costo y rápida implementación. El mayor inconveniente se presenta al existir una falla en el nodo central, todos los equipos conectados hacia él se quedarán sin acceso a comunicación, generando indisponibilidad para la red de los equipos conectados.

Figura 29. **Topología estrella**

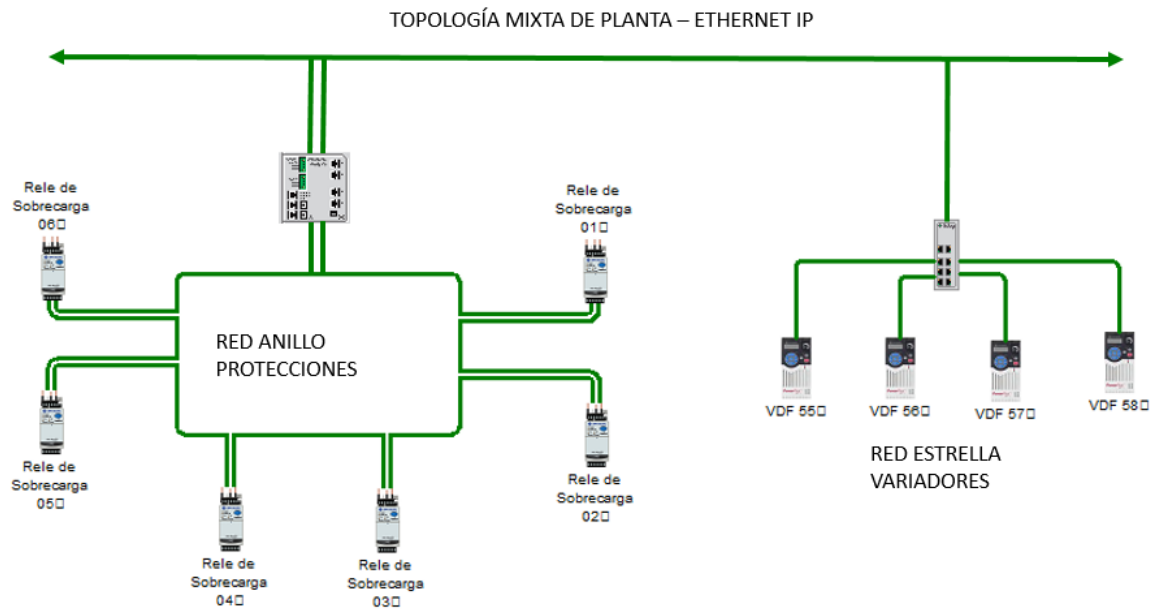


Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

3.7. **Topología mixta**

De la misma manera existe una topología que es capaz de combinar varias topologías, es decir, relaciona una red anillo y estrella, brindando a la arquitectura de red una versatilidad en cuanto a funcionalidad y adaptación de escalable de costos según sea factible su implementación, siempre y cuando se realice una migración hacia una topología de equipos capaces de brindar eficiencia y seguridad de comunicación en las industrias.

Figura 30. Topología mixta



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

Este tipo de topologías pueden integrarse de diferentes tecnologías que mezclan varios tipos básicos de interconexión y comunicación, que en relación hardware se encuentran los repetidores, concentradores, puentes, Gateway, entre otros. Estos elementos pueden incluir cierto nivel de complejidad para su manejo y traslado de información, en donde tendrán como principal objetivo adaptar varios tipos de redes, o bien pueden consistir en retransmitir señales hacia otros segmentos de red utilizando los siguientes dispositivos de comunicación.

La elección de una topología de red suele estar determinada por ciertos factores como:

- Costo / Modularidad, inversión en los medios de comunicación, sencillez de instalación y mantenimiento.
- Flexibilidad, dificultad de incrementar o reducir el número de estaciones.
- Fiabilidad / Adaptación, fallos en las estaciones o en el medio de comunicación, facilidad de mantener el servicio. Encaminamientos alternativos.
- Retardo / Flujo, retardo mínimo introducido por la red. Factor determinante para comunicaciones de tiempo crítico.
- Tráfico de información que puede soportar.
- Tecnología por implementar, dado que ciertos sistemas industriales requieren una topología propia, que incorpora su propio diseño, así como sus protocolos de comunicación.

3.8. Comunicación y protocolos

Una de las partes esenciales dentro los sistemas integrados de la automatización y punto a considerar durante una migración de tecnología, es poder establecer un enlace de intercambio de señales entre los distintos niveles de las plantas industriales, los cuales brindan acceso a toda la información necesaria requerida por el personal de interés para las distintas áreas a las que correspondan. Esta comunicación debe de ser considerada como una ventaja por medio de un protocolo abierto y de fácil acceso por el usuario. Lo elemental de los protocolos y la comunicación de datos, es determinar y cumplir con llevar sin errores la información de un punto "X" hacia un punto "Y", utilizando las características de transmisión para la red de comunicación.

Las migraciones en las áreas de comunicación y protocolos deberán definir los tipos de canales de comunicación, donde se establecerán, los enlaces de unión entre los puntos "X" y "Y", los puntos estratégicos para concentración y

enlaces, así como la migración de todo el hardware encargado para transmisión y recepción de datos.

Un protocolo se define como el conjunto de reglas para la transmisión de la información entre dos puntos. Un protocolo de red de comunicación de datos es la agrupación de reglas que controla el intercambio ordenado de datos dentro de una red. Y la migración de esta característica de red será crucial para poder definir los alcances en cuanto a la implementación, ya que representa un costo elevado de inversión poder determinar el hardware y software que cumpla con la migración. El protocolo de red determina el modo y organización de la información (datos y controles) para su transmisión por el medio físico con el protocolo de bajo nivel.

En un circuito de comunicación de datos, la estación que transmite en el momento se llama estación maestra, y la estación que recibe se le llama esclavo. En una red centralizada, la estación primaria controla cuándo puede transmitir cada estación secundaria. Cuando transmite una estación secundaria, se convierte en estación maestra, y la estación primaria es ahora la esclava. Las migraciones de tecnología para la parte de comunicación y protocolos nos ayudan a determinar los papeles que deberán tener los dispositivos dentro de la red. Una estación maestra puede ser temporal, y una segunda estación podrá determinar cuál estación es la siguiente maestra o esclavo, según capacidades de los dispositivos y su ingeniería de configuración y programación.

Dentro de las redes de comunicación, la organización internacional de estándares ISO (International Standard Organization), muestra determinadas especificaciones para redes, que luego conforme el tiempo fueron revisadas y llamadas "Modelo de Referencia OSI" (Open System Interconnection Reference Model). En donde el término interconexión de sistemas abiertos es el conjunto de

normas para comunicaciones entre dispositivos, con el objetivo principal de definir un lineamiento estructural para el intercambio de información entre computadoras, terminales y redes.

3.9. Modelo de Referencia OSI

El modelo OSI es una arquitectura que divide la red en siete capas, donde cada una cubre ciertas tareas, equipos y protocolos, y que también logran comunicación con otras capas por medio de interfaces de aplicación y dispositivos especializados de comunicación.

Figura 31. **Modelo OSI**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

Los servicios básicos suministrados por cada capa de la jerarquía se describen a continuación:

- El nivel más bajo se encuentra como la capa física, y según la jerarquía, es aquí donde se especifican: normas físicas, eléctricas y funcionales de procedimiento para acceder a los aspectos técnicos, cuidando y monitoreando de voltaje e impedancias.
- La siguiente capa es la responsable de enlazar nodos primarios y secundarios dentro de la red. En donde se deberán de definir los envolventes de información, definir el flujo ordenado de tabla de datos.
- En el tercer nivel se encuentra la capa de red, que será la encargada de establecer quién y cómo las parejas de dispositivos dividen los mensajes y los paquetes que se conducen a través de los distintos nodos de transmisión, en donde cada mensaje deberá de conformar el inicio y fin de cada mensaje, así como la ruta de movimiento, en donde quedan delimitados los aspectos de red en su máximo nivel relacionado a las tecnologías.

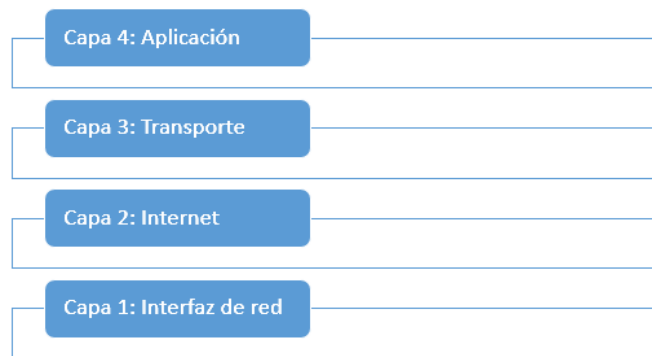
Las tres capas superiores a la de transporte, se encargan de manejar los aspectos de aplicaciones de la red, mientras que las tres inferiores manejan la transferencia de mensajes. Así, la capa de transporte funciona como interfaz entre las capas de red y de sesión. En los procesos de automatización y su desarrollo en las redes de comunicación, surge la necesidad de interconexión entre sistemas y procesos, para ellos se plantea una migración de tecnología en donde los dispositivos tendrán una baja transferencia de datos entre equipos de operación para su comunicación en donde las necesidades de intercomunicación entre los dispositivos actuales y los nuevos requieren redes de comunicación

segmentadas y que se han vuelto indispensables para obtener los máximos beneficios de extracción de información, monitoreo, control, entre otros.

3.10. Modelo de referencia TCP/IP

Un segundo modelo de referencia para la parte de redes, comunicación, y protocolos, es el modelo implantado donde se genera un programa de desarrollo que permitiese la transmisión de información entre redes de distintos tipos y características, utilizando un conjunto de protocolos que posteriormente se denominarían TCP/IP, en donde estarían siendo conformada por organizaciones educativas, militares y educativas.

Figura 32. **Modelo TCP / IP**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

Este modelo se define en cuatro capas y combinación de dos protocolos como son TCP e IP que hoy es el protocolo más utilizado en el Internet, donde garantiza que los datos se transmiten de punto final a punto final de una manera fiable, operando en las capas de transporte y de sesión del modelo OSI, mientras que IP desarrolla las funciones de la capa de red.

- La primera capa corresponde a la capa física y de enlace de datos del modelo de referencia OSI. La capa de interfaz de red es responsable de los controladores de dispositivos e interfaces de hardware que se conectan a un nodo de los medios de transmisión y su enlace de datos.
- Posterior, la capa de internet corresponde a la capa de red del modelo de referencia OSI. Se encarga de la entrega de paquetes a través de una red. Todos los protocolos de enrutamiento son protocolos que pertenecen a esta capa, que utilizarán un transporte como la siguiente capa donde estará el flujo de datos entre dos o más nodos de una misma red.
- La última capa, como capa de aplicación, corresponde a la presentación y sesión que depende de los datos que se obtenga de la capa de transporte para finalmente entregar los datos y presentarlos al nivel corporativo.

Las migraciones de tecnologías deberán de contemplar el modelo a utilizar como parte de la modernización del sistema, ya que, dependiendo de las necesidades, se obtendrá un valor en adquirir los dispositivos que tengan capacidad anticipada de armar una arquitectura de red, una comunicación transparente y protocolos totalmente compatibles.

3.11. Medios de transmisión

Se refiere al canal que permite la transmisión de información entre dos o más puntos de un sistema de transferencia. La transmisión puede ser un medio físico o no, y dependiendo de la tecnología, la comunicación tiende a ser cada vez más robusta, de consistencia industrial y directamente proporcional a sus costos de tener estos valores instalados en la industria. Dependiendo de la forma de conducir la señal a través del medio, los medios de transmisión se pueden

clasificar en dos grandes grupos: medios de transmisión guiados y medios de transmisión no guiados.

Los medios de transmisión guiados están integrados por un cable físico, que se encarga de la conducción de las señales desde un extremo al otro. Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la capacidad de soportar protocolos específicos según su aplicación. La velocidad se ve afectada directamente de la distancia entre los puntos a comunicar, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto.

Dentro de los medios de transmisión guiados, los más utilizados en el campo de las comunicaciones y la interconexión son: par trenzado, cable coaxial y la fibra óptica. El par trenzado consiste en un par de hilos de cobre conductores cruzados entre sí, con el objetivo de reducir el ruido de una perturbación electromagnética producida en un canal de comunicación por el acoplamiento entre sí. A mayor número de cruces por unidad de longitud, mejor comportamiento ante el problema de diafonía. Existen dos tipos de par trenzado: sin blindaje y blindado. Este mismo tiene una variación por medio de la utilización de un blindaje el cual consiste en una carcasa de metal a lo largo de todo el conductor y en los puntos de conexión deberá contar con una terminación para poder conectar el blindaje de todo el cable.

Una pantalla también podrá ser integrada a esta tecnología de cableado que consiste en un material aislante dieléctrico adicional a su blindaje metálico, esto para mitigar de la mayor forma posible lo siguiente: ruido, interferencias, y

cualquier factor externo que pueda generar interrupción o falsos pulsos de la comunicación.

Parte de la tecnología que se utiliza en muchas industrias, es por medio de cable coaxial, este aporta un rango de frecuencias mucho más alto que un par trenzado como ventaja, y este incorpora un blindaje de cajón para la transmisión en altas frecuencias. La tendencia de migración respecto a cableados de comunicación es dejar atrás las tecnologías mencionadas y utilizar como un estándar el medio físico de fibra óptica para las distancias, ya sean cortas o muy extensas como primer punto, y un segundo plano par trenzado con blindaje. Esto depende según del protocolo de comunicación ya que no todos son compatibles con la capa física y todo esto se deberá definir según el modelo de referencia bajo la cual se plantee la migración de tecnología.

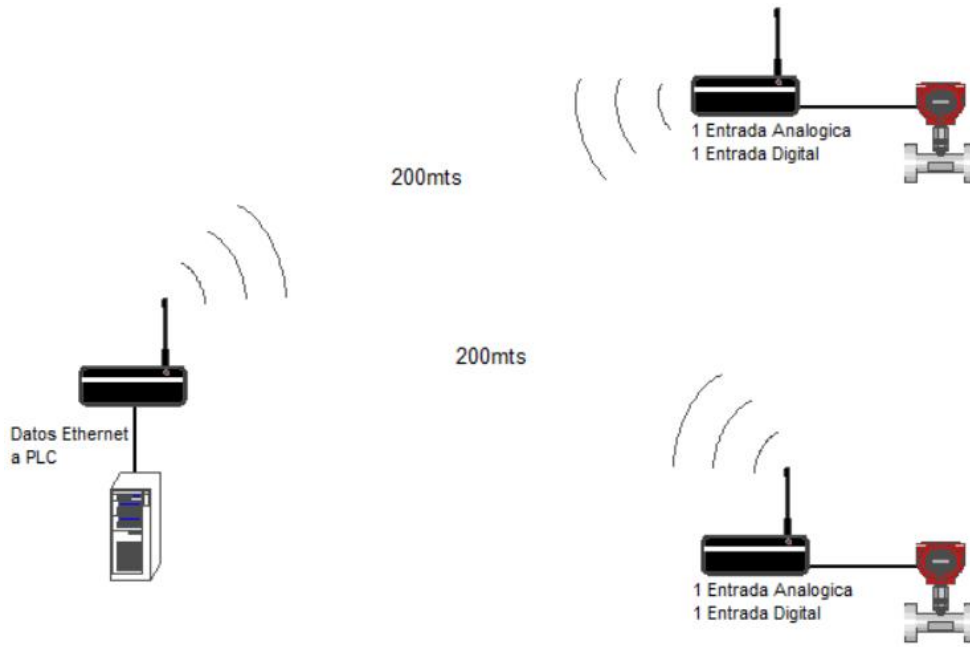
La fibra óptica debido a su constitución de plástico o cristal transmite las señales en forma de luz. Y utiliza la reflexión para transmitir la luz a través del canal desde un punto hacia otro. La propagación de la luz por el cable puede tomar dos modos: multimodo y monomodo, de la cual, la multimodo presenta múltiples rayos de luz por medio de una fuente luminosa que recorren diversos caminos, reflejándose de formas diversas hasta llegar el punto final, a diferencia de la fibra monomodo donde utilizan una fuente de luz muy enfocada que limita los ángulos a un rango muy pequeño y que se fabrica con un diámetro mucho más pequeño que las fibras multimodo, con una densidad menor y su propagación de los distintos rayos es casi idéntica desde el punto inicial hasta el punto final.

Las ventajas de la fibra óptica son: inmunidad al ruido, menor atenuación de la señal y ancho de banda mayor, aunque sus desventajas presentan alto costo de implementación, la fragilidad para su instalación y mantenimiento. Como

alternativa tecnológica, para no depender de un medio físico, el cual está sujeto a problemas mecánicos y limitaciones de instalación, existe la tecnología de medio no guiado, la cual no utiliza cable para transportar la información, sino que la propaga a través del aire, por lo que están disponibles para cualquiera que tenga un dispositivo capaz de recibirlas.

