



Tzompantepec, Tlaxcala, **23/octubre/2025**

Oficio No. MM-665/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	LUIS ENRIQUE HERNÁNDEZ CUATECONTZI
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370712
Nombre del Proyecto:	"PROGRAMACIÓN DE CÁMARAS PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN ENSAMBLES USANDO SISTEMAS KEYENCE".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
DEPARTAMENTO DE METAL MECÁNICA
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA

MTRO. EFREN SANCHEZ FLORES
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2025
Año de
La Mujer
Indígena





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 14/Noviembre/2025

LUIS ENRIQUE HERNÁNDEZ CUATECONTZI
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370712.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: "**PROGRAMACIÓN DE CÁMARAS PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN ENSAMBLE USANDO SISTEMAS KEYENCE**", conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

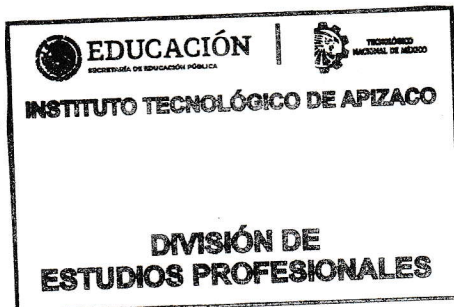
Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CÉCILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco

DEPARTAMENTO DE METAL MECÁNICA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Reporte de proyecto de residencia profesional

Título del proyecto:

“Programación de cámaras para detección de fallas en ensambles usando sistemas Keyence”

Presenta:

Hernández Cuatecontzi Luis Enrique

Número de control:

20370712

Empresa:

Schneider Electric

Periodo de realización:

24 de febrero a 24 de julio de 2025

Agradecimientos.

A mi madre, mi padre y mi hermano, que fueron y son la base de mi vida.

A toda mi familia, que me ha apoyado desde siempre.

A mis amigos, que me acompañaron desde la preparatoria.

A mis docentes, ingenieros e ingenieras, que me compartieron amablemente sus conocimientos.

Contenido

Introducción.....	5
1. Generalidades del proyecto.....	6
1.1 Descripción de la empresa y del puesto de trabajo.....	6
1.2 Problemas para resolver.....	8
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Justificación.....	10
2. Marco teórico.....	12
2.1 Manufactura.....	12
2.2 Sistema de visión IV4 de Keyence.....	13
2.3 Análisis Modal de Fallos y Efectos del Proceso.....	16
2.4 Numero de Prioridad de Riesgo.....	16
2.5 Metodología Poka Yoke.....	17
2.6 Controlador Lógico Programable.....	18
2.7 Modicon M340.....	20
2.8 Software EcoStruxture Control Expert.....	21
2.9 Human Machine Interface.....	22
2.10 Job Breakdown Sheet (<i>JBS</i>).....	24
2.11 Gabinetes eléctricos.....	24
3. Metodología.....	26
Fase 1. Planeación y recepción de líneas.....	28
1.1 Propuesta de modelo de cámara para sistema de visión.....	28
1.2 Recepción de líneas y acomodo conforme a Layout.....	30
1.3 Asignación de CTQs y CTPs en PFMA.....	33
Fase 2. Adaptación de elementos de estaciones.....	34
2.1 Fabricación de aditamentos conforme a proceso.....	34
2.2 Programación de atornilladores (forma secuencial y definición de torque y punta).....	35
2.3 Adaptación de <i>JBS</i> por estación de acuerdo con estándar de planta Tlaxcala 2.....	40
Fase 3. Programación de sistemas de visión.....	43
3.1. Instalación del sistema.....	44
3.2. Elaboración de ensamble de muestra para la base de datos.....	49
3.3 Programación de la imagen maestra.....	51
3.4 Programación de las imágenes con modos de falla.....	53
Fase 4. Debuggin de línea e instalación de controles para evitar errores.....	54

4.1. Debuggin de sistema de visión.	54
4.2 Instalación de controles adicionales.	57
4. Resultados.	58
4.1. Documentación.	59
4.2. Disposición de las estaciones.....	61
4.3. Mejoras de proceso.....	62
4.4. Matriz de torques para programación de atornilladores.	66
4.5 Programación de sistemas de visión.....	68
Conclusión.	70
Competencias desarrolladas	71
Referencias.	72

Introducción.

En la actualidad las industrias buscan implementar tecnología que les permita tener procesos mas eficientes, seguros y confiables para la producción en masa. Entre estos procesos se encuentran procesos de ensamble y procesos de inspección de calidad.

La implementación de tecnologías de inspección de calidad en las empresas representa un elemento clave para garantizar productos confiables y competitivos en el mercado.

Estas soluciones, que pueden incluir sistemas de visión, sensores inteligentes y herramientas de medición automatizada, permiten detectar de manera temprana defectos o desviaciones en los procesos productivos. Al integrar estos sistemas en la línea de producción, las organizaciones optimizan el control de calidad, reducen desperdicios, mejoran la eficiencia operativa y fortalecen la satisfacción del cliente, contribuyendo así al cumplimiento de estándares internacionales.