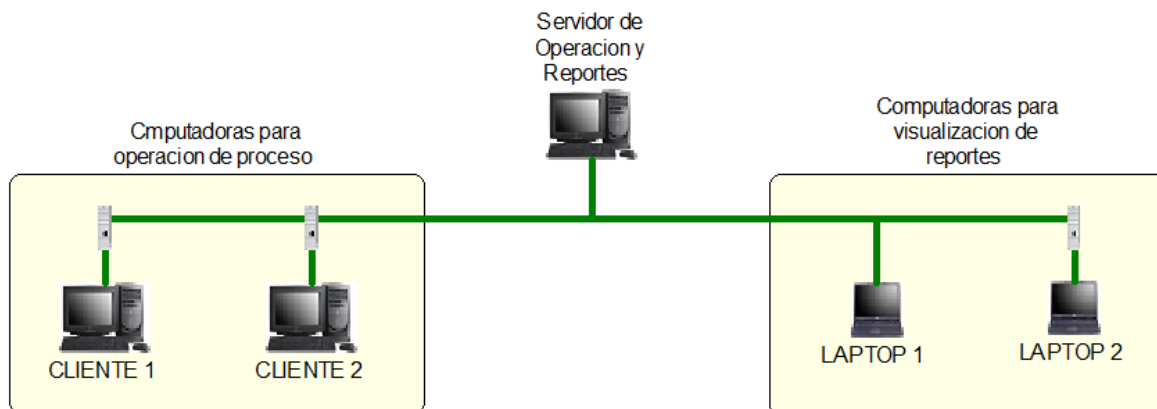
La transmisión de datos a través de medios no guiados incluye desventajas provocadas por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio, la disponibilidad y seguridad de los equipos emisores / receptores. La principal ventaja es que su instalación no requiere cableado físico, obteniendo costos aprovechables para enfocarse en otras áreas de migración, únicamente su configuración es necesaria para su puesta en marcha. Una red inalámbrica brinda un sistema de comunicación muy flexible al eliminar por completo la utilización de cables físicos. Sin embargo, la mejor metodología es la combinación de los medios guiados y no guiados, en donde se complementan, brindando mayor versatilidad de comunicación y estabilidad de la red como lo son la tecnología *bluetooth*, radio frecuencia, microondas, bandas de frecuencia celulares, infrarrojo, entre otros.

Figura 33. **Tecnología medio no guiado**



Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

Figura 34. **Tecnología medio guiado**

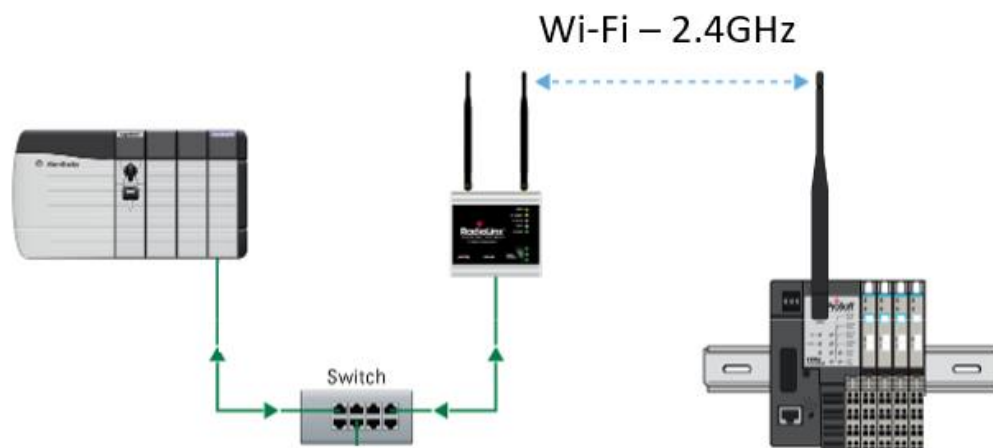


Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

3.12. Tecnología Wi-Fi

Dentro de las combinaciones, a primera instancia tenemos la tecnología Wi-Fi, que se refiere al tipo de mecanismo de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. La utilización dentro de la industria, se pueden conectar varios segmentos de una línea de proceso hacia una red por medio de un punto de acceso, que este mismo, a su vez, puede estar conectado a un *router*, brindando conectividad a una red que tenga la posibilidad de conexión remota a través de internet. Existen diversos tipos de Wi-Fi que han tenido aceptación internacional debido a que la banda 2,4GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s y que también puede ser utilizado en la banda de 5 GHz. Existen otras tecnologías como *Bluetooth* que también utiliza una frecuencia 2,4GHz por lo que puede presentar interferencias con tecnología Wi-Fi, en donde se ha actualizado el estándar de *Bluetooth* para que no existiera interferencia alguna.

Figura 35. Tecnología Wi-Fi



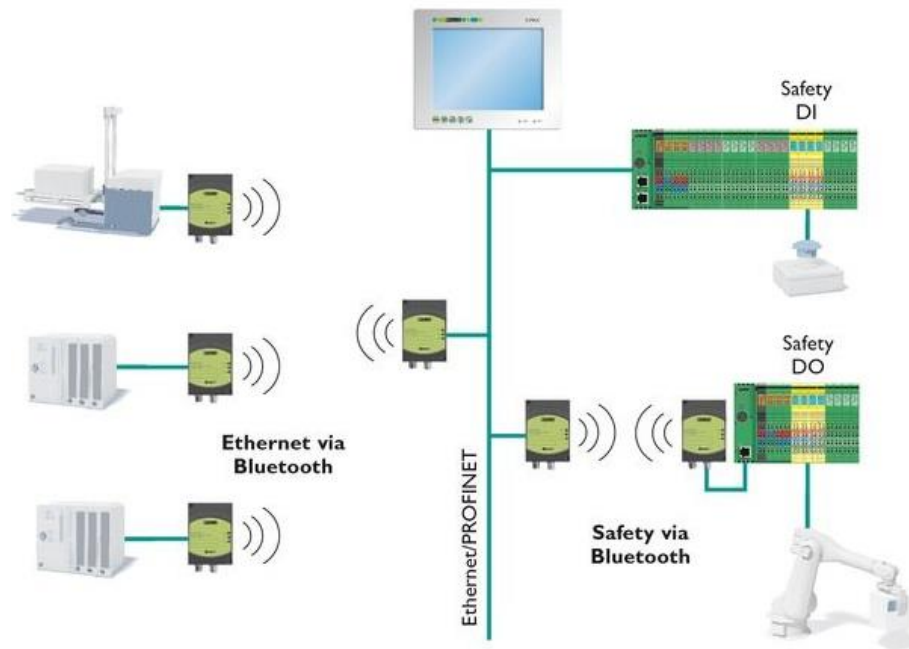
Fuente: elaboración propia, empleando PowerPoint 365.

3.13. Tecnología *Bluetooth*

Es un estándar desarrollado para la comunicación inalámbrica de datos en un corto alcance. Entre sus principales características pueden nombrarse: su robustez, baja complejidad, bajo consumo y bajo costo. Opera en la banda de 2,4 GHz, la cual tiene capacidad de atravesar varios ambientes, lo cual lo vuelve ideal para trabajo móvil y/u oficinas como estaciones de ingeniería.

Su aplicación en el entorno industrial impacta principalmente sobre el área de mantenimiento, ya que existen sistemas de control y piezas móviles de las máquinas, en donde se vuelve compleja la parte de cablear los equipos y mantener estable el protocolo de dichas tecnologías. Se vuelve una alternativa ideal debido a que el protocolo de comunicación es transparente al implementar Ethernet IP como tendencia de comunicación de migración.

Figura 36. **Tecnología Bluetooth**



Fuente: Phoenix Contact. *Interconexión con WLAN y Bluetooth.*

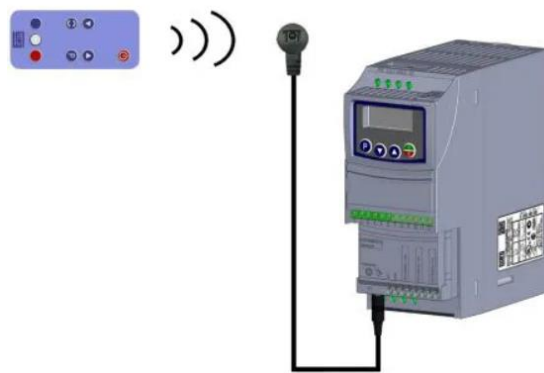
https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/soluciones/subcategory_pages/Remote_control_remote_maintenance_networking_with_wlan_and_bluetooth/c96d02fd-1ce8-4056-918f-ad4bc96f9a02. Consulta: 13 de marzo 2018.

3.14. **Tecnología infrarrojo**

Un sistema de comunicación infrarrojo ofrece ventajas significativas respecto a los sistemas inalámbricos. Esto, debido a que cuenta con un canal cuyo potencial de ancho de banda es muy grande y son inmunes a las interferencias y ruido de tipo radioeléctrico. Su aplicación en la industria, es debido a su sencillez de componentes a bajo costo, bajo consumo de potencia, y distancias definidas donde se asegure un tramo directo de enlace entre emisor y receptor, aunque dentro de las desventajas se encuentran susceptibles a:

perturbaciones por objetos móviles, interferencia por luz directa, y la baja velocidad de transmisión. Dentro de sus aplicaciones más utilizadas dentro de la industria sirven para la detección de temperaturas más que para la comunicación de datos debido a su corto alcance como principal limitación.

Figura 37. **Tecnología infrarrojo**



Fuente: Acotron. *Convertidor de Frecuencia CFW300 V1.3X*.

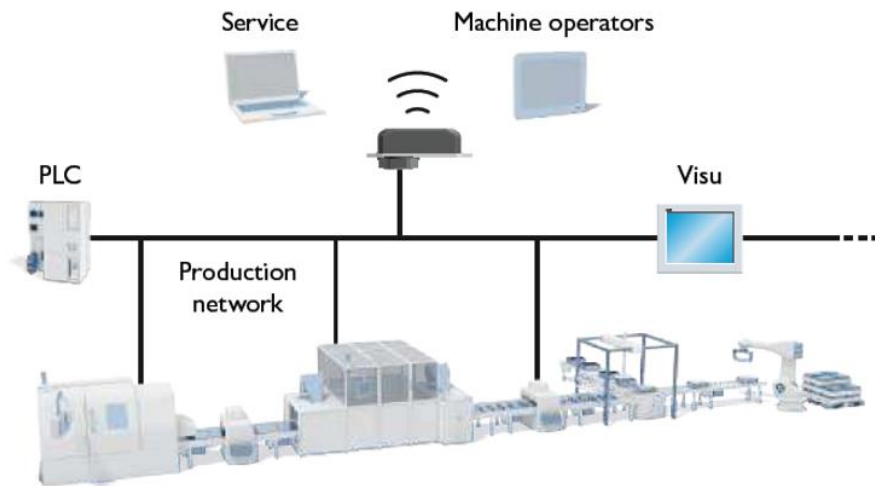
https://www.acotron.com/download/31726281cb15bb844f9c1e9ffe780dd9_WEG-cfw300-manual-de-programacion-.pdf. Consulta: 20 de marzo de 2018.

3.15. **Tecnología microondas:**

Tipo de tecnología que fue originalmente popularizada en la década de 1950, como un método de transmitir llamadas a larga distancia y como señales de televisión, en donde el sistema de comunicación es capaz de transmitir grandes cantidades de datos de forma fiable a través de largas distancias por medio de un rango de frecuencias determinado, un periodo de oscilación y su respectiva longitud de onda. Para la aplicación dentro de la industria, la utilización de frecuencias variables dependiendo del uso permitido y que deberán ser integradas según el protocolo de comunicación que se haya establecido para la migración de tecnología y capacidades técnicas de los dispositivos.

Mediante un enlace de microondas se pueden conectar puntos distantes, transportando canales dedicados de datos desde torres de conexión hasta cada punto que requiera la información como centros de operaciones o estaciones de monitoreo, sistemas SCADA, red de planta, red corporativa, comunicación entre subestaciones, entre otros.

Figura 38. **Tecnología microondas**



Fuente: Phoenix Contact. *Estructura de red WLAN típica.*

https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm:path:/eses/web/main/soluciones/subcategory_pages/Remote_control_remote_maintenance_networking_with_wlan_and_bluetooth/c96d02fd-1ce8-4056-918f-ad4bc96f9a02. Consulta: 24 de marzo de 2018.

3.16. Estándares y protocolos de comunicación

La comunicación entre equipos relacionados a los procesos industriales, tanto de fabricación como de información, han sido establecidos hace varias décadas, y siguen siendo empleados de forma habitual en cualquier industria para su aprovechamiento. Esto es debido especialmente a la simplicidad en la

intercomunicación, la integración de manera casi estándar dentro de los dispositivos, su robustez, y su adaptabilidad para satisfacer las necesidades de gran número de aplicaciones, sin necesidad de tener que recurrir a instalaciones complejas o componentes intermedios. La mayoría fueron diseñadas para comunicación de punto a punto o para conexión de varios dispositivos sobre un mismo bus de enlace, utilizando protocolos ya establecidos según la tecnología con la que fueron implementados en su momento.

Las migraciones de los estándares de comunicación se refieren a realizar las modernizaciones de dispositivos con los nuevos protocolos, los cuales brindarán seguridad y disponibilidad a la red existente o nueva red bajo la cual se trabajará la migración. Esta migración puede significar realizar cambios hacia equipos nuevos o la implementación de equipos intermedios, los cuales realizarán la traducción entre los protocolos existentes y el nuevo por implementarse.

3.16.1. Comunicación RS-232

El estándar RS-232 fue propuesto por primera vez en 1962, el cual ha sufrido varias revisiones de sus características, pero que actualmente sigue siendo uno de los más empleados en la industria. Se refiere a un estándar de intercomunicación entre equipos terminales de datos y equipos de comunicación. Los equipos terminales de datos suelen ser los dispositivos encargados de generar y controlar los datos a transmitir (computadoras, PLC, PAC, entre otros), y los equipos de comunicación hacen referencia al dispositivo periférico encargado de recibir esos datos. La especificación RS-232 describe tres ámbitos de la comunicación donde define los niveles de tensión de las señales, la disposición de pines para las señales y la información de control que debe de existir entre los equipos.

También define las características eléctricas, mecánicas y funcionales a implementar en la red de comunicación. Dentro de sus limitaciones se encuentra la distancia corta del cableado físico que comunicará entre un dispositivo y otro, la tasa de velocidad limitada, y sus fortalezas residen como un sistema de comunicación estable utilizado por las distintas marcas y tecnologías de los componentes industriales hoy en día.

La migración de este estándar se basa en que los nuevos dispositivos y fabricantes de controles industriales, requieren una mayor velocidad de comunicación, aseguramiento de que no variarán las señales transmitidas por el medio, reducción del cableado a utilizarse en cuanto a hilos de señales, y la interconexión de varios dispositivos simultáneos sin afectar el funcionamiento de operación, visualización y extracción de datos de todos los controles interconectados. Algunas tecnologías utilizan este estándar como un puerto de comunicación de respaldo, en caso de que llegará a fallar alguno de los otros puertos como el USB o el puerto RJ45, el puerto serial bajo el estándar RS-232, brindará la conexión necesaria requerida por el usuario que solicite la conexión hacia el sistema.

3.16.2. Comunicación RS-422/RS-485

La expansión y evolución del estándar RS-232, da como surgimiento la comunicación RS-422 y RS-485, en donde mejoran los aspectos de: velocidad de transmisión, inmunidad al ruido, distancia física de conexión y las conexiones multipunto. Su principal ventaja es la anulación del ruido generado por donde se transmiten las señales, ya que utiliza dos cables dedicados para lograr un voltaje balanceado y la anulación de la perturbación. Su robustez y sencillez de instalación ha sido implementado en conexiones de varios puntos de estaciones

de monitoreo, enlace entre drivers y motores, electroválvulas y controladores programables, creando una red en cadena bajo este estándar.

Las principales razones de migración de este estándar residen en la limitación de nodos que soporta, la antigüedad de su uso se transforma en obsoleto y en desuso donde el tipo de tecnología física para transmitir la información se vuelve un punto vulnerable debido al ruido y factores externos que pueden llegar a interrumpir la conexión entre los puntos en que se encuentre armada la red de conexión serial.

Dentro de sus características, las cuales llamaremos limitaciones debido a que se deberán cumplir para obtener una comunicación segura utilizando este estándar, en donde debe existir una puesta a tierra diferente para cada dispositivo sin generar una diferencia de potencial de los voltajes entre punto un punto y otro, la necesidad de protecciones contra cortocircuitos y transitorios, la implementación de apantallamiento, si es que puede estar sometido bajo campos que alteren sus voltajes de transmisión de datos, delimitar el final de una red con un máximo de 32 puntos para evitar las reflexiones de señal y la instalación de resistencias a lo largo de la red armada para evitar que la impedancia fluctúe al momento de transmisión.

Sin embargo, se utiliza este estándar, para comunicaciones de diversas tecnologías para transmisión de datos, tomando en cuenta todo lo anterior mencionado, los protocolos como Profibus y Modbus, los cuales son incluidos en tecnologías nuevas y de modernos controles industriales.