En este sentido, el uso de Inteligencia Artificial como herramienta en las industrias ha tomado relevancia en los últimos años, pues se trata de una alternativa mucho mas eficiente para sustituir procesos anticuados y poco flexibles. Esta herramienta beneficia en gran medida a los procesos de inspección, al convertirlos en procesos flexibles, eficientes y aptos para la mejora continua, por lo que su implementación en las líneas de producción representa una buena inversión tanto para costos como para tiempos.

Una forma sencilla de implementar Inteligencia Artificial en una línea de producción es mediante el uso de sistemas de inspección con cámara de visión programable. Estos sistemas cuentan con características que los hace flexibles para diversas aplicaciones y permite su implementación mediante sistemas de automatización populares en las industrias, como lo es el PLC.

En este proyecto se desarrollará el análisis, implementación y programación de un sistema de visión para detección de fallas en ensambles mediante Inteligencia Artificial. Este sistema se implementará para la renovación de líneas de producción de gabinetes eléctricos de la compañía Schneider Electric.

La implementación del sistema representará diversos beneficios para la empresa, entre ellos está uno de los objetivos principales que es el alcanzar los cero defectos en producto final, así como el de ser una compañía líder en confiabilidad y seguridad.

1. Generalidades del proyecto.

1.1 Descripción de la empresa y del puesto de trabajo.

Schneider Electric es una empresa multinacional francesa especializada en gestión de la energía y automatización industrial. Su sede principal está en Rueil-Malmaison, Francia, y tiene presencia en más de 100 países. La compañía es ampliamente reconocida por su enfoque en la innovación tecnológica, eficiencia energética y sostenibilidad.

La empresa fue fundada en 1836, inicialmente como una empresa metalúrgica y de maquinaria pesada. Durante el siglo XIX, cuando la empresa era conocida como Schneider & Cie, esta comenzó a innovar en procesos de fabricación de hierro utilizando maquinas alimentadas por carbón y vapor.

A lo largo del tiempo, Schneider Electric ha evolucionado mediante adquisiciones estratégicas, como la compra de Square D, Merlin Gerin, APC, y otras, para fortalecer su posición en el sector eléctrico y de automatización.

Desde la década de los 90, ha enfocado su estrategia en la transformación digital de la energía y la automatización. El crecimiento exponencial de Internet y la Industria 4.0 posicionan a Schneider Electric como el líder en la transformación digital de la administración y automatización energética, con tecnología de Ecostruxure que brinda innovación en todos los niveles.

Hoy en día, Schneider Electric ofrece soluciones en gestión de energía eléctrica, automatización, eficiencia energética, sostenibilidad y soluciones digitales.

La empresa ha sido reconocida a nivel global por su liderazgo en cuanto a sostenibilidad y responsabilidad social. Entre los objetivos generales de la empresa se encuentran la transición energética hacia un mundo más sustentable y el ser líder en innovación tecnológica, enfocándose en soluciones sostenibles y resilientes.

En Tlaxcala En Tlaxcala, la empresa cuenta dos plantas de producción, la primera ubicada en el municipio de Acuamanala se construyó originalmente en 1980, mientras que la segunda en el municipio de Tetla de la Solidaridad se construyó en 2023 e inicio operaciones a principios de 2024.

Se observa la fachada de la planta Tlaxcala 1 en la siguiente imagen 1 y la de la planta Tlaxcala 2 en la imagen 2.



Imagen 1. Planta Tlaxcala 1, ubicada en el municipio de Acuamanala, Tlaxcala.



Imagen 2. Planta Tlaxcala 2, ubicada en Ciudad Industrial Xicohtencatl I, Tetla de la solidaridad, Tlaxcala.

La empresa se organiza en diferentes áreas que colaboran para la producción continua de productos, entre ellas se encuentran mantenimiento, almacén, seguridad, calidad, producción y manufactura.

El área de manufactura se encarga de optimizar el proceso que se realiza para ensamblar productos, además de la mejora continua, aprovechamiento de las herramientas y recursos materiales, optimización del tiempo de producción y documentación en general del proceso. Este proyecto se desarrolla dentro del área de manufactura.

Este proyecto se desarrolla dentro del área de manufactura, participando principalmente en la implementación y programación de sistemas de visión con Inteligencia Artificial para la detección de fallas en ensambles.

1.2 Problemas para resolver.

La empresa Schneider Electric se caracteriza por la alta calidad en todos sus productos, esto gracias a los métodos de ensamble que se manejan y a la mejora continua que se ha aplicado a lo largo de los años.

La planta de Schneider Electric Tlaxcala 1, ubicada en el municipio de Acuamanala, Tlaxcala, contaba con 5 líneas de ensambles de gabinetes eléctricos elaborados para diferentes aplicaciones, desde industriales hasta residenciales. Estas líneas se implementaron hace más de 20 años y muchos de sus procesos no han sido renovados.

Debido a la demanda de nuevos proyectos, se requiere disponer del espacio que utilizan dichas líneas de ensamble para implementar nuevos proyectos, además de mantener la producción continua y estable, por lo es necesario mover dichas líneas a la planta Tlaxcala 2 en un periodo no mayor a 2 meses.

Es por esto por lo que se requiere la reimplementación de dichas líneas de producción en planta Tlaxcala 2, aplicando mejoras con nuevas tecnologías que ayuden a él robustecimiento de las líneas, mejorando los procesos de ensamble, calidad y seguridad.

Con respecto a la disposición de las estaciones de ensamble de cada una de las líneas, se tiene como objetivo la mejora de este en temas de eficiencia del flujo, seguridad en las operaciones, disposición de materia prima y estandarización de procesos.

En el caso de la seguridad, se identifican áreas de oportunidad donde se pueda realizar la implementación de instrumentos como cortinas de seguridad, guardas, sensores y secuencias que permitan la mejora en la prevención de accidentes. En la imagen 3 se observa una de las líneas en planta Tlaxcala 1 que se van a re implementar en la planta Tlaxcala 2



Imagen 3. Línea de ensamble de gabinetes “Power Products” utilizadas en planta Tlaxcala 1.

En lo que respecta al aseguramiento de la calidad en los ensambles, se busca implementar una mejora en los procesos de inspección mediante sistemas *Poka Yoke*, pues estos pueden impactar tanto al producto final como al proceso de ensamble.

Para garantizar la calidad de un producto se requiere un proceso sencillo, confiable y eficaz que sea capaz de impedir que productos no conformes con los estándares de calidad lleguen al cliente. De este modo, la tecnología de inspección de imágenes por Inteligencia Artificial es una gran opción para tener en cuenta para la implementación de sistemas *Poka Yoke*.

El sistema *Poka Yoke* que se implemente debe ser capaz de realizar la inspección de múltiples componentes, así como registrar diferentes modos de falla que aplican por modelo. De este modo, el sistema que se implemente será mucho más eficiente y confiable que los sistemas con los que se ha estado operando.

Otro aspecto por resolver con respecto al aseguramiento de la calidad es el tema de aditamentos (fixtures), pues al igual que los sistemas *Poka Yoke*, estos deben ser eficientes, seguros y además deben aportar al trabajo del operador, facilitándole el ensamble de componentes específicos y agilizando los tiempos de ensamble.

Por otro lado, se debe realizar la documentación de los procesos de ensamble con el objetivo de tener un estándar que pueda ser fácilmente interpretado por los operadores de producción, optimizando de esta manera diversos aspectos del proceso, como lo son la eficiencia y la disminución de retrabajos. Esta documentación es deficiente o inexistente para varios procesos, por lo que la documentación que se realizará debe cumplir los estándares utilizados en planta Tlaxcala 2.

1.3 Objetivos.

Objetivo general.

Implementar sistemas de visión con Inteligencia Artificial capaces de detectar eficiente y oportunamente tipos de falla que pueden presentarse en ensambles de gabinetes eléctricos realizados en líneas de producción.

Objetivos específicos.

- Gestionar la instalación de las líneas conforme a plano de la disposición de estaciones.
- Gestionar los torques que se requieren en cada línea de producción, documentándolos en una matriz por cada línea.
- Realizar la asignación de puntos críticos de Calidad que serán revisados por los sistemas de visión, los sistemas *Poka Yoke* y por los aditamentos de proceso.
- Realizar el ensamble de piezas de muestra que permitan la verificación del correcto funcionamiento de los *Poka Yoke* (incluyendo la cámara de visión).
- Realizar la programación de los sistemas de visión con los distintos modos de falla presentes en ensambles de acuerdo con PFMA.
- Realizar pruebas de calibración de las cámaras en conjunto con el resto del sistema *Poka Yoke*.
- Documentar todo el proceso de ensamble en formatos de instrucciones estandarizadas que ayuden a validar que este siempre se realice bajo el mismo estándar.

1.4 Justificación.

Uno de los objetivos más importantes para las empresas con presencia internacional, como lo es Schneider Electric, es garantizar que todos sus productos cumplan con los estándares de calidad más altos y exigentes por el mercado al que van dirigidos. En específico para los gabinetes eléctricos, se busca que estos sean confiables, duraderos y que cumplan con las normativas de calidad que corresponden por modelo.

La implementación de dispositivos *Poka Yoke* en las líneas de ensamble es fundamental para asegurar la calidad del producto final y aumentar la eficiencia del proceso productivo. Estos mecanismos de prevención de errores están diseñados para evitar fallas humanas comunes durante el ensamble, como montajes incorrectos, omisión de piezas o conexiones defectuosas, que pueden comprometer el funcionamiento del producto y generar reprocesos, desperdicio de materiales o reclamaciones del cliente.

En los procesos de manufactura donde se manejan grandes volúmenes de producción bajo estándares de calidad internacionales, como ocurre en Schneider Electric, el uso de sistemas de visión “*Poka Yokes*” permite detectar y retrabajar ensambles defectuosos de forma eficiente, sin depender exclusivamente de la detección por el ojo humano. Esto se traduce en una reducción significativa de defectos, mayor seguridad para el operario y optimización del tiempo de producción.