3.16.3. Profibus

Se refiere al protocolo de comunicación el cual utiliza una red bus campo abierto para varias marcas y fabricantes de tecnología industrial. Su principal

implementación es debido a que se pueden integrar dispositivos bajo este estándar sin necesidad de interfaces de conversión. Dentro de sus perfiles utiliza tres subdivisiones, las cuales convierten este protocolo en un cumplimiento de necesidades para la industria debido a su aplicación, tecnología de transmisión y voltajes de alimentación para varias tecnologías industriales. La tendencia de migración hacia este protocolo radica en alcanzar velocidades de hasta 1,5Mb/s, la interconexión de varios maestros simultáneos y esclavos designados, utilizar componentes remotos para mitigar los costos de inversión en controladores, capacidad de manejo para tareas intensivas de transferencia de datos frecuentes para los sistemas de controles industriales, la minimización de cableados y aplicación de forma intrínseca como beneficios y cumplimientos ante los requerimientos exigentes de la industria.

3.16.4. Profinet

Se refiere a uno de los estándares más utilizados y hacia los cuales han migrado varios sistemas de comunicación, debido a que permite muchas aplicaciones industriales utilizando como base el Ethernet, en donde permite que varios fabricantes de controles industriales puedan integrar su tecnología con los beneficios principales de reducción de cableados, fácil instalación / integración, y creación de bus de campo por medio de segmentaciones, así como su traslado de información para los niveles altos de red como redes corporativas y redes de información. Profinet, al haber adoptado un enfoque dentro del Ethernet industrial, se vuelve compatible con el estándar inalámbrico 802,11n, que forma parte de la especificación Profinet IEC 61784-2 y ProfiSAFE, que es una tecnología certificada donde utiliza Profinet como medio de transporte.

Entre sus características destaca la comunicación de dispositivos por medio de bus de campo y brindar la información necesaria dentro del bus de enlace. Su conectividad se base sobre la capa física de Ethernet, y dentro de sus

características sobresale la velocidad de y la seguridad de comunicaciones, reduciendo costos y optimizando la producción, ya que conecta dispositivos, sistemas o celdas aislados entre sí, la posibilidad de crear arquitecturas con redundancia, en anillo o estrella y la implementación de seguridades ante cualquier posibilidad de falla del sistema de comunicación. Los beneficios de migrar hacia Profinet para varios niveles de la arquitectura de red implementada será una mejora de escalabilidad en infraestructuras, acceso a dispositivos de campo de manera transparente, ejecución de tareas y monitoreo remoto por medio de acceso VPN integrando la red a internet como un tema relativamente sencillo.

3.16.5. Modbus

Modbus se refiere al protocolo de comunicación serial, donde su estructura reside en lógica tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado únicamente por el maestro. Sus características se limitan a un número máximo de 63 esclavos, más una estación maestra. La comunicación obtiene velocidades de transmisión desde 75 baudios hasta 115 200 baudios, con distancias máximas entre estaciones, dependiendo de la capa física, pudiendo alcanzar hasta 1200 metros sin repetidor alguno. Dentro de sus beneficios al migrar hacia esta red, se obtienen los cambios en capa física donde su conexión puede ser con el estándar RS-422, 0-20mA, e inclusive RS-485, que a su vez se limita debido a las características regidas por cada tipo de conexión.

Su capa de red y aplicación, establecen una forma organizacional donde relaciona directamente el nivel de enlace con el nivel de aplicación, brindando la información y el intercambio de todos los mensajes programados para llevar la información de un segmento hacia otro, utilizando Modbus RTU para comunicación serial con limitaciones de 16 dispositivos esclavos.

Con el paso de los años, y según la modernización de las redes de comunicación entre dispositivos electrónicos, se establecen las migraciones inminentes para realizar una conectividad entre dispositivos, donde han ido apareciendo variantes del protocolo Modbus que en sus inicios fue ideado para comunicación serial. La evolución fue inminente, dando lugar al Modbus TCP (Transmission Control Protocol), que permite su implementación sobre una base de red Ethernet, que a su vez aumenta el grado de conectividad, expansión y acceso remoto, que principalmente permite conectividad entre equipos como PLC, HMI, SCADA, medidores de energía, computadoras industriales, drives de campo, y cualquier otro dispositivo que tenga el protocolo como capacidad y su base sea Ethernet.

Dentro de los principales beneficios de migrar hacia una comunicación Modbus, está la integración hacia sistemas de industrias automatizadas, ya que se pueden realizar gestiones de manera remota para los distintos sistemas distribuidos, que se encuentren interconectados y que tengan el hardware necesario para su control y visualización ante cualquier consulta de manera versátil por ser una red abierta y accesible para el intercambio de información.

3.16.6. DeviceNET

Dentro de los protocolos para los buses de campo, se encuentra como uno de los más utilizados es DeviceNet, en donde tiene como objetivo principal dentro de la industria de equipos la interconexión de dispositivos de control, permitiendo un intercambio de datos directamente de los dispositivos de campo como sensores y actuadores, hacia un nivel más alto de modelo de red como los controladores de los sistemas de control y computadoras de automatización. Su principal ventaja competitiva reside en el cableado o capa física, la cual está constituida por un solo cable de señal y alimentación embebido, generando simplicidad, bajo costo y alta eficiencia de instalaciones.

Sus principales necesidades de migración para este tipo de redes existentes son: que su ancho de banda es limitado, es decir, su velocidad de transferencia de datos en arquitecturas relativamente grandes requiere mayor velocidad, la cual DeviceNET no puede cumplir con este requisito, el tamaño de los mensajes entre los dispositivos de la misma forma es una limitación, y que requiere de electrónica especializada para poder acoplarse a una red de este tipo para modificación de la misma y/o diagnóstico de cualquier índole, llegando a tener un punto crítico al no poseer el convertidor de señal disponible o un largo tiempo de entrega del dispositivo dañado que utilice este protocolo como parte de su función dentro de la industria.

3.16.7. ControlNET

Protocolo y tipo de red abierta de control dedicada, es usada para aplicaciones en tiempo real y puede llegar a interconectar hasta un máximo de 99 dispositivos para la red creada, en donde pueden llegar a ser controladores, periféricas remotas, variadores, transmisores de sensores de campo, entre otros. Su principal aplicación reside en poder interconectar varias estaciones las cuales en su anterioridad eran islas de control, y poder intercambiar información valiosa para los procesos con exigencias de interrelación, y manteniendo ante todo su autonomía para las señales que estén diseñadas a pesar de estar conectadas todas a una misma red.

Las migraciones de la red ControlNET son inminentes, esto debido a que su propietario base Allen Bradley ha ido descontinuando los equipos que utilizan este tipo de comunicación, en donde afecta a dispositivos para la plataforma de control, medios físicos y conectores, software de configuración y diagnóstico, interfaces para conectividad de computadoras, periféricas remotas, interfaces de operador, drives, repetidores y convertidores intermedios, los cuales son

utilizados para comunicar las marcas que no son específicamente Allen Bradley. Esto genera un gran impacto dentro de la industria, ya que se podrían tener paros no programados en caso de que algún dispositivo de las áreas mencionadas presente una falla de la cual no se pueda reestablecer y que los costos de los reemplazos sean como mínimo, hasta el doble de su costo de implementación al adquirirse la red en la industria.

3.16.8. Remotelo (RIO)

Se refiere al tipo de red que, al ser implementada, se obtiene una robustez y versatilidad como una red universal para entradas y salidas remotas, con capacidad y compatibilidad de los dispositivos conectados, que puede ser tecnología Allen Bradley u otros fabricantes que cumplan con su compatibilidad. Su implementación radica en obtener una configuración típica para entradas y salidas directas de controladores y estaciones remotas, interconectadas mediante adaptadores incorporados o intermedios para lograr su comunicación bajo una misma red. Otro beneficio principal es que representa un ahorro en la adquisición de varios procesadores, ya que al ser una periferia remota no tiene procesamiento en sí, lo cual es mucho más económico y su reemplazo también genera mayor tiempo de respuesta.

La parte de cableados también es beneficiada al obtener este tipo de red, ya que se podrán evitar extensos cableados de señales individuales y únicamente se deberá de utilizar el medio físico que la ingeniería de Allen Bradley recomienda para su uso de red RIO. Las principales razones de migración para la red RIO, es que los fabricantes de tecnología Allen Bradley han ido publicando las fechas de fin de ciclo de vida para todo el hardware que involucra escáneres de nodos, cabezales principales de interconexión, procesadores compatibles con arquitectura RIO, encaminando a las industrias que utilizan esta red, migrar hacia

las nuevas tecnologías con mayores bondades como mayor tiempo de soporte de equipos, mayor expansión de sistemas, simplicidad y reducción de componentes involucrados para la nueva red y principalmente aumento de disponibilidad y seguridad para el proceso con amplio stock de nuevas tecnologías y mejor desempeño.

Para todas las tecnologías de comunicación, red y protocolos, siempre existirán alianzas estratégicas sin importar la marca específica, las cuales tienen como finalidad crear una coexistencia entre diversas marcas por medio de convertidores, los cuales podrán utilizarse para obtener una mejor planificación de la migración en cuanto a redes de comunicación, aunque represente un elevado costo de la implementación de estos dispositivos aliados, el valor agregado de asegurar un proceso de migración confiable.

3.16.9. Ethernet

Nace como un estándar compartido a partir del cual todos se podían beneficiar, de modo que se lanza como un estándar abierto. En donde, según su evolución, se buscó compatibilidad con el modelo OSI, cubriendo las necesidades de la capa 1 y de las porciones inferiores de la capa 2, las cuales se refieren a la capa de enlace de datos y a la capa física para los inicios. Reconocido principalmente por su gran uso en diversas LAN en conjunto para aplicaciones de internet, Ethernet es la capa de enlace estandarizada y utilizada por diferentes protocolos.

Su común interfaz física está compuesta por concentradores, conmutadores, enrutadores, cables Ethernet (RJ-45), tarjetas de red Ethernet, entre otros. Las velocidades del Ethernet estándar pueden abarcar velocidades de 10, 100 o 1000 Mega Bit / Segundo. La utilización de su cableado físico también puede ser por medio de fibra óptica, ofreciendo mayor velocidad y

distancia de interconexión, o de manera inalámbrica, lo cual evita cualquier costo asociado a una instalación, únicamente se debería de realizar un análisis de campo para lograr el mejor diseño en el área inalámbrica.

El éxito de migrar hacia Ethernet se debe a los siguientes factores:

- Simplicidad y facilidad de mantenimiento.
- Capacidad para incorporar nuevas tecnologías.
- Confiabilidad por ser una tecnología conocida que domina el sector industrial y comercial.
- Bajo costo de instalación y de actualización.
- Diversidad de formas de cableado.

Dentro de las principales ventajas, migrar hacia Ethernet, puede lograrse la implementación de configuraciones híbridas en donde, utilizando los dispositivos adecuados, logramos obtener diversidad de instalaciones, velocidades y mejoras de comunicación, utilizando los dispositivos que nacen en base a la necesidad de obtener mejoras en donde las redes deben unirse a través de los dispositivos inteligentes, de forma que se optimice el tráfico de información en la red. Debido a que las redes tienen sus límites establecidos en cuanto a la longitud del medio y al número de estaciones de cada segmento, frecuentemente, es necesario integrar nuevos puntos para lograr redes de mayor extensión o mayor número de estaciones, así como interconectar redes ya existentes.

Algunos dispositivos necesarios para la construcción de una red Ethernet nueva, modificación de una red existente debido a crecimiento o necesidad de cambios correctivos, se van traduciendo en normas y tecnologías que, a su vez, generan productos específicos donde los administradores de redes emplean en

sus infraestructuras bajo la fabricación de las diversas marcas en donde cada una posee sus especificaciones técnicas en donde se puede mencionar:

- Repetidor, es un dispositivo de conexión multipuerto, sencillo y económico, que permite enlazar varias estaciones, para formar un segmento de red, además de poder conectarse a otro *hub* o dispositivo de acople. También llamado repetidor que posee circuitería activa, para retransmitir la señal, (amplificándola y conformándola) de un puerto hacia los demás (*re-broadcast*).

Figura 39. Repetidor Ethernet 1783-US16T



Fuente: Rockwell Automation. *Stratix 2000 Industrial Unmanaged Switches*.

<https://studylib.net/doc/25291836/stratix-2000-industrial-unmanaged-switches>. Consulta: 5 de abril de 2018.

- Puentes, se utilizan para acoplar subredes que trabajan con el mismo protocolo en el nivel de enlace de control. Los soportes de transmisión y los métodos de acceso al bus de las subredes a enlazar pueden ser diferentes. Los puentes se utilizan para unir redes locales que tienen diferente topología o cuando, en base a aplicaciones especiales, es necesario añadir determinadas estructuras a subredes.

Figura 40. Puentes Ethernet 1783-ETAP



Fuente: Rockwell Automation. *Stratix 2000 Industrial Unmanaged Switches*.
<https://studylib.net/doc/25291836/stratix-2000-industrial-unmanaged-switches>. Consulta: 5 de abril de 2018.

- Enrutador, es el encargado de enlazar redes OSI con niveles diferentes. El también llamado: encaminador, determina, además, el camino óptimo (ruta de comunicación) de una información a través de una red existente (*routing*). El enrutador modifica las direcciones de origen y destino del nivel de la red de los paquetes entrantes antes de volver a transmitirlos. Como los encaminadores tienen que ejecutar tareas sensiblemente más complejas que los puentes, trabajan a menor velocidad.

Figura 41. **Enrutador Ethernet M876-4**



Fuente: Siemens. Industrial Remote Communication Simatic NET IK-PI.
<https://manualzz.com/doc/12611429/siemens-simatic-net-industrial-ethernet-brochure>.
Consulta: 5 de abril de 2018.

- Pasarela, comúnmente llamado por su nombre en inglés Gateway, se refiere a los equipos utilizados cuando se requiere un ajuste y optimización de ancho de banda por medio de múltiples conexiones de entradas y salidas de un sistema de control enviada por paquetes a distintas velocidades para la toma de datos de control y/o diagnóstico en una red. Se pueden utilizar en diversas aplicaciones, ya sea enlazando conexiones entre controladores e interfaces de operación HMI o SCADA, donde ofrece un suministro rápido y fiable de datos, con capacidad de priorizar transferencia de datos entre un mismo protocolo o una varianza de protocolos de comunicación.

Figura 42. **Pasarela Profibus DP hacia Ethernet IP PLX51-PBM**



Fuente: Prosoft Technology. *PLX51-PBM PROFIBUS DPV0/DPV1 Master or Slave to EtherNet/IP™ or Modbus® Gateway*. https://www.prosoft-technology.com/prosoft/download/13492/295876/version/8/file/PLX51_PBM_UM.pdf. Consulta: 5 de abril de 2018.

Ya que se trata de una tecnología asociada con la capa 1 y 2 del modelo de referencia OSI, Ethernet especifica e implementa los esquemas de codificación y decodificación que permiten el transporte, traducción, enlace y retransmisión de información por medio de los distintos dispositivos, que funcionando en conjunto, logran adecuar las migraciones de la mejor manera hacia una implementación dentro de la industria con dispositivos modernos, con soporte, alta disponibilidad de repuestos y aplicación industrial para los entornos más exigentes de comunicación. Dada la diversidad de tipos de medios que Ethernet admite, la estructura de la trama de Ethernet permanece constante a través de todas sus implementaciones físicas. Es por esta razón que puede evolucionar hasta cumplir con los requisitos de red actuales.

La utilización de Ethernet como sistema de comunicación estandarizado en la industria, nos introduce hacia el concepto de empresa conectada. Con la implementación en los niveles de enrutamiento, control y campo, los diferentes niveles de transferencia de información en tiempo real son posibles, la detección de colisiones y rutas de envío de enlaces y su libre acceso a la información sin tener que estructurar ingeniería adicional de software o hardware para el flujo y acceso directo de todos los dispositivos en tiempo real, a pesar de existir diversos protocolos como se mencionan anteriormente de Modbus TCP/IP, Ethernet IP y Profinet como los más utilizados al momento de realizar una migración de comunicación dentro de la industria.

3.17. Red de información Ethernet IP

Ethernet IP es indiscutiblemente la red de información líder en el mundo y está siendo considerada como la solución de comunicación para cada nivel de automatización industrial, para dispositivos de control, campo y de información, y aun mejorando su disponibilidad y seguridad de transferencia para todo tipo de información gracias a las reglas de Ethernet, en donde varias tecnologías pueden llegar a intercomunicarse con los dispositivos correctos al momento de migrar hacia la interconexión de todos los niveles. Ethernet IP, ha logrado el aumento de popularidad enormemente debido a su alta disponibilidad en relación a su bajo costo de equipos e instalaciones de medio físico de transferencia. El resultado para las industrias ha sido satisfactorio ya que ha sido el medio de comunicación revolucionaria para el mercado de automatización, control industrial y sistemas de información, gracias a su estrategia estándar, para la comunicación de la industria por completo, generando una carretera (capa 1) y lenguaje (capa 2) preparada para la empresa conectada.

3.18. Adaptación dentro de la industria

Ethernet IP es indiscutiblemente la red de información líder en el mundo y está siendo considerada como la solución de comunicación para cada nivel de automatización industrial, para dispositivos de control y de información, y aun mejorando su disponibilidad y seguridad de transferencia para todo tipo de información. En un mundo donde la industria es cada vez más compleja, las personas se interesan de forma natural por la tecnología que logran entender y adaptarse después de una migración de equipos. Los sistemas de control que facilitan la vida dentro de la industria. Sin embargo, el camino hacia una migración requiere innovación de ingeniería para poder transformar lo técnicamente complejo en una experiencia para el usuario final sin el mayor esfuerzo posible.

Las industrias se encuentran en la búsqueda de una red industrial que sea simple y eficiente. Ethernet comparte la información necesaria sin problema alguno dentro de las industrias a nivel corporativo, pero existen redes aisladas en gran parte, donde los datos de todas las máquinas y líneas de proceso se quedan sin su aprovechamiento, generando dificultad para la toma de decisiones, optimización de toda la planta y la completa utilización de activos instalados. Estas redes especializadas sufren de un desgaste a través del tiempo. En donde su implementación en su momento fueron las redes que mejor se acoplaban a las necesidades de la industria, sin embargo, si su adaptación con el avance de la tecnología de los fabricantes de dispositivos se complica o no es compatible, las migraciones adecuadas son inminentes para poder presentar ventajas de rendimiento para la empresa como tal. Ethernet IP ha logrado el aumento de popularidad, debido a su alta disponibilidad en relación a su bajo costo de equipos e instalaciones de medio físico de transferencia. El resultado para las industrias ha sido satisfactorio, ya que ha sido el medio de comunicación implementado para sus distintos procesos en diversos niveles según el modelo de referencia

aplicado, generando una reducción en costos de capacitación, mantenimiento, la rápida identificación y solución de fallas de la red.

3.18.1. Campo de aplicación

Como objetivo principal, Ethernet IP proporciona toda su capacidad en una sola red, donde se pueden integrar variadores, servomotores, instrumentación, actuadores, dispositivos *safety*, señales de entradas y salidas, sistemas de información, sin mayores modificaciones de la red corporativa principal existente, explotando la infraestructura del departamento de tecnología de información IT sobre la base ya instalada de Ethernet como estándar. La coexistencia de una red de control de automatización y una red de informática, representa un avance de tecnología que se puede lograr mediante las migraciones dedicadas, que generan una comunicación eficaz e increíblemente abierta de transferencia de datos. Esta información generada, puede utilizarse para crear mediciones actualizadas de eficiencias de una máquina, línea o sector de producción, gestión energética e incluso la creación de indicadores de rendimiento que permite visualizar en tiempo real el proceso y los KPI's designados.

Para la parte de control de movimiento o Motion, llamado por su nombre en inglés, el campo de aplicación Ethernet IP se vuelve crítico por temas de sincronización y alta velocidad de respuesta, así como su diagnóstico de operación y cualquier índole de falla como extracción de información que pueda ser transferida sin mayor ingeniería de programación. Esto también aplica para *drives* variadores de frecuencia que cuenten con arquitectura integrada a través de Ethernet IP.

La integración de dispositivos de proceso, las ventajas que presentan al migrar hacia Ethernet IP, establecen una plataforma común para su

configuración, programación, puesta en marcha, diagnóstico y mantenimiento del sistema de control. Al realizar la migración, los tiempos de todos los factores anteriores mencionados son minimizados a su máxima expresión debido a su transparencia de conectividad, inclusive brindar un acceso remoto de manera segura para su monitoreo como valor agregado. Los fabricantes de maquinaria obtienen bondades de funciones inteligentes como *web server* dedicado a los equipos específicos para su configuración independiente y acceso de manera remota, proporcionando datos en tiempo real de rendimiento, seguridad y estado de red, así como acceso al historial de alarmas y fallas, paquetes perdidos e información de energía como picos de voltaje, consumo eléctrico, variaciones de suministro de calidad y todo de manera integrada al *web server*.

Ethernet IP, aplicado al control de seguridad y su integración en la automatización, ofrece flexibilidad a los usuarios en la configuración de redes de seguridad, satisfaciendo las necesidades de las aplicaciones que deben de cubrir distancias extensas y en donde la comunicación requiere paquetes de seguridad y rendimiento efectivo. Parte de sus beneficios, ofrece el uso de herramientas y tecnologías comunes, dando así una presentación de costos menores asociados con la migración y poder dimensionar el diseño, la instalación y su mantenimiento de una manera más efectiva. Al implementar Ethernet IP con aplicación de seguridad y control de automatización, se podrá integrar a la misma infraestructura de campo y control, logrando así una transparencia y arquitectura integrada para la parte de seguridad.

3.18.2. Crecimiento de Ethernet IP

Dentro del panorama global de las comunicaciones, estándares y protocolos industriales, Ethernet IP logra una verdadera agilidad en cualquier industria donde se decide su implementación por medio de la migración, los

fabricantes de maquinaria, industrias conectadas y redes de información bajo este crecimiento, a pesar de que primero deberán superar la brecha digital que existe entre la operación y las demás áreas de la industria, se deberá crear un entorno común en donde se transmitirá la información de toda la empresa, desde el nivel de máquina, pasando por los dispositivos de campo, las redes de control, redes corporativas y bases de datos en conjunto con reportería y monitoreo de indicadores.

La plataforma de comunicaciones como protocolo industrial bajo el estándar Ethernet y con enlace transparente hacia internet, permite a las industrias que implementan sus migraciones hacia Ethernet IP, una gestión de forma eficaz en tiempo real del flujo de control e información con un bus de campo suficientemente ancho, conectividad abierta y aceptación de convertidores para su correcto enlace con la base instalada de Ethernet IP.

Al estandarizar una industria sobre el protocolo Ethernet IP, se implementará una red estándar reduciendo costos de diseño y puesta en marcha, eliminando los riesgos y límites asociados a redes propietarias y dedicadas con obsolescencia, dando lugar a las migraciones como primer plano de inversión para la industria, combinando arquitecturas de referencias, topologías de red, asegurando enlaces de comunicación con tecnología cableada o inalámbrica y asegurando su fiabilidad, cumpliendo con los requisitos de cada industria donde se integran dispositivos de seguridad, control de movimiento, control de automatización, proceso, variadores, entre otros.

Las convergencias de redes aprovechando Ethernet IP, han simplificado la complejidad de sus sistemas, presentando un ahorro de cableado físico y componentes dentro de las máquinas, debido a que se han ido consumiendo los años de uso y se empiezan a presentar ciclos de vida que han llegado a su fin,

donde no se encuentran repuestos ni reposición de estos. Las migraciones vienen a facilitar el problema de fin de ciclo de vida de los dispositivos y que, dentro de su modernización por medio de reemplazo de los equipos, se obtendrá el beneficio de un activo con soporte total y arquitectura integrada para su integración transparente dentro una red estandarizada de Ethernet IP. Parte de las nuevas tendencias en automatización, utilizando Ethernet IP, se establece una arquitectura centralizada, utilizando un solo controlador PAC el cual estará integrado hacia varios sectores de máquinas por medio de periféricas remotas para el control de los distintos sectores de la máquina en sí.

Un sistema puede ser conformado por islas de control y compartir señales digitales o analógicas para enlace entre un controlador y otro, más no contará con la velocidad de sincronización y enclavamiento de seguridad, que permite un sistema el cual migró todos sus dispositivos hacia equipos de tecnología con protocolo Ethernet IP para su mejora de rendimiento y su intervención para cualquier tipo de modificación desde cualquier parte de la línea. Los beneficios de migrar hacia Ethernet IP, la industria podrá detectar y reaccionar rápidamente a los problemas de las máquinas, así como proporcionar servicios predictivos y proactivos para los dispositivos que se encuentren bajo una arquitectura integrada.

Ethernet IP, estará sobreponiéndose a cualquier obstáculo planteado por una red propietaria, ya que contribuye a la habilitación de una arquitectura de red simple, y suministra una estrategia de migración transparente y escalable para las distintas industrias que soliciten una red confiable, segura, alta disponibilidad y de alta resiliencia como elección a implementarse, ofreciendo también en paralelo una red convergente de arquitectura de red donde se optimiza el flujo de control y de información, impactando globalmente a toda la planta.

4. MIGRACIÓN Y MODERNIZACION DE TECNOLOGIAS APLICADAS

La migración de sistemas de automatización industrial, en la mayoría de las condiciones es implementada debido a un mantenimiento correctivo de emergencia y no como un proyecto de mejora constante. Cuando se tiene acceso a toda la información del sistema de control actual por medio de un plan de migración debidamente planteado, se podrá realizar un escalamiento de la solución de mejora considerando todos los pasos necesarios para un plan adecuado y flexible de migración, iniciando desde la inspección física de la aplicación o máquina, obteniendo toda la documentación posible del sistema actual para dimensionar el hardware como parte de la solución con diagnósticos avanzados que representarán al finalizar el proyecto de migración, una actualización de documentación del sistema de automatización industrial en conjunto con el hardware de control y entrenamientos al personal para un soporte de rápida respuesta, como principal objetivo de un proyecto de migración y su menor impacto en los esquemas de producción.

4.1. Inicios de migración y modernización

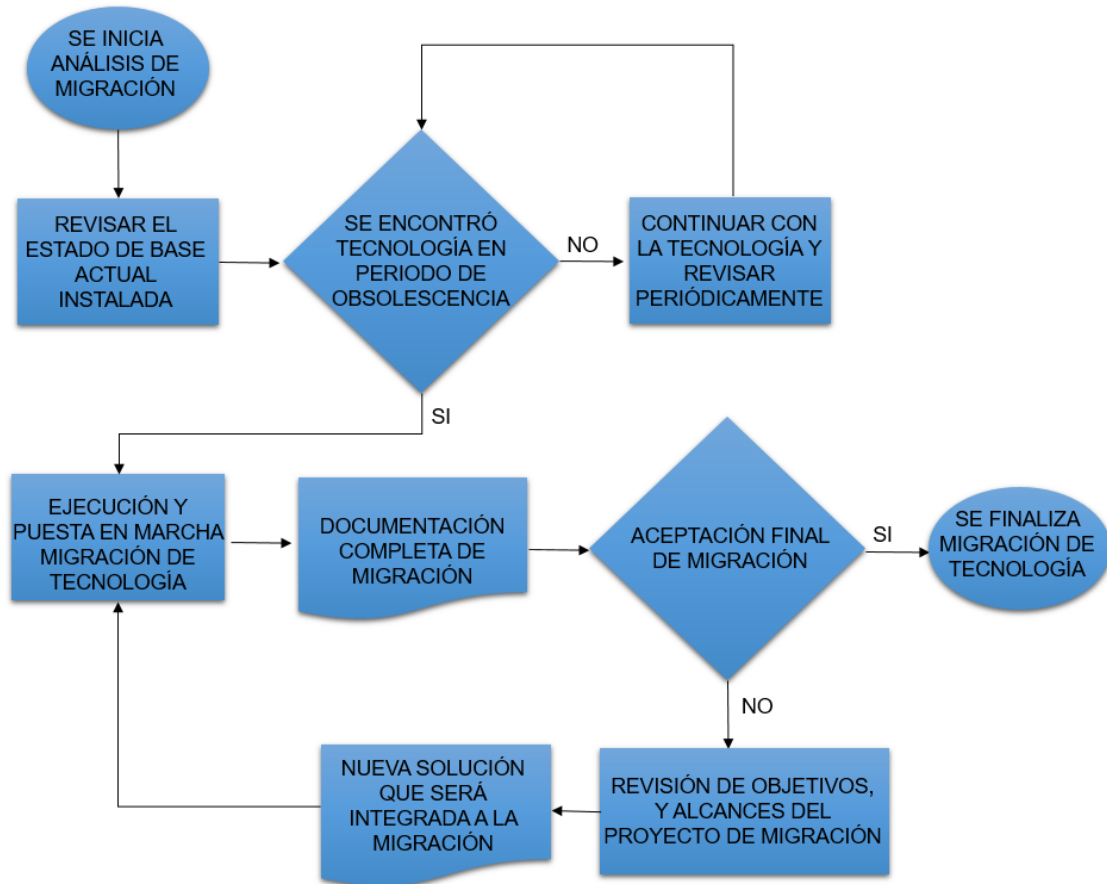
El cambio de un sistema automatizado a otro ya sea en un equipo dedicado de control, instrumentación, red o sistema de información, es una actividad cada vez más frecuente en los sistemas de las distintas industrias. Cada vez se va experimentando una consolidación del mercado de sistemas automatizados, en donde la adquisición de una migración hacia un sistema nuevo se convierte en grandes retos por cumplir debido a que el personal operativo debe adquirir un aprendizaje nuevo, en donde normalmente debería ser un proceso natural y

continuo. Las necesidades, conforme el tiempo avanza, las distintas máquinas en una planta ofrecerán un desarrollo tecnológico con mayores capacidades, ya que deberán de adecuarse al cambio para poder sobrevivir en conjunto con el avance de equipos y software de nuevas tecnologías que ofrece mejores posibilidades en todos los niveles de la industria.

El proceso de cambio involucra realizar análisis profundos de las necesidades, especificaciones técnicas, evaluación de la tecnología existente, ampliar y documentar la información del personal como usuarios finales y de operación. Los años de experiencia por parte del personal operativo permiten que el análisis de las necesidades esté mejor enfocado y que se realice el proceso de la mejor forma posible para su modernización evaluando todos los aspectos en un conjunto de pasos o procedimientos secuenciales, los cuales dependerán de la producción y su planificación de paro. En cierto modo, se trata de una transición sencilla, pues el personal ya se encuentra familiarizado con la parte operativa y manejo del sistema/máquina, y los cambios de organización introducidos a raíz del primer sistema, todavía pueden ser válidos, sin embargo, la migración hacia un sistema actualizado tiende a brindar ventajas competitivas y aumentar la disponibilidad de la planta.

Uno de los problemas al cambio, es la oposición a la migración como tal y se acentúa si el personal se aferra a la costumbre y se apoya en filosofías de trabajo basadas en relaciones sindicales, proteccionismo laboral y/o legal, sin embargo, si se logra adecuar un seguimiento especializado, es posible utilizar el personal y usuarios como puntos de impulso hacia la mejora del sistema. Otro aspecto importante son las dificultades al realizar el traslado de información del sistema actual hacia una nueva base de datos o la actual, ya que esto debe de ser debidamente acordado entre las áreas de IT y OT estableciendo políticas de mutuo acuerdo entre departamentos.

Figura 43. **Análisis de migración**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

La migración de un sistema automatizado, aplicado a una planta, deberá de implementar todos los recursos necesarios en la automatización y su actualización en todos los niveles del proceso. El beneficio de proporcionar valiosa información cuando sea requerido, con la versatilidad de visualización customizada desde el esquema puntual de cierta línea de producción o máquina de proceso, la obtención de históricos de variables para análisis y el modo de acceso a reportes o indicadores de tendencias para la toma acertada, eficaz y rápida de decisiones como mejora constante de la empresa y la implementación

de tecnologías modernas a través de las migraciones, son inminentes de los equipos conformados por el sistema de control.

Es necesario que todos los dispositivos, instalados en los distintos niveles como de control, campo y sistemas de información, correspondan una plataforma abierta y totalmente transparente para poder lograr la compatibilidad entre cada área de la industria. En caso de tener alguna variación de equipos de diferentes tecnologías, protocolos distintos, o estándares diferentes, será necesario adicionar elementos intermediarios entre los sistemas o dispositivos que se deseen interconectar, para luego lograr su interacción e integrarse a una industria conectada bajo una misma red, o migrar la tecnología, la cual está generando la adición de estos convertidores adicionales y así de esta manera poder tener una base instalada bajo la misma tecnología.

La mayoría de las aplicaciones implican el uso de una gran cantidad de elementos dentro de la automatización industrial, en donde dados los requerimientos y necesidades actuales, la integración de los elementos dentro de un entorno totalmente automatizado, deberán de ser capaces de realizar complicadas funciones, sino que también comunicarse y trabajar en conjunto con otros equipos, de acuerdo a las necesidades finales de la industria. Los equipos, por lo tanto, en principio, deben tener toda la conformidad de un estándar de comunicación seguido de un protocolo, y que a su vez deberán satisfacer primeramente las pruebas de conformidad donde se generarán complicaciones para el funcionamiento, ya que existen diversas tecnologías que no son compatibles o ya se encuentran en obsolescencia. Por consiguiente, deben también ofrecer una cooperación entre distintas tecnologías y a lo largo de las distintas capas del modelo OSI. Todos estos puntos deberán de ser evaluados al momento de integrar un sistema debido a una migración, y es necesario poder

distinguir todos los conceptos para poder obtener sistemas coexistiendo en un mismo entorno.