Además, al integrar estos dispositivos con otros sistemas de control como controladores lógicos programables, se fortalece la trazabilidad del proceso y se facilita la implementación de metodologías de mejora continua. Por tanto, su uso no solo mejora la calidad, sino que también impulsa la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

En los procesos de ensamble de gabinetes eléctricos, la precisión en la correcta disposición de los componentes son factores críticos para garantizar la fabricación de un producto de calidad, por lo cual existen una serie de puntos críticos de calidad que deben ser atendidos de manera oportuna. La incorporación de dispositivos *Poka Yoke* en esta etapa del proceso productivo permite cotejar dichos puntos críticos y prevenir errores humanos frecuentes, como pueden ser la colocación incorrecta de aisladores, el montaje invertido de componentes, el uso de piezas equivocadas o la mala realización de conexiones esenciales. La imagen 4 muestra el funcionamiento básico de un *Poka Yoke*. Este detecta los ensambles que presentan defectos y evita que sigan avanzando en el proceso.

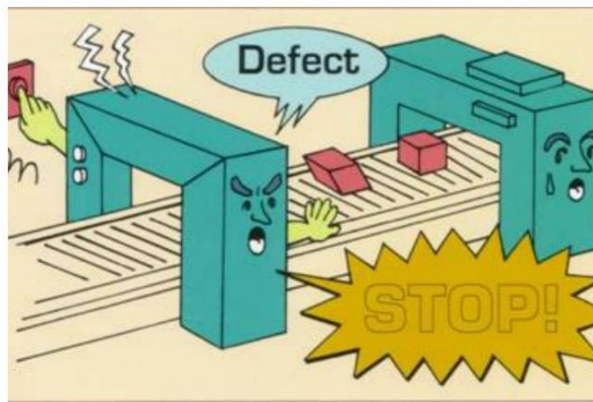


Imagen 4. Un Poka Yoke en la industria tiene la función de detener el ensamble que no cumple con las especificaciones y alertar de su presencia. (fuente)

Dado que los gabinetes eléctricos son utilizados para energizar y proteger equipos de control, distribución y automatización, muchos errores en su ensamblaje pueden derivar en:

- Fallas eléctricas en su instalación.
- Sobrecalentamientos.
- Corto circuito
- Riesgos de seguridad para los usuarios.

En este contexto, los *Poka Yokes* actúan como mecanismos de prevención o alerta inmediata, permitiendo que el operario identifique y corrija un error antes de que el ensamble avance en el proceso.

La aplicación de estos dispositivos también permite la estandarización del proceso y reduce los tiempos de inspección. Asimismo, al integrarse con sistemas de monitoreo y registro que hagan uso de *PLC*, se facilita la supervisión en tiempo real y se puede hacer análisis posteriores de los datos con fines de optimización.

En resumen, la implementación de un sistema de visión con Inteligencia Artificial *Poka Yokes* en el ensamble de gabinetes eléctricos no solo fortalece la calidad del producto, sino que también optimiza los recursos, reduce costos por retrabajo y contribuye a la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa en el mercado.

2. Marco teórico.

Para la implementación de este proyecto se contemplan una serie de aspectos tanto teóricos como técnicos que fundamentan las bases para su correcto desarrollo. Estos conceptos se describen a continuación.

2.1 Manufactura.

Durante este proyecto se trabajará por parte del departamento de manufactura en la empresa. La manufactura es el proceso de transformar materias primas en productos terminados, generalmente a través del uso de herramientas, maquinaria, trabajo humano y procedimientos organizados (Alvarez, 2025). En una industria es fundamental el área de manufactura, pues es la que se encarga del diseño del proceso para producir los diversos productos que se ofrecen a los clientes.

Algunos de los tipos de manufactura son:

- Manual: Hecha a mano, con poca o ninguna maquinaria.
- Mecanizada: Usa maquinaria básica, pero aún depende bastante del trabajo humano.
- Automatizada: Usa sistemas automáticos (robots, líneas de montaje automáticas).
- Avanzada: Incluye tecnologías como inteligencia artificial, IoT, impresión 3D, etc.

El objetivo principal de la manufactura es agregar valor a la materia prima convirtiéndola en bienes de consumo o productos que pueden ser utilizados para satisfacer algún tipo de necesidad. Por su parte, las industrias suelen contar con un área de manufactura, la cual es la encargada entre otras actividades de:

- Procesamiento de materias primas: Convertir materiales básicos en componentes o productos finales mediante procesos físicos, químicos o mecánicos.
- Montaje y ensamblaje: Unir diferentes partes o componentes para formar productos completos.
- Control de calidad: Asegurar que los productos cumplan con las especificaciones y estándares establecidos, realizando inspecciones y pruebas durante y al final del proceso.
- Optimización de procesos: Mejorar continuamente los métodos de producción para aumentar la eficiencia, reducir costos y minimizar desperdicios.
- Gestión de inventarios: Controlar el flujo de insumos, productos en proceso y productos terminados para garantizar la disponibilidad y evitar interrupciones en la producción.
- Empaque y embalaje: Preparar los productos para su almacenamiento y distribución, asegurando su protección y presentación adecuada.

El proceso de transformación de la materia prima requiere de procesos especializados en la mayoría de las ocasiones, pues se necesita maquinaria adecuada, herramientas, procesos químicos y mano de obra calificada.