4.1.1. Propósitos de migración

Al modernizar un sistema de control por medio de una migración de tecnología, la empresa se vuelve diferencial respecto a otras empresas, lo cual conlleva a un mayor rendimiento, eficiencia, y aseguramiento de calidad por medio de procesos establecidos y rutinas programadas en las áreas de producción, mantenimiento, proyectos y gerencia. Los objetivos comúnmente perseguidos son:

- **Funcionabilidad:** mayor capacidad para la elaboración e importación de registros, control de errores / fallas / alarmas, arquitectura integrada para su compatibilidad, más amigable que el sistema actual).
- **Eficiencia:** mayor número de usuarios, variables, memoria, registros, traslado de toda la información requerida.
- **Fiabilidad:** minimizar las pérdidas de tiempo por avería o interrupción, o por una lenta respuesta del sistema.
- **Disponibilidad y seguridad:** al seguir utilizando el sistema antiguo, es posible que el soporte sea de alto costo y que el tiempo de respuesta dificulte la resolución y manejo de equipo, no se les proporcionó toda las funciones ni documentación acerca del sistema.
- **Mayores posibilidades de conexión con otros sistemas.**
- **Cambio de hardware o de sistema operativo.**

El elemento del sistema posterior a la migración es la garantía del desempeño por modernización de hardware y software. Los datos o información relacionada al nuevo sistema son trasladados, de tal manera que la migración no

influya en la obtención de información. En caso de no poder estar habilitados por la actualización, estos deberán de ser recabados e integrados hacia la plataforma en donde se requiere su utilización y que tendrá como objetivo final la visualización de indicadores de gestión del proceso modernizado debido a la migración. Los involucrados del proyecto de migración, deberán trabajar en coordinación para establecer todas las metas y escenarios de migración para poder definir los criterios bajo los cuales se ejecutará previamente, durante y posterior a la finalización y puesta en marcha de manera planificada, como proyecto de migración.

Muchos de los obstáculos hoy en la industria, es causado por la diversidad de equipos de control instalados posterior a su migración, dentro de los distintos niveles de automatización de la planta, para ello es necesario considerar los planes de integración, tanto en equipos como de software y hardware, y así poder desarrollar una armonía de estructura en la red de equipos de campo y software de aplicación. La migración de un sistema de control antiguo hacia una modernización es inevitable. La migración llevará a la planta a obtener mejoras de proceso que con el sistema antiguo. Muchas de las migraciones pueden ser de gran impacto, en donde la clave es minimizar cualquier riesgo utilizando las mejores prácticas de migración del sistema de control y tecnologías de automatización industrial.

4.1.2. Precedente de migración

Todo precedente de migración inicia a través de una serie de interrogantes por parte del área técnica, mejora constante de producción, y evaluadores internos / externos en relación al uso que se le da a la automatización en las unidades de producción. Las gestiones del proceso se enfrentan a una convergencia de factores debido a los puntos de tecnología, globalización y los

nuevos métodos de trabajar con la automatización de un proceso industrial. Se debe de establecer una base, la cual brinda valor agregado como instrumento de trabajo dentro de la planta, en donde la mayoría de las plantas industriales, tienen actualmente un sistema de control aislado, de diversas marcas/tecnologías, equipos obsoletos o simplemente operando en modo manual sin un controlador que lleve toda la secuencia de operación de forma automática.

Todos los hardware y software en un sistema de control establecen su vida útil y es anunciado por los fabricantes, entonces existe un precedente de migración hacia un nuevo sistema de automatización, pero antes de que esto pueda ocurrir, el personal interno de la planta debe establecer los beneficios de implementar un proyecto de migración para cada posible opción en donde se identifiquen todos los factores relacionados al sistema de control o nueva tecnología de automatización industrial.

La información recabada al inicio de una migración es sumamente importante debido a que se empieza a generar la documentación necesaria para estudiar y plantear el manejo y coordinación del proyecto. El dimensionamiento y diseño de la migración debe de plantearse como una primera versión, para luego realizar modificaciones y ajustes al proyecto que brinde mejoras del sistema a manera de obtener la optimización del proceso, generando la modernización de la máquina, actualización de componentes, y por consiguiente la planta donde se encuentre operando el sistema de control. Parte de la modernización por medio de migración, es obtener los indicadores, y ser registrados al finalizar el proyecto, como puntos de comparación antes y después de los porcentajes, para la toma acertada de decisiones y medición de rendimiento en la empresa.

A medida que las instalaciones y los sistemas envejecen, su fiabilidad puede empezar a flaquear o los fabricantes de equipos pueden descontinuar

ciertos componentes que eventualmente, tienen que ser reemplazados. Cuando esto ocurre, la prioridad máxima es volver a brindar la seguridad y disponibilidad en conjunto al rendimiento lo más rápido posible, para los próximos años. Sin embargo, el tiempo y costo de la migración a una tecnología moderna, puede representar una notable pérdida por falla de hardware o limitación de software. Esto se vuelve especialmente crítico, cuando la producción depende del abastecimiento de materiales producidos por el sistema que se encuentra en periodo de obsolescencia.

Los riesgos se pueden minimizar desarrollando la estrategia de migración personalizada en base a toda la documentación recolectada como primeros pasos del proyecto. Se debe tomar en cuenta la lógica de funcionamiento actual, previo al cambio de la nueva plataforma, ya que esto será una columna en donde se basará como ejemplo o precedente y se modificará de tal forma que existan mejoras en cuanto a la flexibilidad de control para el nuevo sistema, donde se depurará cualquier tema relacionado al sistema antiguo que se desee cambiar y que deberá llevar los siguientes aspectos a ser evaluados como precedentes de migración:

- Conformidad del sistema, los fabricantes de tecnología definían su protocolo de comunicación y módulos de expansión de señales limitada para todos sus equipos, que eventualmente lograban integrarse hacia un sistema de control de la máquina o conjunto de máquinas entre sí. Con el gran auge del concepto de sistema abierto y específicamente para dispositivos de campo, teniendo en cuenta el gran número de fabricantes de tecnologías, es importante migrar hacia componentes y protocolos estandarizados y modernos. El modelo OSI define el concepto de prueba de conformidad, que es la que nos permite identificar si una implementación en particular de un protocolo o un grupo de protocolos se

ajustan al futuro crecimiento de la empresa. En el caso que se desee integrar señales de entradas y salidas para equipos de control, comunicación o algún sistema de información, este necesariamente no tendrá el 100 % de compatibilidad, debido a la tecnología del fabricante por ser propietario, lo que conlleva a realizar las migraciones inminentes actualizando los equipos o implementando convertidores para que exista cierta compatibilidad a través de fabricantes terceros.

- En la interconectividad del sistema, las migraciones correspondientes, realizan la tarea de crear compatibilidades de interconectividad para que, al momento de integrar un equipo, este pueda obtener la total transparencia por medio de los comandos de lectura y/o escritura, identificación de los datos, documentación de programas, para el mejor aprovechamiento por temas de servicios o modificaciones que puedan existir por futuro crecimiento del sistema o corrección de alguna secuencia de programación y de la aplicación. Se deberá evaluar el nivel de compatibilidad entre los equipos como: variadores, servo – *drives*, celdas / módulos de pesaje / básculas, instrumentación de campo (nivel, presión, temperatura, flujo, conductividad), controladores de las demás áreas, bases de datos, sistemas de reportes, entre otros Y definir cuál será el ecosistema y quienes lo integrarán para poder llevar a cabo una convergencia de todas las áreas desde su planeación inicial de migración.
- Interoperabilidad, dentro de un proyecto de migración, se define como la propiedad que expresa la capacidad de comunicación entre los distintos dispositivos y sistemas, para su cooperación y participación en un objetivo común, controlar el sistema, determinando cómo será el control desde uno o varios puntos de acceso. Esta propiedad puede incluir aplicaciones de software y no solo la parte de equipos de operación. Aun así, se deberá

evaluar el nivel de interoperabilidad, ya que las compatibilidades de tecnologías utilizan sus propios estándares y no resulta la mejor opción la implementación de convertidores intermedios para lograr una interoperabilidad debido a los costos asociados y que también se estarán añadiendo más puntos que pudieran llegar a fallar. Idealmente, migrar en su totalidad los equipos y software involucrado bajo el mismo ecosistema para obtener el beneficio de interoperabilidad como valor agregado de migración.

- Intercambiabilidad, es la propiedad que presenta un dispositivo de ser reemplazado por otro, funcionalmente similar, pudiendo ser del mismo fabricante o no, sin tener que realizar grandes modificaciones en el sistema. Cada equipo puede tener esta capacidad, si desde el momento de diseñar el sistema, se realiza el dimensionamiento para que obtenga esta característica de interoperable con otros equipos del sistema global. Al ser de distinto fabricante, la intercambiabilidad puede estar limitada a un funcionamiento básico, y si anteriormente se contaba con la extracción de información de diagnósticos, históricos de fallas, o cualquier otro dato relevante, no podrá ser implementado de la misma forma, a diferencia de que se mantenga un modelo exactamente igual para un reemplazo y obtener la funcionalidad completa.

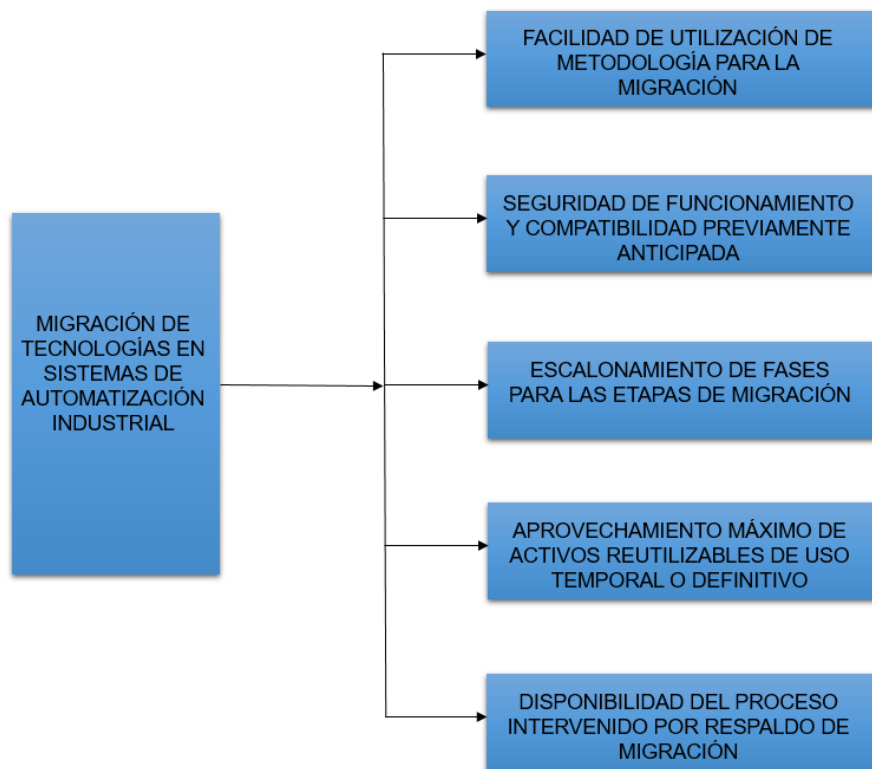
4.1.3. Estrategias de migración

Es el proceso donde se determinan las acciones que pueden llegar a ejecutarse por medio de la unificación de planes, con amplitud, integración y diseño, para el aseguramiento de objetivos básicos de la migración. Se deben anticipar a todas las posibles condiciones que puedan surgir e identificar todas las oportunidades de mejoras que se generan al obtener la modernización del

sistema de control. La estrategia de migración deberá ser dinámica y utilizada como una herramienta que posibilita la adaptación del proyecto ante cualquier evento exigente que pueda surgir como limitante, y deberá de establecer claramente las acciones destinadas a ejecutarse basadas en resultados y objetivos determinados.

La implementación de una adecuada estrategia de migración permitirá obtener una gestión de cambio eficiente, en relación a la mano de obra de ingeniería y materiales, que, a su vez, generan una eficiencia para la ejecución del proyecto donde se presentan las líneas generales de migración:

Figura 44. **Líneas generales de estrategias de migración**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

Los aspectos claves que deberán de considerarse para el desarrollo de un proceso de migración con planificación estratégica son:

- Enfocar la estrategia de migración en los factores críticos que determinan el éxito o fracaso del proyecto. Dentro de los factores críticos dentro de la automatización industrial se pueden mencionar: la ventana de tiempo disponible para la ejecución del proyecto, el desconocimiento del proceso a detalle que los equipos estarán controlando, la obtención de funciones esenciales de la máquina, la ejecución de un plan de restablecimiento del equipo previo a su intervención, entre otros.
- Diseñar un proceso de planificación realista. Se contemplan todas las capacidades técnicas de ingeniería de mano de obra, hardware y software, involucradas al proyecto de migración, que deberán de evaluarse desde su planteamiento con datos concretos para considerar de manera más certera la disposición y compromiso de las áreas involucradas asociadas al proyecto de migración.

El proceso de migración de tecnología deberá de formular una misión determinante dentro de la estrategia de migración, ya que afectará el futuro del sistema de control en:

- La estructura del nuevo sistema de control que contará con la nueva tecnología, esto implica la adecuación del personal de operación y de mantenimiento con los nuevos equipos y la nueva programación y aplicación de interfaz HMI.
- Los criterios de asignación de recursos para la puesta en marcha de la migración, esto implica el establecimiento de calendario de actividades

según un mutuo acuerdo entre el personal técnico que opera la máquina y el personal de ingeniería que implementará la migración.

- Las posibilidades de desarrollo de aumento de capacidades técnicas del personal, debido a que, por ser una nueva tecnología, se deberá de actualizar o incluir capacitaciones para el desarrollo de las personas.
- Consecuencias de todos los departamentos afectados debido a la actualización, áreas externas a la operación de la máquina como departamentos de bodega, mantenimiento, producción y gerencial.

4.1.4. Diseño y desarrollo de migración

Al tomar la decisión acerca de implementar una mejora por medio de migración de tecnología de automatización, existen condiciones, las cuales deben de ser tomadas en cuenta durante la fase de diseño y que deberá ser coordinado todo trabajo relacionado para que, durante su desarrollo, se obtenga el resultado esperado como proyecto de migración.

Las migraciones de sistemas de control y tecnologías de automatización ayudarán a establecer cualquier procedimiento y aterrizarlo antes, durante y después de haber finalizado la migración. Tomando como guía del proyecto y ejecución consistente y precisa, se minimizarán los costos, cumplirá el cronograma establecido al inicio dentro de lo posible, y se reducirá cualquier tipo de riesgos, tanto para la parte que realizará la puesta en marcha, como para la planta que obtendrá el beneficio de migración. Posterior a la migración, la operación de la planta mejorará considerablemente en las áreas de IT y OT, pero particularmente, en el área de eficiencia del operador y mantenimiento.

El inicio del diseño deberá de contemplar los equipos de automatización o tecnologías de sistemas que serán necesarios e involucrados en la ejecución del proyecto. Para ello, es necesario definir si se reemplazará: el controlador lógico programable (PLC), los módulos de señales de E/S, periféricas remotas de comunicación o cabeceras, electroválvulas, motores, variadores de frecuencia, transmisores de nivel, transmisores de presión, transmisores de temperatura, transmisores de flujo, servomotores, *servodrives*, entre otros, para poder establecer todas las especificaciones técnicas, las cuales se obtendrán como beneficio por el cambio de hardware.

En la parte de software, se deberá realizar una recabación de información por parte de los lineamientos del departamento de IT y del agente principal de gerencia, el cual podrá identificar los puntos que serán cubiertos para su extracción y posterior informe como mejora del sistema de información. Al haber definido el hardware que se requiere migrar, el nuevo equipo deberá de evaluar si se asignará una nueva interfaz de operación (HMI) o se reutilizará una existente, para esto deberá de realizarse una investigación técnica en cuanto a la base actual instalada dentro de la planta y la revisión de compatibilidades de comunicación.

Al no existir HMI, o que se encuentre en etapa de obsolescencia o que no tenga compatibilidad con el nuevo controlador, la migración de interfaz se vuelve obligatoria, ya que es la parte fundamental para operación, visualización y monitoreo del proceso, en el cual se tiene contemplado implementar la migración. De la misma manera se debe analizar la parte de sistemas de información en donde se debe contemplar la integración actual hacia la plataforma existente o dejar previsto la arquitectura de diseño en mutuo acuerdo con el personal de planta que tengan asignadas las tareas de tecnología de informática y tecnología de operación.

Dentro de las estimaciones al momento de migrar hacia un nuevo sistema de automatización, podemos mencionar las siguientes condiciones para concretar el diseño de migración:

- Funcionamiento del sistema anterior.
- Instrumentación instalada.
- Recuento y tipo de entradas y salidas utilizadas.
- Número de variables empleadas en la HMI.
- Tipo de comunicación con módulos periféricos descentralizados.
- Topología de red del sistema.
- Reserva por expansión del proyecto.

En la mayoría de proyectos de migración se realizan consultas acerca de los diagramas eléctricos o planos de la máquina o sistema existente, esto con el fin de establecer y visualizar todos los parámetros iniciales y conexiones relacionadas al diseño original, para luego ser comparado con las modificaciones que haya sufrido en el intervalo de tiempo, debido a las necesidades cambiantes conforme el tiempo de la planta, y de esta manera considerar todo lo necesario según la mayor documentación obtenida previamente a la migración. Para los casos donde no se tiene acceso a la programación del funcionamiento de la máquina o sistema, y/o HMI, se deberá de estudiar la operación de la máquina completa y a detalle, adicional a tener una cercanía con el operador que esté más involucrado con la máquina o proceso, y que de esta forma se pueda determinar el sistema de control completo, teniendo especial énfasis en los movimientos específicos de la máquina basados en la experiencia del personal operativo e integrándose hacia la nueva plataforma de tecnología de automatización.