2.2 Sistema de visión IV4 de Keyence.

El sistema de visión que se implementó durante el desarrollo de este proyecto es el de la marca Keyence, serie IV4. Este es un sistema integrado que combina hardware especializado y algoritmos de IA para inspección industrial. Su diseño "todo en uno" incluye cámara, lente e iluminación, eliminando la necesidad de componentes externos. Opera mediante aprendizaje automático supervisado, donde el usuario registra imágenes de referencia OK/NG para entrenar el modelo de detección (Keyence México S.A. de C.V., 2025).

Arquitectura técnica

- Sensor de imágenes:
 - Tipo: CMOS a color de 1/2.9 pulgadas (modelo IV4-500CA).
 - Resolución: 1.2 MP (1280×960 píxeles).
 - Rango de exposición: 12 μ s a 10 ms, ajustado automáticamente por IA.
- Iluminación integrada:
 - Tipo: LED blanco con modos pulsado/continuo.
 - Control inteligente: IA regula intensidad y método de flash según condiciones ambientales.

- **Procesamiento:**
 - Herramientas de análisis: 65 herramientas incluyendo detección de contornos, áreas de color y clasificación.
 - Modos operativos: Estándar (para inspección básica) y Clasificación (para diferenciación de productos).

Algoritmos de IA

- **Configuración automática:**
 - Optimización de imágenes: IA ajusta exposición, iluminación y enfoque para evitar sobreexposición o subexposición.
 - Detección adaptativa: Analiza patrones en imágenes OK/NG para definir umbrales de aceptación, considerando variaciones de color, textura y forma.
- **Funciones avanzadas:**
 - HDR integrado: Compensación de alto rango dinámico para escenas con contrastes extremos.
 - Filtros de color: Permite aislar características específicas mediante selección cromática.

Especificaciones operativas

- **Rangos de instalación:**
 - Distancia: 50-3000 mm (dependiendo del modelo).
 - Campo visual máximo: 2730×2044 mm (en modelos de vista amplia).
- **Conectividad:**
 - Protocolos industriales: EtherNet/IP™ y PROFINET.
 - Transferencia de datos: FTP/SFTP para imágenes y resultados.
- **Robustez:**
 - Protección IP67: Resistente a polvo y chorros de agua.
 - Temperatura operativa: 0°C a +50°C.

Aplicaciones industriales

- **Control de calidad:** Detección de defectos en superficies, montajes incompletos o componentes faltantes.
- **Clasificación automática:** Identificación de productos por color, forma o etiquetado.
- **Logística:** Verificación de códigos QR y embalajes en cintas transportadoras.

Ventajas diferenciales

- **Configuración simplificada:** Reducción de tiempo de implementación de horas a minutos mediante aprendizaje con 2 imágenes.
- **Inmunidad ambiental:** Mantiene estabilidad ante cambios de iluminación externa gracias a algoritmos de compensación.

- Escalabilidad: Hasta 128 programas almacenables en tarjeta SD para múltiples productos en una línea.

La Serie IV4 demuestra cómo la optimización algorítmica puede sustituir complejos ajustes manuales, facilitando implementaciones en entornos productivos reales.

La IA extrae automáticamente la imagen recomendada a partir de más de 1000 condiciones de imagen. El sistema clasifica las imágenes adquiridas según tres factores: color, forma y velocidad para extraer automáticamente la imagen recomendada.

La principal ventaja de este sistema de visión es la facilidad para configurar los ajustes óptimos para la detección de las imágenes, pues al estar basada en IA, basta con registrar los productos OK y NG, como se muestra en la imagen. Además, se puede realizar aprendizajes adicionales con un solo toque, lo cual mejora la capacidad de respuesta de forma automática, a la vez que gestiona cualquier variación, como lo pueden ser un cambio en el entorno de captura o en caso de que se requiera añadir un tipo de producto similar. En la imagen 5 se muestra un ejemplo de la inspección que realiza la cámara. En este caso detecta la ausencia de un código en la carcasa.



Imagen 5. Ejemplo de producto registrado como aceptable (OK) y no conforme (NG).

Si la imagen capturada no es perfectamente visible, la IA realizará una valoración precisa de acuerdo con las características del producto que han sido registradas como OK. Esto garantiza una detección precisa incluso si las condiciones del entorno de captura del producto cambian.

El modo estándar del sistema de visión ofrece una amplia gama de herramientas para detección de diversos objetos y aplicaciones. Entre estas se incluyen: Contorno, área de color, promedio de color, promedio de brillo, píxeles de borde, anchura, diámetro, borde, paso, OCR, prohibir color o brillo. Ejemplos de estas herramientas se muestran en la imagen 6:



Imagen 6. Ejemplos de valoraciones que puede realizar el sistema.

El sistema de visión es capaz de realizar una detección simultanea utilizando hasta 64 herramientas, lo cual permite utilizar el sistema en una gran gama de aplicaciones, al mismo tiempo reduciendo la cantidad de sensores necesarios.

2.3 Análisis Modal de Fallos y Efectos del Proceso.

Un Análisis Modal de Fallos y Efectos del Proceso (PFMA, por sus siglas en inglés: Process Failure Mode and Effects Analysis), es una herramienta sistemática cualitativa utilizada para identificar, evaluar y prevenir posibles fallos en los procesos de fabricación o empresariales antes de que ocurran defectos o problemas de calidad. Su propósito es analizar cada paso de un proceso para detectar modos en que podría fallar, evaluar las consecuencias de esas fallas, priorizar los riesgos y definir acciones correctivas para mitigar o eliminar esos riesgos.