4.1.5. Finalización y puesta en marcha

Toda migración de tecnología relaciona un proceso de modernización, en donde cada sistema automatizado es implementado según su sistema de control que integran los equipos necesarios basados en *drives*, centros de control de motores, controladores programables, instrumentación de campo, y redes de comunicación, entre otros. La responsabilidad de la ingeniería de control industrial al momento de la finalización y entrega del proyecto de migración empieza desde el inicio del diseño, implementación, y pruebas de funcionamiento, en donde deberán de ser aplicados criterios y asignaciones para grupos de trabajo donde todos deberán de tener el liderazgo correspondiente para que el proyecto sea culminado según el plan que se genera en la reunión inicial del proyecto y la estrategia de migración.

El diseño define e implementa un complejo sistema de control automatizado debido a una migración por medio de la modernización debido a los requerimientos o necesidades del proceso en donde se deberán de implementar los análisis previos a cualquier cambio en el sistema. Esto incluye el diseño del sistema, ingeniería de automatización, ingeniería de hardware, configuración de todos los elementos que forman parte de la solución, ingeniería de programación, evaluación de red de comunicación y todas las pruebas necesarias para luego realizar cambios en base a los resultados obtenidos, hasta estar dentro de los parámetros designados como objetivos del proyecto que serán plasmados dentro de la entrega de migración y finalización de la puesta en marcha.

La entrega de documentación al finalizar la migración deberá incluir todas las actualizaciones necesarias de manejo del proyecto, el estado de las actividades y desarrollo de calendario de actividades. Para la entrega final y cierre de proyecto, la ingeniería a cargo de la migración como primer contacto

con el sistema, deberá de interactuar con todos los agentes involucrados de operación directa e indirecta del sistema, esto debido a que se debe contemplar el traslado de información para la nueva automatización, muy cercanamente en conjunto con los informes de cambios realizados por la ejecución de la migración.

La calidad final del proyecto de migración del sistema, deberá de cumplir con todos los requerimientos iniciales pactados y aportar todos los aspectos técnicos por medio de informes al finalizar la migración, donde se verán reflejados los cambios de equipos, pruebas realizadas, identificación de manejo de aplicación / operación nueva de la máquina, listado de señales intervenidas, modificación de diagramas eléctricos de control, potencia y comunicación, manual de usuario, y cualquier nueva conexión relacionada a la migración de tecnología.

La finalización de una sinergia de soluciones para las tecnologías de automatización industrial, brindan a las empresas ventajas de competitividad modernas, en donde la disponibilidad de la información de la empresa integrada en una misma plataforma con las distintas bases de datos, generalmente representan ahorro de tiempo y costos asociados a la nueva plataforma, debido a las migraciones de hardware y software debidamente dimensionados. Los sistemas de información en las plantas industriales, se hacen cargo de las distintas operaciones internas de la empresa, desde la producción, distribución y hasta recursos humanos, que es la medición de productividad la que aumenta al migrar los niveles bajos del modelo OSI, y que al final el entregable de toda la información se convierte de fácil acceso gracias a la empresa conectada por medio de modernización e integración de sistemas IT y OT.

Con un sistema de automatización modernizado, es posible implementar la empresa conectada, que es donde el sistema de supervisión mejorará el control

de producción, los puntos y características de comunicación de toda infraestructura de red de todo el sistema, optimiza los procesos relacionados a controles con tareas específicas, de los cuales se obtendrá toda la información para predecir su funcionamiento, mantenimiento y rendimiento por medio del valor agregado que brinda el internet industrial de las cosas y los enfoques relacionados con tecnologías como el análisis y gestión de la información, la computación escalable, la movilidad y la visualización, la ciberseguridad, control multidisciplinar y todos los activos inteligentes que se añaden al migrar hacia nuevas tendencias de tecnología de automatización industrial.

4.1.6. Normativas dentro de la automatización industrial

Los avances de tecnología en sistemas de control se han ido sumando en su trayectoria, una diversidad de integraciones y modificaciones basadas en la necesidad final de cada proyecto. Parte de obtener un sistema especial de símbolos, como parte de la instrumentación y control de procesos, al momento de la puesta en marcha de un proyecto nuevo, como un proyecto de migración, se tiene como objetivo la transmisión de una forma más fácil y específica de información en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control. Estas normativas suelen ser ocupadas y acopladas para cada proyecto en específico.

Dependerá mucho del alcance y en la experiencia del integrador para la aplicación y seguimiento de las normativas que sirven de guía para que cualquier persona con conocimientos básicos pueda adaptarse al sistema de control diseñado, como parte de los bocetos de plan de trabajo, papeles técnicos y literatura de manual de usuario, diagramas de sistemas de instrumentación, diagramas lógicos, descripciones funcionales, diagramas de flujo para procesos

mecánicos, ingeniería, sistemas, e instrumentación, dibujos de construcción, identificación de instrumentos y funciones de control.

Principalmente podemos mencionar las normas ISA (Instrument Society of America) y DIN (alemana); que apoyarán a lo largo de un proyecto de migración de tecnología en sistemas de automatización industrial, las representaciones de todos los instrumentos de medición y control que se emplean y que a pesar de que son variables debido a que las industrias siempre presentarán diferenciación, reúnen sus esfuerzos para el establecimiento de sistemas de códigos y símbolos para las distintas industrias. Entre ellas podemos mencionar:

- ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación).
- ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos).
- ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados).
- ISA-S5.4 (Diagramas de lazo de instrumentación).
- ISA-S5.5 (Símbolos gráficos para visualización de procesos).
- DIN 19227 Parte 1 (Código de identificación de instrumentos y controles).
- DIN 19227 Parte 2 (Símbolos y gráficos).

4.2. Referencia descriptiva migración de máquina rotativa

Como características fundamentales del proyecto de migración en máquina rotativa, se tiene un sistema de control instalado correspondiente a la familia PLC-5, fabricado por “Rockwell Automation” en el año 1982. Dicho sistema, y la familia completa de PLC-5, ya se encuentra discontinuado por parte del fabricante, lo cual genera graves inconvenientes a las distintas áreas de ingeniería, donde impacta fuertemente en la disponibilidad y seguridad de producción y la máquina

como principal activo de la planta, con un riesgo de pérdidas por no implementar una migración como parte de un plan de mejora.

4.2.1. Propósito de migración máquina rotativa

El principal propósito para el sistema de control de la máquina rotativa reside en la pérdida del funcionamiento del sistema, que conlleva a un paro no programado donde impactará fuertemente en la producción y los indicadores de rendimiento. Dentro de este principal objetivo, se encuentra la actualización de componentes que pueden estar llegando al final de su vida útil o ya se encuentran dentro de la etapa de obsolescencia, y que pueden estar fallando a un ritmo con mayor frecuencia. Otro objetivo de migración para el sistema es el alto costo del hardware en funcionamiento, es decir, que al estar en un ciclo de vida como obsoleto o cercano a él, los equipos incrementan su costo debido a que los fabricantes han dejado de producir su reposición y repuestos del mismo, en donde se convierten en componentes con alta especialización de manejo y mantenimiento minucioso.

Existe la posibilidad de importación de un número de partes a través de páginas web que distribuyen equipos que han salido de línea de producción por parte del fabricante y fuera de la distribución por parte de los encargados del suministro de forma local, pero se asume el riesgo de que el hardware adquirido se encuentre defectuoso y al gestionar la parte de reclamo de garantías se vuelve engorroso o totalmente nulo, representando tiempo perdido para la planta y si la máquina se encuentra en espera de este equipo para volver a su funcionamiento, se generarán notables pérdidas de producción. Otro objetivo para realizar una migración de tecnología planificada es prever la dificultad de encontrar personal calificado para la solución de fallas, reparación y operación del sistema obsoleto de la máquina. Cuanto más antiguo es el sistema de control, más complejo se

vuelve el encontrar personal técnico calificado y las piezas específicas o sistemas completos para su reemplazo.

El tiempo invertido para gestionar y completar los objetivos dentro de un sistema de control obsoleto, aumenta en relación a la antigüedad del hardware y el alto costo del personal calificado, provocando un nivel alto de inactividad y sobreesfuerzo de las partes involucradas para lograr obtener resultados aceptables que puedan reestablecer el sistema de control a una funcionalidad total o parcial y poder brindar el suministro de producción.

Para la parte de información, la máquina rotativa actualmente generaba un histórico de eventos de manera local a nivel de HMI, con la única posibilidad de lectura de forma presencial en la ubicación de la máquina, esto conlleva una forma presencial en la máquina para poder recabar los datos de interés para su posterior análisis y de una forma cruda, es decir, no existe una depuración de información, y, por consiguiente, los datos eran demasiados tediosos para su análisis y conlleva el involucramiento de personal de otros departamentos para poder aprovechar los datos generados. Al presentar el plan de migración de tecnología se deja prevista la futura extracción de datos de manera filtrada y con énfasis en los puntos de interés para: el tiempo real operativo, tiempo planificado, velocidad real, velocidad planificada, unidades válidas y total de unidades producidas al implementarse la migración de tecnología de automatización para recabar la información adecuada del rendimiento real de la máquina rotativa.

4.2.2. Precedentes de migración máquina rotativa

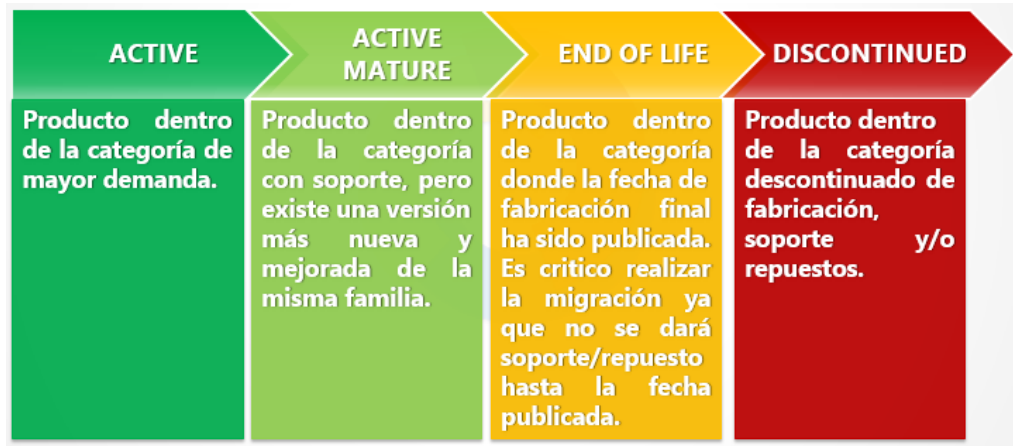
Para la máquina rotativa, se identifican los principales precedentes que se presentan en forma de limitaciones para el sistema de control instalado en la máquina, que en su mayoría son equipos discontinuados, y que presentan un

alto costo de los números de partes, tiempos de entrega extensos, paros inesperados por fallas en equipos y la existencia de tres distintas redes de comunicación obsoletas DH+, DeviceNET y RIO, limitaciones de soporte en caso de presentarse fallas. Estos temas puntuales generan un mantenimiento excesivo y costos de soporte adicionales por ser un sistema en ciclo de obsolescencia y su electrónica puede estar llegando al final de su vida útil. Los costos de mantención de estos equipos instalados son de un alto costo comparados contra equipos de reciente tecnología y que pueden llegar a cubrir las mismas funciones o inclusive, aún de mayores funciones en comparación contra el sistema obsoleto actualmente instalado.

La recopilación de información para el proyecto de migración de tecnología en la máquina rotativa de impresión presenta los siguientes puntos:

- El ciclo de vida de producto, se identifica un sistema de control marca Rockwell Automation con los equipos de control en etapa de obsolescencia, según la base de datos del fabricante que puede ser consultada a través de página web e ingresando el catálogo exacto.

Figura 45. **Estado de ciclo de vida del producto**



Fuente: Rockwell Automation. *Product Lifecycle Status*.

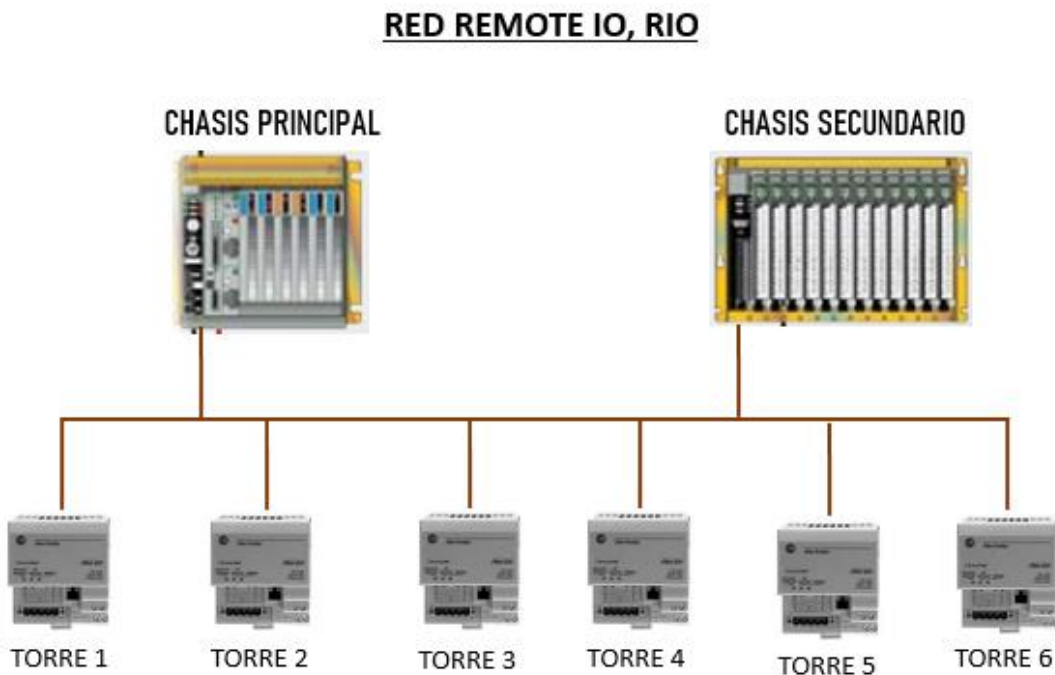
<https://www.rockwellautomation.com/global/support/product-compatibility-migration/lifecycle-status/overview.page>. Consulta: 16 agosto 2019.

En donde se verifica la información de cada módulo gracias a la facilidad de información que el fabricante publica en su página oficial y se recopilan los siguientes componentes de comunicación, módulos de entradas / salidas, procesador e interfaz de operación para la máquina rotativa de impresión:

- Dos chasis de 17 *slots* ocupados cada uno con módulos descontinuados desde 31-marz-2013.
- Un procesador PLC-5/40E descontinuado desde 31-dic-2013.
- Módulos de comunicación DeviceNet descontinuado desde 31-mar-2013.
- Módulos de E/S descontinuados desde 31-dic-2016.
- Módulos de comunicación RIO descontinuados.
- Módulos de comunicación DH+ descontinuados.
- Pantalla HMI estándar sin información disponible.

- Todos los productos de la familia PLC-5 discontinuados desde 1-jun-2017.
- Redes de comunicación, se mapean las tres distintas redes con las que opera el sistema de la máquina rotativa y se identifican los componentes para cada una de ellas en donde se tiene la red RIO para rack principal, rack secundario y seis torres de impresión como remotas. Un módulo de comunicación especializado DH+ para la interfaz. Un módulo DeviceNET para control de los cuatro motores principales por medio de comunicación y arrancadores tipo variador de frecuencia.

Figura 46. **Diagrama de red actual RIO**



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

Figura 47. **Diagrama de red actual DH+**

RED DATA HIGHWAY PLUS, DH+

CHASIS PRINCIPAL



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

Figura 48. **Diagrama de red actual DeviceNet**

RED DEVICE NET

CHASIS PRINCIPAL



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

4.2.3. Estrategias de migración en máquina rotativa

Se inicia la preparación de una estrategia, posterior a la definición de precedentes y se detalla el recuento de señales para el sistema de control de la máquina rotativa. Este paso es de mucha importancia ya que, en base a la densidad de señales y las características de control y comunicación, se podrán definir los planes que mejor cumplan con las exigencias de producción. Para la planta de impresión, la máquina rotativa, se debe de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Tamaño total del sistema: DI (*Digital Input*) 176 entradas digitales en 24 VDC, DO (*Digital Output*) 128 salidas digitales en 120 VAC, AI (*Analog Input*) 32 entradas analógicas de 0 – 20 mA.

Tabla IV. Listado de señales chasis principal

| SLOT | CATÁLOGO | DI 24VDC | DO120VAC |
|------|--------------|-----------|-----------|
| | CPU 5/40E | | |
| 0 | 1771-SDN | | |
| 1 | LIBRE | | |
| 2 | 1771-IBD | 16 | |
| 3 | 1771-IBD | 16 | |
| 4 | 1771-IBD | 16 | |
| 5 | 1771-IBD | 16 | |
| 6 | 1771-IBD | 16 | |
| 7 | 1771-IBD | 16 | |
| 8 | 1771-OAD | | 16 |
| 9 | 1771-OAD | | 16 |
| 10 | 1771-OAD | | 16 |
| 11 | 1771-OAD | | 16 |
| 12 | LIBRE | | |
| 13 | LIBRE | | |
| 14 | LIBRE | | |
| 15 | LIBRE | | |
| | TOTAL | 96 | 64 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Tabla V. Listado de señales chasis secundario

| SLOT | CATÁLOGO | DI 24VDC | DO120VAC | AI 0-20mA |
|------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1771-ASB | | | |
| 0 | LIBRE | | | |
| 1 | 1771-IFE | | | 16 |
| 2 | LIBRE | | | |
| 3 | 1771-IFE | | | 16 |
| 4 | LIBRE | | | |
| 5 | 1771-IBD | 16 | | |
| 6 | 1771-IBD | 16 | | |
| 7 | 1771-IBD | 16 | | |
| 8 | 1771-IBD | 16 | | |
| 9 | 1771-IBD | 16 | | |
| 10 | 1771-OAD | | 16 | |
| 11 | 1771-OAD | | 16 | |
| 12 | 1771-OAD | | 16 | |
| 13 | 1771-OAD | | 16 | |
| 14 | LIBRE | | | |
| 15 | LIBRE | | | |
| | TOTAL | 80 | 64 | 32 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

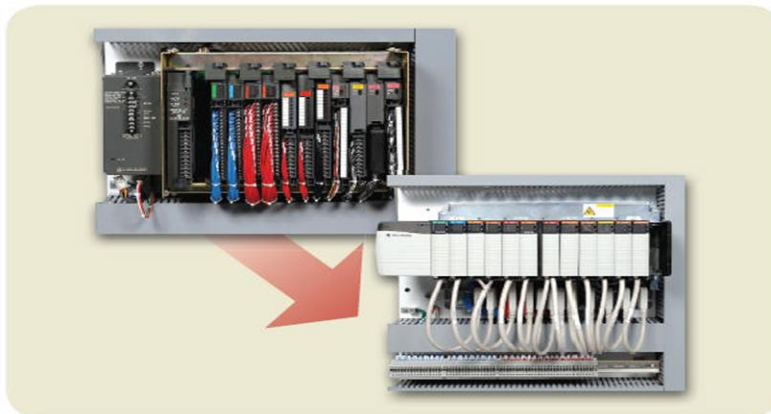
Adicional, se tiene como reto de migración, cumplir con las siguientes características del entorno en donde se encuentra el sistema de control como:

- Sistema de control con tres redes distintas RIO, DEVICENET y DH+.
- Ideología de programación antigua.
- Mantener la calidad de la impresión.
- Imposible generar una reserva de producción en caso de atrasos.
- Un paro anual para realizar el cambio.

Todos estos requerimientos fueron tomados como retos y fundamentos para poder establecer la estrategia de migración más adecuada y específica según los propósitos y precedentes de migración. La estrategia de migración se planteó con el inicio de la utilización de un kit de montaje rápido, siempre del

mismo fabricante, ya que la plataforma antigua se migraría hacia un nueva pero siempre del mismo fabricante, Rockwell Automation, en donde, se obtienen ventajas competitivas como la utilización de este kit para los tiempos y entornos más críticos y la compatibilidad del 100 % entre la familia de PLC-5 y ControlLogix, donde se brinda una reutilización de cableado de control de señales para entradas y salidas, ahorro de espacio, minimiza el error humano, ahorro de tiempo de instalación de hardware. En donde al utilizar este kit se establece la solución ideal para las altas exigencias de la máquina rotativa de impresión.

Figura 49. **Sistema de conversión rápida PLC5 hacia Controllogix**



Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix.*

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/migrat-pp003_-es-e.pdf. 18 de agosto 2018.

Posteriormente, se planifica la migración en cuatro fases distintas, la segmentación de la migración de la máquina rotativa de impresión exige reducir el riesgo en paralelo al tiempo de inactividad. Es por por ello por lo que se implementa el kit de herramienta y montaje rápido de la familia PLC-5 hacia

ControlLogix, y el plan completo de migración se secciona en fases de la siguiente manera:

- Fase 1: Cambio de PLC chasis principal

Se asigna el inicio del plan de estrategia de migración, en donde se contempla la utilización del kit de herramienta rápida de migración para poder realizar el cambio del procesador actual PLC-5 CPU 5/40E hacia un procesador de la familia ControlLogix L81. El primero de los pasos es retirar las pinetas actualmente cableadas dentro de los módulos de señales PLC-5.

Figura 50. **Desconexión de pinetas cableadas de módulos PLC-5**

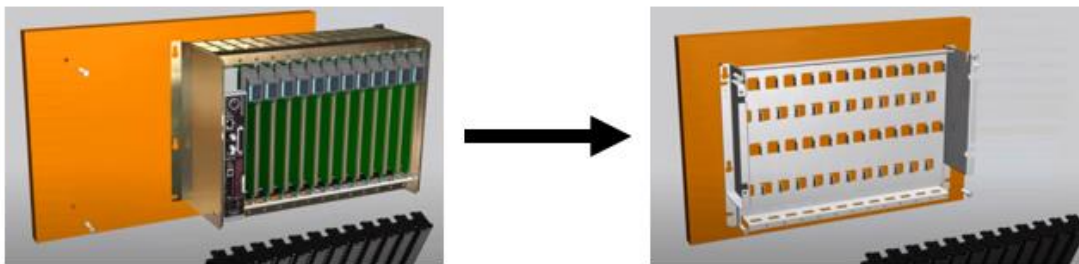


Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix.*

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/migrat-pp003_-es-e.pdf. Consulta: 18 de agosto 2018.

Una vez desenclavadas las pinetas de conexión del rack, se procede a desmontar el chasis del PLC-5 del gabinete de control. Al realizar este paso, ya es posible instalar la herramienta de conversión base nueva para realizar el montaje rápido dentro del gabinete de control, donde se deberá instalar mecánicamente, y que contendrá las bases para los módulos de señales de entradas y salidas con nuevo hardware.

Figura 51. **Desinstalación chasis PLC-5 y montaje base de conversión**

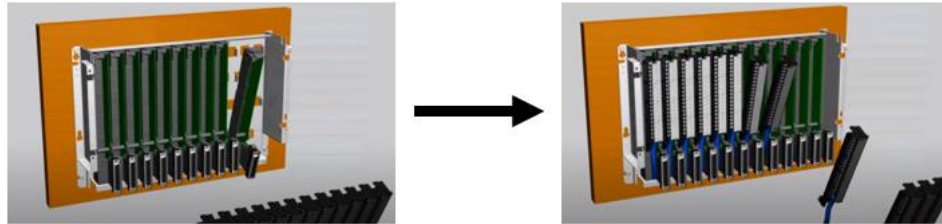


Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix*

<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/capabilities/industrial-maintenance-support/modernization/plc-5-migration.html>

Al concluir la base de conversión donde residirán las nuevas bases para señales, se deberán instalar mecánicamente las bases para los módulos que realizarán la compatibilidad entre la pineta anterior de PLC-5, sin desconectar ninguna señal y el nuevo módulo designado para ControlLogix.

Figura 52. **Montaje de bases de conversión y pinetas de señales de campo**

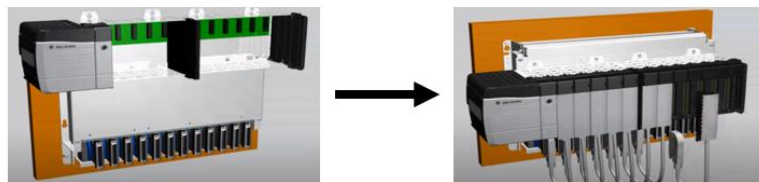


Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix*

<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/capabilities/industrial-maintenance-support/modernization/plc-5-migration.html>.

Se prosigue con el montaje mecánico del nuevo rack para el nuevo procesador y hardware para ControlLogix, seguido de la instalación de los nuevos módulos de señales y realización de conexión entre pinetas de señales de campo y nuevos módulos para ControlLogix.

Figura 53. **Montaje de chasis ControlLogix y conexión de señales de campo**

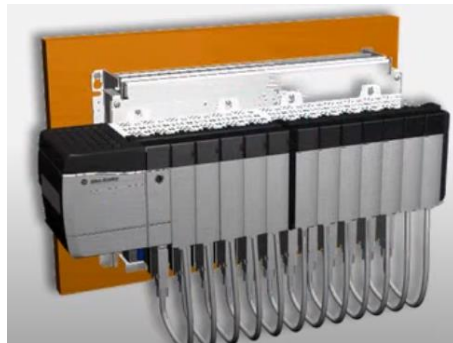


Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix*

<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/capabilities/industrial-maintenance-support/modernization/plc-5-migration.html>.

El resultado final de la primera fase de migración es el cambio del hardware involucrando al rack#1 donde se encuentra el procesador y la primera parte de señales y el cambio de pantalla HMI. Es importante resaltar que se mantiene la comunicación de las redes DeviceNet, DH+ y RIO para poder ser migrados en las siguientes fases sin perder la funcionalidad total de la máquina debido a la criticidad de producción y el corto tiempo de paro para poder realizar la migración.

Figura 54. **Migración fase 1 de chasis principal del sistema**



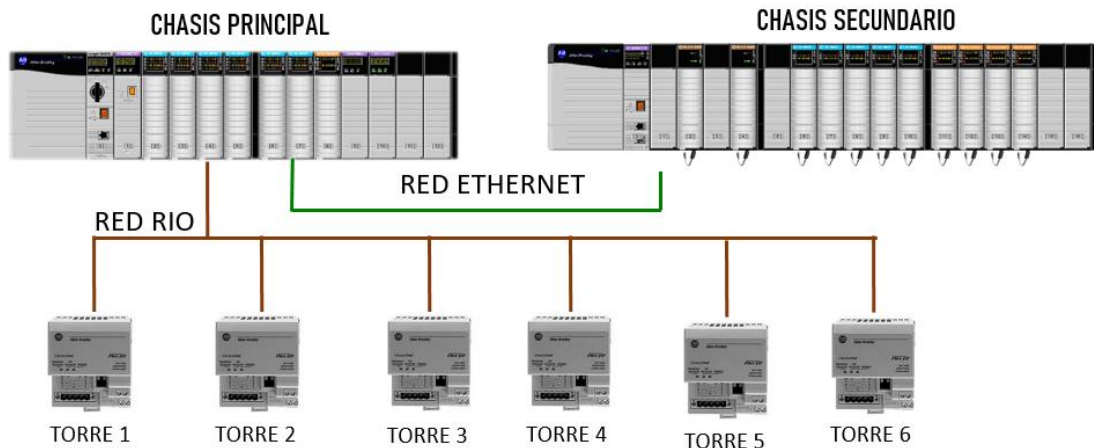
Fuente: Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix*

<https://www.rockwellautomation.com/es-mx/capabilities/industrial-maintenance-support/modernization/plc-5-migration.html>

- Fase 2: Cambio de Rack #2.

Se asigna como fase 2 el cambio del segundo rack de señales, en donde se tiene la comunicación RIO para realizar el traslado de señales contenidas hacia el rack principal donde se encuentra el procesador y la lógica de funcionamiento. Es importante resaltar que se mantendrá el módulo de comunicación DeviceNET para los variadores y el módulo de comunicación RIO para la comunicación de las 6 torres de impresión por periféricas remotas.

Figura 55. **Migración fase 2 de chasis secundario red RIO a Ethernet**

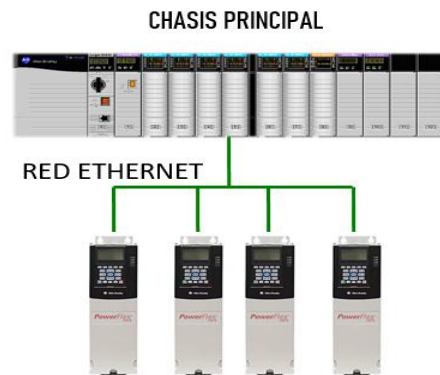


Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

- Fase 3: Integración de variadores.

La tercera parte de migración, se contempla el cambio de red actual de arrancadores por variadores de frecuencia con comunicación DeviceNet hacia red Ethernet. Estos variadores tienen el control de los principales motores y de mayor potencia por el sistema. Para la integración de los variadores, se contempla la adición de una tarjeta Ethernet nueva para reutilizar el mismo *drive*, y con esto lograr reducir el cambio total del equipo hacia una menor instalación por migración de tecnología.

Figura 56. **Migración fase 3 de variadores por DeviceNET hacia Ethernet**

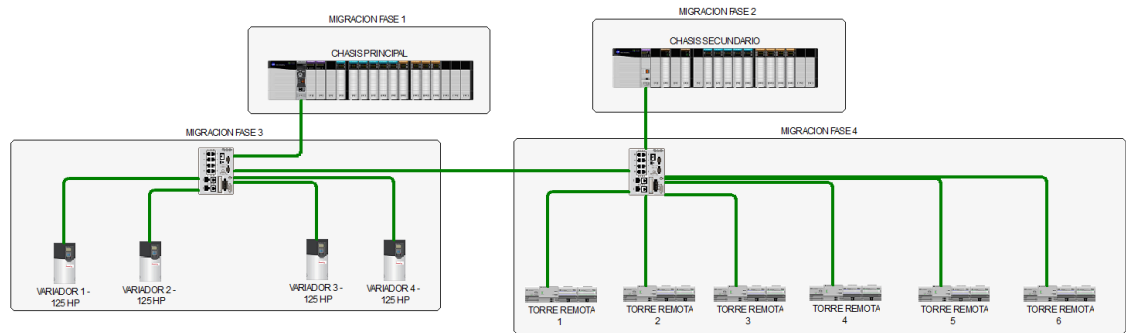


Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

- Fase 4: Integración de 6 periféricas remotas.

La cuarta parte de migración, se programa la ejecución de redireccionamiento de señales a lo largo de las seis torres de impresión. Para ello, se deberá trabajar previamente en realizar un mapeo de señales correspondiente a cada periférica, ya que actualmente se encuentran en red RIO, y de la misma forma en la programación dentro del controlador como una dirección de red RIO. Al realizar el cambio de hardware eliminando la cabecera RIO por la instalación de una nueva cabecera Ethernet, la programación y sus direcciones de señales digitales y/o analógicas deberán de ser cambiadas e integradas al nuevo hardware de operación.

Figura 57. **Migración fase 4 de cabeceras remotas RIO hacia Ethernet**



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

Al realizar la migración de tecnología en fases y con la utilización de la herramienta rápida de instalación, se logran mantener los cableados de campo existente, se minimiza el tiempo de puesta en marcha en servicio y el esfuerzo por mantener la producción siempre como prioridad, se contaba con la posibilidad de volver al sistema de control PLC-5 si fuera necesario como plan de respaldo.

Todo esto converge en que una migración de tecnologías planteada y ejecutada en fases, presenta los beneficios de actualización de hardware en estado Active según base de datos de fabricante que para este caso es Rockwell Automation, para bodega de la planta de producción una mejora de costos en cuanto a repuestos por tener mayor disponibilidad y estandarización, se unifica la comunicación de todo el sistema de control en red Ethernet IP, se cuenta con un sistema de capacidad de brindar soporte remoto en caso de fallas o revisión, posibilidad de crecimiento e integración de un sistema de información, se optimizan los tiempos de arranques de producción y la reducción de merma durante el arranque.

Se tomará como ejemplo económico un listado de precios de los costos asociados para realización de la migración de las cuatro fases, y que son basados en precios generales aproximados según base de datos de *Product Selection Toolbox* y por el software *Integrated Architecture Builder (IAB)* de Rockwell Automation.