El PFMEA ayuda a mejorar la fiabilidad, la calidad y la eficiencia del proceso al anticipar fallas potenciales y aplicar medidas preventivas. Involucra a equipos interfuncionales que colaboran para examinar detalladamente cada operación desde la compra de materias primas hasta el envío, buscando riesgos que podrían afectar la producción, la seguridad, la satisfacción del cliente o los costos.

2.4 Numero de Prioridad de Riesgo.

Dentro del PFMA se utiliza el Numero de prioridad de riesgo (RPN, por sus siglas en inglés, Risk Priority Number) para cuantificar y priorizar los riesgos asociados a los diferentes modos de falla presentes en un ensamble o en un proceso (Six Sigma, 2024).

El RPN se calcula mediante la multiplicación de tres factores clave:

- **Gravedad:** Qué tan severa sería la consecuencia si ocurre la falla (escala típica: 1-10).
- **Ocurrencia:** Qué tan probable es que ocurra la falla (escala típica: 1-10).

- **Detección:** Qué tan probable es que la falla sea detectada antes de que cause problemas (escala típica: 1-10; un valor alto significa que es poco probable detectarla).

Es así como:

$$RPN = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección$$

Esto resulta en una escala que va desde el 1 (bajo riesgo) hasta el 1000 (riesgo máximo). Un modo de falla con un RPN alto requiere acciones prioritarias para su mitigación. Posterior a estas acciones, se debe recalcular el RPN para evaluar si el riesgo ha disminuido.

2.5 Metodología Poka Yoke.

Poka Yoke es una técnica de calidad utilizada en la industria para prevenir errores humanos durante los procesos de manufactura. El término proviene del japonés y significa "a prueba de errores" (Flores, 2023). Su objetivo principal es evitar defectos en los productos al detectar y corregir fallos de manera automática o hacer que sea imposible cometer ciertos errores.

Esta metodología fue desarrollada por Shigeo Shingo en la década de 1960 en Toyota, cuyo objetivo es prevenir errores humanos en los procesos industriales antes de que se conviertan en defectos o problemas de calidad (Pankaj Son & Tarun Yadav, 2018).

Esta metodología forma parte del enfoque de mejora continua y se emplea comúnmente en sistemas de producción como Lean Manufacturing y Just in Time (JIT). Un *Poka Yoke* puede ser tan simple como una guía de montaje que impide colocar una pieza al revés, o tan complejo como un sensor que detiene una máquina si una pieza no está bien posicionada.

Un *Poka Yoke* es capaz de evitar que material sea desperdiciado al evitar defectos en lotes de parte por millón, lo cual significa un ahorro de dinero para las empresas que hacen uso de ellos en sus procesos, de ahí su importancia en la industria (Ortega et al., 2014).

Entre los beneficios que se obtienen con la implementación de un *Poka Yoke* en una línea de producción están:

- Reduce defectos y retrabajos: Previene que un error humano llegue al producto final, lo cual mejora la calidad y evita retrabajos.
- Aumenta la eficiencia y la calidad del proceso: Elimina la necesidad de inspecciones adicionales, además de que optimiza el tiempo de producción y agiliza los procesos.

- Minimiza costos asociados a errores: Evita reclamaciones de clientes y retrabajos, al mismo tiempo que garantiza la satisfacción del consumidor.
- Mejora la seguridad y confiabilidad en la operación: Simplifica los procesos, hace más fácil la labor de los empleados, pues les resulta más sencillo realizar sus ensamblajes e inspecciones (Flores, 2023).
-

Una manera de desarrollar un *Poka Yoke* consiste en una investigación de tres etapas acerca de los defectos que se quieren controlar:

1. Identificación de la necesidad
2. Identificación de los posibles errores.
3. Manejo de los errores antes de satisfacer la necesidad

Los dispositivos Poka-Yoke evitan el error humano en los procesos de producción antes que estos se transformen realmente, se convierta en defecto y dejan a los trabajadores que centren su atención en actividades creativas que realmente añadan valor al producto final (Inycom, 2025).

Un ejemplo de estos dispositivos es un conector USB, el cual está diseñado para ser insertado en su puerto de tal forma que solo se puede conectar de un lado, lo cual evita un posible error en la conexión de sus terminales.

En la imagen 7 se muestran distintos tipos de USB que son dispositivos *Poka Yoke*, ya que solo se pueden conectar de una manera específica

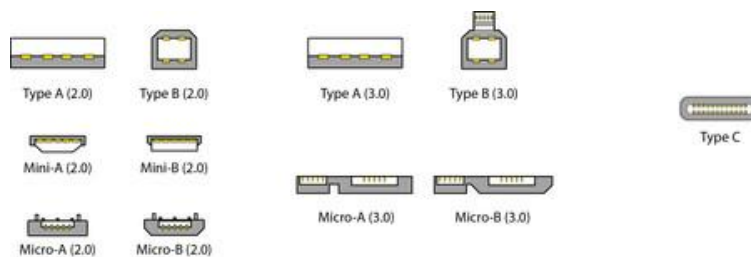


Imagen 7. Un Poka Yoke permite la realización de un procedimiento en una sola manera específica, como en los conectores USB (Pastor, 2017).