Tabla VI. **Listado de materiales chasis principal – FASE 1**

| Cantidad | Cataálogo | Descripción | Costo unitario | Costo total |
|-----------------|-------------------|---|-----------------------|---------------------|
| 001 | 1756-A17 | 1756 Chassis 17 slots | \$ 1 090,00 | \$ 1 090,00 |
| 001 | 1756-PA75 | 85-265V AC Power Supply (5V @ 13 Amp) | \$ 1 390,00 | \$ 1 390,00 |
| 001 | 1492-MUA4-A13-A17 | Mounting Assembly for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System 13 or 17 slot chassis | \$ 417,00 | \$ 417,00 |
| 001 | 1756-L81E | Logix5580E Controller With 3 Mbytes Memory | \$ 6 420,00 | \$ 6 420,00 |
| 002 | 1756-DNB | DeviceNet Bridge/Scanner Module, Series E | \$ 1 540,00 | \$ 3 080,00 |
| 004 | 1756-N2 | Empty Slot Filler for 1756 Chassis | \$ 35,50 | \$ 142,00 |
| 006 | 1756-IB16 | 10-31 VDC Input 16 Pts (20 Pin) | \$ 450,00 | \$ 2 700,00 |
| 006 | 1492-CM1771-LD001 | Conversion Module for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System | \$ 199,00 | \$ 1 194,00 |
| 010 | 1492-CONCAB005X | Conversion Cable for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System 0,5 meters | \$ 257,00 | \$ 2 570,00 |
| 004 | 1756-OA16 | 74-265 VAC Output 16 Pts (20 Pin) | \$ 816,00 | \$ 3 264,00 |
| 004 | 1492-CM1771-LD006 | Conversion Module for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System | \$ 244,00 | \$ 976,00 |
| TOTAL | | | | \$ 23 243,00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Tabla VII. **Listado de materiales chasis secundario – FASE 2**

| Cantidad | Catálogo | Descripción | Costo unitario | Costo total |
|-----------------|-------------------|---|-----------------------|---------------------|
| 001 | 1756-A17 | 1756 Chassis 17 slots | \$ 1 090,00 | \$ 1 090,00 |
| 001 | 1756-PA75 | 85-265V AC Power Supply (5V @ 13 Amp) | \$ 1 390,00 | \$ 1 390,00 |
| 001 | 1492-MUA4-A13-A17 | Mounting Assembly for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System 13 or 17 slot chassis | \$ 417,00 | \$ 417,00 |
| 001 | 1756-EN2TR | EtherNet 10-100M Bridge Module (2-Ports) | \$ 3 570,00 | \$ 3 570,00 |
| 005 | 1756-N2 | Empty Slot Filler for 1756 Chassis | \$ 35,50 | \$ 177,50 |
| 002 | 1756-IF16 | Analog Input - Current/Voltage 16 Pts (36 Pin) | \$ 1 920,00 | \$ 3 840,00 |
| 002 | 1492-CM1771-LA001 | Conversion Module for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System | \$ 222,00 | \$ 444,00 |
| 002 | 1492-CONACAB005B | Conversion Cable for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System 0,5 meters | \$ 330,00 | \$ 660,00 |
| 005 | 1756-IB16 | 10-31 VDC Input 16 Pts (20 Pin) | \$ 450,00 | \$ 2 250,00 |
| 005 | 1492-CM1771-LD001 | Conversion Module for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System | \$ 199,00 | \$ 995,00 |
| 009 | 1492-CONCAB005X | Conversion Cable for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System 0,5 meters | \$ 257,00 | \$ 2 313,00 |
| 004 | 1756-OA16 | 74-265 VAC Output 16 Pts (20 Pin) | \$ 816,00 | \$ 3 264,00 |
| 004 | 1492-CM1771-LD006 | Conversion Module for 1771 to 1756 I/O Field Wiring Conversion System | \$ 244,00 | \$ 976,00 |
| TOTAL | | | | \$ 21 386,50 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Tabla VIII. **Listado de materiales chasis secundario – FASE 3**

| Cantidad | Catálogo | Descripción | Costo unitario | Costo total |
|-----------------|---------------------|---|-----------------------|---------------------|
| 001 | 20G1AND-156JNONNNNN | PowerFlex 755 AC Drive, with Embedded Ethernet/IP, Air Cooled, AC Input with Precharge, no DC Terminals, Open Type, 156 Amps, 125HP ND, 100HP HD, 480 VAC, 3 PH, Frame 6, Filtered, CM Jumper Installed, None, Blank (No HIM) | \$ 15 361,20 | \$ 15 361,20 |
| 001 | 20G1AND-156JNONNNNN | PowerFlex 755 AC Drive, with Embedded Ethernet/IP, Air Cooled, AC Input with Precharge, no DC Terminals, Open Type, 156 Amps, 125HP ND, 100HP HD, 480 VAC, 3 PH, Frame 6, Filtered, CM Jumper Installed, None, Blank (No HIM) | \$ 15 361,20 | \$ 15 361,20 |
| 001 | 20G1AND-156JNONNNNN | PowerFlex 755 AC Drive, with Embedded Ethernet/IP, Air Cooled, AC Input with Precharge, no DC Terminals, Open Type, 156 Amps, 125HP ND, 100HP HD, 480 VAC, 3 PH, Frame 6, Filtered, CM Jumper Installed, None, Blank (No HIM) | \$ 15 361,20 | \$ 15 361,20 |
| 001 | 20G1AND-156JNONNNNN | PowerFlex 755 AC Drive, with Embedded Ethernet/IP, Air Cooled, AC Input with Precharge, no DC Terminals, Open Type, 156 Amps, 125HP ND, 100HP HD, 480 VAC, 3 PH, Frame 6, Filtered, CM Jumper Installed, None, Blank (No HIM) | \$ 15 361,20 | \$ 15 361,20 |
| TOTAL | | | | \$ 61 444,80 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Tabla IX. **Listado de materiales integración periféricas remotas – FASE 4**

| Cantidad | Catálogo | Descripción | Costo unitario | Costo total |
|-----------------|-----------------|--|-----------------------|---------------------|
| 006 | 1794-PS3 | 85-264 VAC To 24 VDC 3A Power Supply | \$ 420,00 | \$ 2 520,00 |
| 006 | 1794-AENTR | FLEX I/O Dual Port EtherNet/IP Adapter Module | \$ 918,00 | \$ 5 508,00 |
| 006 | 1794-IB32 | 24V DC Sink Input Module, 32 Point | \$ 617,00 | \$ 3 702,00 |
| 012 | 1794-TB32 | 32-channel screw terminal base (32 I/O; 8 common; 8 +V) | \$ 248,00 | \$ 2 976,00 |
| 006 | 1794-OB32P | 24V DC Source Output Module, 32 Point Protected | \$ 698,00 | \$ 4 188,00 |
| | | | TOTAL | \$ 18 894,00 |

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365.

Los costos de inversión para este proyecto de migración para las cuatro fases suman un total de USD \$ 124 968,30, en donde se tiene información que la empresa al implementar su plan de migración de sistema de control distribuido obtiene una utilidad aproximada de USD \$ 275 000,00 debido a los resultados de producción continua y reducción de costos de producción. El retorno de inversión arroja un 120,53 % dando a conocer la parte económica como el gran beneficio en la reducción del alto riesgo y alto costo por ocupar hardware y/o software como herramientas del proceso de producción en la máquina rotativa. El tiempo que dura la ejecución y finalización del proyecto es de 671 días, de los cuales generan una utilidad de USD \$ 150 031,70, con una rentabilidad anualizada de 53,57 %, para luego dar un total de 1,8 años para la recuperación del 120 53 % del valor invertido.

4.2.4. Finalización y puesta en marcha

Para la migración de la máquina rotativa, en donde se divide en cuatro fases el proyecto, la puesta en marcha es implementada en cada fase. Esto conlleva a

realizar paros programados con alcances específicos en donde cada fase se ejecutó según la estrategia planteada y de la misma forma su puesta en marcha fue dividida en cuatro partes. La primera puesta en marcha se considera como la más importante, debido a que se tiene contemplado el cambio del procesador, que es el encargado de realizar toda la lógica de funcionamiento de la máquina. Es por ello por lo que se contempla la mejor opción de tecnología y realizar la migración con la tecnología menos invasiva posible para la puesta en marcha de la fase uno, y que producción limita la ventana de tiempo disponible para programar el paro de la línea.

La puesta en marcha de la fase dos, se centra en un paro programado de menor tiempo que la fase uno, debido a que las señales que fueron migradas para el segundo rack de control se fueron acondicionando previamente para obtener un resultado positivo al momento de redireccionar la red de comunicación con la cual estaba siendo implementada para trasladar las señales de campo involucradas hacia el procesador central. La puesta en marcha de la fase involucra los variadores de frecuencia para los principales motores de la máquina, para su ejecución se contempla un paro programado similar al de la fase dos, debido a que el objetivo a realizarse en esta fase es integrar una tarjeta de comunicación, manteniendo todos los parámetros programados y configurados dentro del *drive* e integrando los equipos hacia una red Ethernet como se ejecutó en la fase dos.

La cuarta fase de migración, al ser una menor cantidad de señales las cuales se maneja para cada periferia y al ser compatibles los módulos de señales para las seis estaciones, como ventaja se ejecuta únicamente el cambio de la cabecera de la periferia remota, manteniendo los módulos de señales por ser una migración de la misma familia y marca del fabricante. La puesta en marcha de la última fase del proyecto de mejora por migración de tecnología es mucho menor

a los paros programados de las demás fases, ya que se ejecuta la unificación de todas las redes en un mismo protocolo de Ethernet en el sistema de control.

La finalización de la migración de tecnología para la máquina rotativa, se lleva por completo todas las tareas programadas durante la realización de migración, y el seguimiento de los objetivos establecidos en el inicio. La aceptación y cierre del proyecto para la migración de la máquina rotativa, se dará al presentar toda la documentación que deberá incluir:

- La actualización de los diagramas eléctricos con las modificaciones realizadas.
- La creación y entrega del manual de usuario para la operación de la nueva interfaz HMI.
- La arquitectura final del sistema de control conteniendo todas las direcciones implementadas.
- Suministro y entrega del respaldo de programación PLC que reside como la última versión de cambios y con funcionamiento aprobado.
- Suministro y entrega del respaldo de aplicación HMI que reside como la última versión de cambios y con funcionamiento aprobado.
- Evidencia de la ejecución y pruebas de funcionamiento presenciadas por los encargados de la máquina.
- Capacitación técnica para temas de diagnósticos, resolución y soporte por parte del personal interno de mantenimiento / operación.

CONCLUSIONES

1. La migración de tecnologías en sistemas de automatización industrial presentan ventajas competitivas para la reducción de tiempos de trabajo, reducción de pérdidas y aumento de procesos más efectivos, es importante la actualización de tecnologías, para poder actuar y mejorar los factores que puedan ayudar a la reducción de paros no programados por la falla en equipos obsoletos, empezando en el análisis de todos los equipos involucrados al sistema de control, que componen uno o varios procesos dentro de la planta industrial.
2. En un proceso industrial se requiere la anticipación de obsolescencia de los equipos y sistemas de información que están siendo utilizados para la producción e ingresos de la planta, en los cuales, en su mayoría, no se contemplan sus actualizaciones debido al largo tiempo de funcionamiento, sin embargo, esto puede generar un punto crítico ya que el fabricante de tecnología, que se tiene instalado en las distintas máquinas, puede estar anunciando la discontinuación del producto debido a que existen reemplazos con mejoras tecnológicas, con el fin de unificar y facilitar la comunicación entre uno o varios sistemas que puedan aportar información esencial para los indicadores de rendimiento de la planta industrial.
3. En los procesos automatizados en donde se identifiquen puntos de mejora por medio de migración de tecnología se podrán aplicar las puestas en marcha de manera seccionada, esto a manera de considerar desde su inicio del proyecto de migración, cualquier escenario posible que pueda ocurrir, y de esta manera mitigar el riesgo de que se genere un evento que

pueda retrasar o inclusive impedir la migración, por lo tanto, es de gran importancia elaborar la estrategia adecuada para cada caso de migración en conjunto con el plan de producción, manteniendo un plan de respaldo a manera de mitigar los riesgos y pérdidas asociadas a la migración.

4. Para un sistema de control que se requiera reemplazar, generalmente viene dado por temas de obsolescencia y/o ampliación, a pesar de contar con herramientas poderosas y un control parcial manual, al migrar hacia un sistema nuevo, se contará con componentes robustos, de alta disponibilidad y de arquitectura modular, con capacidad de redes de comunicación estándar y abiertas con autonomía remota e información local, debido a los grandes avances de la tecnología en cuanto a la automatización industrial.
5. Al migrar hacia una nueva tecnología con capacidad de comunicación y extracción de datos para su análisis, se podrá ordenar a manera de que la información pueda ser capturada en tiempo real y aportar a la toma de decisiones, con las herramientas de los sistemas de información modernos, se podrán localizar y corregir fuentes de ineficiencias rápidamente, ayudando a administrar la consistencia de fabricación, uso de servicios, calidad del producto y otros factores para las líneas de producción dentro de la planta industrial.
6. La parte financiera del proyecto de migración, como importante aspecto a su evaluación, se estima en un tiempo de 1,8 años para su retorno de inversión al finalizar las fases de migración.

RECOMENDACIONES

1. Capacitar y actualizar constantemente sobre el tema de modernización y migración de sistemas de automatización industrial, y así conocer el impacto negativo que se tiene en las plantas de producción industrial, debido a que un paro no programado, que a su vez es ocasionado por la obsolescencia y desgaste de componentes con mucho tiempo de funcionamiento, y que se pueden mitigar o eliminar, si se toman en cuenta los proyectos de migraciones para los sistemas de automatización industrial.
2. Determinar el proyecto de migración a detalle y contemplar las ventanas de paros de producción asignados, para adecuar las fases de migración según se analicen los objetivos de migración, para evitar la extensión del tiempo de puesta en marcha, ya que se estarán generando notables pérdidas al existir factores que puedan afectar la modernización del sistema de control.
3. Migrar hacia un sistema de control moderno obtiene ventajas sobre la empresa que lo implementa, ya que se podrá integrar una planta, hasta llegar a abarcar todas las plantas de una corporación, la toma de datos en tiempo real, almacenamiento de información por años de manera confiable y directamente de las máquinas, reducción de costos de operación con los registros de tiempos muertos o ineficiencias de operación, el procesamiento de todos los datos para un rápido análisis, ya que todo lo que se puede medir, se puede mejorar, y para ello se debe de controlar.

4. Reconocer las áreas de ingeniería de mantenimiento, producción, proyectos, calidad, informática y gerencia de una planta industrial y sus beneficios de un mantenimiento predictivo por fallas recurrentes, la optimización de tiempo de operación, la planificación de producción con reducción de merma de servicios utilizados, el acceso a datos, control y monitoreo desde cualquier ubicación de la corporación, la trazabilidad del producto desde su generación hasta su despacho, y diagnósticos por medio de soporte interno de la empresa para el rápido accionamiento y reflejo de resultados positivos en los niveles de las plantas industriales.

5. Implementar las migraciones de tecnología en sistemas de automatización industrial, a manera de obtener sistemas con arquitectura integrada que permiten realizar redes industriales unificadas en topología anillo, monitorear instrumentación de campo, integrar hardware con facilidad de uso, flexibilidad y alto rendimiento, seguridad de los sistemas instalados con aprobaciones y certificaciones según exigencias del proceso, y en general, satisfacer las demandas de múltiples partes interesadas para el avance de la industria con reciente tecnología para los sistemas de control.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acotron. *Convertidor de Frecuencia CFW300 V1.3X*. [en línea]. <https://www.acotron.com/download/31726281cb15bb844f9c1e9ffe780dd9_WEG-cfw300-manual-de-programacion-.pdf>. [Consulta: 15 de enero de 2019].
2. Allen Bradley. *Operadores redondos de 22 mm 800F*. [en línea]. <<https://www.rockwellautomation.com/es-ar/products/hardware/allen-bradley/push-buttons-and-signaling-devices/22-mm-operators--iec/800f-round-push-buttons.html>>. [Consulta: 15 de enero de 2019].
3. Blogspot. *Automatización industrial*. [en línea]. <<http://industrial-automatica.blogspot.com/2011/05/elementos-de-un-circuito-hidraulico.html>>. [Consulta: 2 de febrero de 2019].
4. GUTIÉRREZ SUQUILLO, Nelson Ramiro. *Migración de una red PLC's con protocolo Modbus a una red con plataforma ethernet*. Ingeniería en Sistemas, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Escuela Politécnica Nacional, 2010. 98 p.
5. MARTÍNEZ ROMERO, David. *Antología de la asignatura de instrumentación*. [en línea]. <http://www.tese.edu.mx/documentos2004/5275_ZFKLJYL.pdf>. [Consulta: 10 de enero de 2020].

6. Phoenix Contact. *Interconexión con WLAN y Bluetooth*. [en línea]. <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wc m:path:/eses/web/main/solutions/subcategory_pages/Remote_control_remote_maintenance_networking_with_wlan_and_bluetooth/c96d02fd-1ce8-4056-918f-ad4bc96f9a02>. [Consulta: 17 de marzo de 2019].
7. Prosoft Technology. *PLX51-PBM PROFIBUS DPV0/DPV1 Master or Slave to EtherNet/IP™ or Modbus® Gateway*. [en línea]. <https://www.prosoft-technology.com/prosoft/download/13492/295876/version/8/file/PLX51_PBM_UM.pdf>. [Consulta: 22 de abril de 2019].
8. Rockwell Automation. *Perfil de migración Controladores PLC-5 y E/S 1771 a ControlLogix*. [en línea]. <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/migrat-pp003_-es-e.pdf>. [Consulta: 24 abril de 2019].
9. Rockwell Automation. *Product Lifecycle Status*. [en línea]. <<https://www.rockwellautomation.com/global/support/product-compatibility-migration/lifecycle-status/overview.page>>. [Consulta: 3 de mayo de 2019].
10. Rockwell Automation. *Stratix 2000 Industrial Unmanaged Switches*. [en línea]. <<https://studylib.net/doc/25291836/stratix-2000-industrial-unmanaged-switches>>. [Consulta: 5 de mayo de 2019].
11. RÖGNITZ, Hans. *Herramientas para el trabajo de materiales con arranque de viruta*. Barcelona: Labor, 1996. 360 p.

12. Siemens. *Industrial Remote Communication Simatic NET IK-PI*. [en línea]. <<https://manualzz.com/doc/12611429/siemens-simatic-net-industrial-ethernet-brochure>>. [Consulta: 28 de mayo de 2019].
13. SOBREVILLA GONZÁLEZ, Marco. *Estandarización con autómatas programables*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/alexoluthor/plcs-14035728>>. [Consulta: 22 marzo de 2018].
14. Universidad de Cantabria. *Cinemática y Dinámica de Máquinas*. [en línea]. <<https://ocw.unican.es/course/view.php?id=202>>. [Consulta: 13 de febrero de 2018].