2.6 Controlador Lógico Programable.

Un PLC (Controlador Lógico Programable, por sus siglas en inglés: Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico industrial diseñado para controlar y supervisar procesos industriales de manera automatizada (RS, 2023). Su función principal es recibir señales de entrada (de sensores, botones, interruptores, etc.), procesarlas mediante un programa lógico interno y emitir señales de salida que controlan actuadores, motores, alarmas, válvulas, entre otros.

Los *PLC* han sustituido a los obsoletos sistemas de relés electromecánicos que solían ser utilizados para procesos de automatización en las industrias, pues un *PLC* posee una mayor flexibilidad y facilidad para su implementación.

Un controlador *PLC* permite controlar una aplicación total o parcialmente. El *PLC* puede ser programado de manera que pueda interpretar una o varias señales de entrada, en base a las cuales enviara señales de respuesta por medio de sus salidas. Para facilitar la visualización y control de las aplicaciones programadas en el *PLC*, muchas veces se implementa una interfaz Humano – Maquina (HMI, por sus siglas en inglés).

El funcionamiento de un *PLC* se basa en ciclos continuos y secuenciales. A continuación, se describe el orden típico de operaciones que realiza este tipo de dispositivo:

Autodiagnóstico: El sistema verifica internamente el estado de sus circuitos. Si detecta algún error o falla, emite una señal de advertencia.

Lectura de entradas y almacenamiento: El *PLC* analiza el estado de cada señal de entrada, determinando si están activadas o desactivadas, y guarda esta información en su memoria, creando una imagen lógica del estado actual.

Ejecución del programa: Con base en la imagen almacenada en la memoria, el procesador del *PLC* lleva a cabo el programa previamente cargado por el usuario.

Actualización de salidas: Finalmente, el sistema actualiza simultáneamente todas las salidas según los resultados obtenidos en la ejecución del programa.

Dentro de los tipos de *PLC* se encuentra el tipo modular, del cual se muestra su estructura general en la imagen 8. Este ofrece mayor flexibilidad debido a que cuenta con una unidad base con módulos enchufables que es posible añadir y utilizar conforme a las necesidades del proyecto, lo cual es útil para aplicaciones en las que se requieren sistemas grandes o en crecimiento (Cao, 2025).

Dependiendo del nivel de complejidad del modelo, los controladores pueden contar con distintas cantidades de entradas y salidas, ya sean analógicas o digitales. Estas se conectan con la máquina o el sistema a través de sensores y actuadores. Por ejemplo, sensores de variables como temperatura, nivel o presión monitorean el estado de la máquina desde las entradas. Luego, el sistema operativo procesa estos datos y los contrasta con los valores establecidos previamente por el usuario, para finalmente generar las señales de control que se envían en las salidas (RS, 2023).

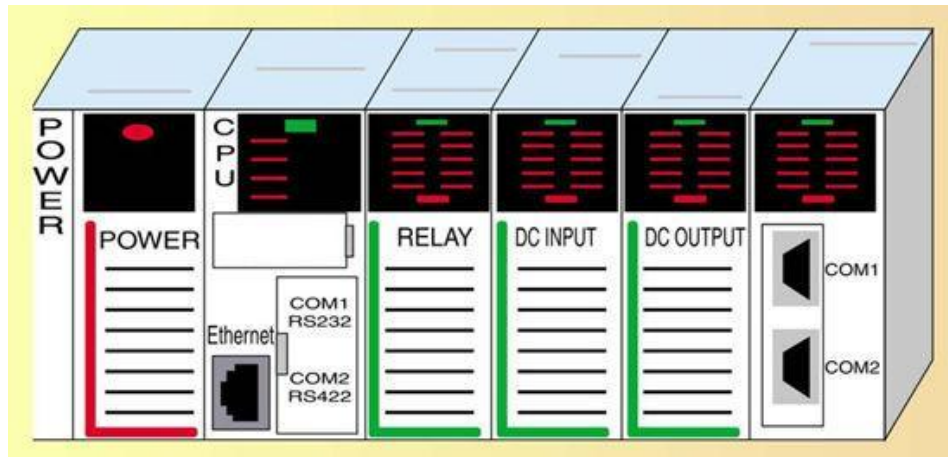


Imagen 8. Un PLC se utiliza en la industria para automatizar procesos.

2.7 Modicon M340.

El *PLC* que se utilizará para la conexión y programación de las cámaras es propio de la empresa Schneider Electric.

El *PLC* Modicon M340 de Schneider Electric es un *PLC* de tamaño compacto, alta velocidad de procesamiento y gran versatilidad, diseñado para aplicaciones industriales de tamaño medio y exigentes en automatización (Schneider Electric, 2025b).

Entre sus características principales se encuentran:

- **Arquitectura modular en rack:** Permite la instalación de hasta 11 módulos en un solo bastidor y expansión simple mediante racks adicionales.
- **Altas capacidades de E/S:** Soporta hasta 1,024 entradas/salidas digitales y 256 entradas/salidas analógicas en configuraciones multibastidor, ideales para sistemas complejos y expansibles.
- **Módulos de E/S digitales y analógicas:** Incluye módulos estándar, de alta densidad y específicos para contadores, comunicación, etc. Los módulos pueden conectarse o quitarse incluso con la CPU en marcha (hot swap).
- **Comunicación avanzada:** Integración nativa de Ethernet TCP/IP, Modbus, puertos serie y USB, y soporte para buses como CANopen. Esto permite conectar fácilmente a sistemas SCADA, redes industriales y dispositivos de terceros.
- **Programación eficiente:** Utiliza **EcoStruxure Control Expert** (antes Unity Pro), un software intuitivo compatible con los lenguajes IEC 61131-3, lo que facilita el desarrollo, prueba y puesta en marcha de programas de control.
- **Compacto y robusto:** Dimensiones típicas de 100mm (alto) x 93mm (prof.) x 32mm (ancho). Cuenta con protección IP20 y está diseñado para ambientes

industriales exigentes; soporta temperaturas desde 0 hasta 60°C, vibraciones y choques elevados.

- **Gestión y diagnóstico avanzado:** Incluye reloj en tiempo real, tarjeta SD para guardar/configurar recetas, servidor web integrado para monitoreo remoto, diagnósticos rápidos, y no requiere batería.

Aplicaciones típicas de este PLC.

- Automatización de fábricas y líneas de producción
- Control de maquinaria OEM o sistemas personalizados
- Procesos de infraestructura: energía, agua, transporte
- Industria de manufactura, embalaje, impresión y alimentaria
- Proyectos que requieren rápida reacción de E/S y conectividad SCADA.

Beneficios de este PLC.

- **Expansión flexible** conforme crecen los requerimientos del sistema.
- **Alta confiabilidad** y capacidad de operar en entornos hostiles.
- **Fácil integración** con sistemas existentes y dispositivos de múltiples fabricantes.
- **Reducción de tiempos** de desarrollo y puesta en marcha gracias a su software y diseño intuitivo.
- **Ahorro de costos** por su durabilidad, bajo mantenimiento y compatibilidad con sistemas heredados.

Las características de este PLC lo hacen ideal para la implementación del sistema de visión, además de su tamaño compacto y su diseño simple, como se muestra en la imagen 9.



Imagen 9. El PLC Modicon 340 de Schneider Electric, este destaca por su tamaño y diseño.

2.8 Software EcoStruxure Control Expert.

El software de programación EcoStruxure de Schneider Electric está dedicado a la familia de controladores Modicon (como M340, M580, Premium, Quantum y

Momentum). Anteriormente conocido como Unity Pro, ha evolucionado para adaptarse a las necesidades de la Industria 4.0 y facilitar la integración, escalabilidad y gestión de proyectos de automatización de cualquier tamaño (Schneider Electric, 2025a).

Este software permite programar, depurar, simular y monitorear controladores desde una única plataforma. Administra múltiples *PLC* dentro de un solo proyecto y facilita la edición simultánea de diferentes tareas.

Los lenguajes bajo los que se puede programar en este software incluyen Ladder (LD), Texto Estructurado (ST), Diagrama de Bloques de Función (FBD), Gráfico Secuencial de Funciones (SFC) y Lista de Instrucciones, lo que permite flexibilidad y compatibilidad internacional. Al lado de estos, el software integra herramientas de simulación para verificar programas antes de descargarlos al *PLC* físico, así como funciones de diagnóstico en tiempo real y gestión de errores.

Este software soporta nativamente comunicación como Ethernet/IP, Modbus TCP/IP y permite integración con redes y sistemas SCADA o HMI.

Entre los beneficios destacados de este software se encuentran:

- **Estandarización y escalabilidad:** Permite gestionar desde pequeñas máquinas hasta grandes instalaciones industriales en una misma plataforma, centralizando la programación y el mantenimiento.
- **Facilita la migración y mantenimiento:** Compatible con proyectos de generaciones anteriores y herramientas de importación/exportación para otros softwares de Schneider.
- **Reducción de tiempos y costos:** Rápida puesta en marcha mediante herramientas de autodiagnóstico, autoconfiguración y simulador integrado.
- **Mayor seguridad y trazabilidad:** Incluye gestión de accesos, control de cambios y respaldo de datos.

La interfaz del software es personalizable, lo cual la hace cómoda para el programador. Cada ventana se puede reacomodar dentro y fuera del espacio de trabajo, permitiendo al programador facilitar su flujo de trabajo y mantener orden en su operación. Esta interfaz se muestra en la imagen 10.

2.9 Human Machine Interface.

Una Interfaz Humano - Máquina (HMI, por sus siglas en inglés) es un dispositivo o software que permite la interacción directa entre el operador humano y el sistema automatizado de una planta industrial. Su función principal es permitir visualizar información del proceso, facilitar el monitoreo de variables en tiempo real, permitir ajustes de parámetros y mostrar alertas o fallas. De forma breve, se le denomina

HMI a cualquier pantalla que actúe como interfaz entre un operador y una máquina (SDI, 2025).

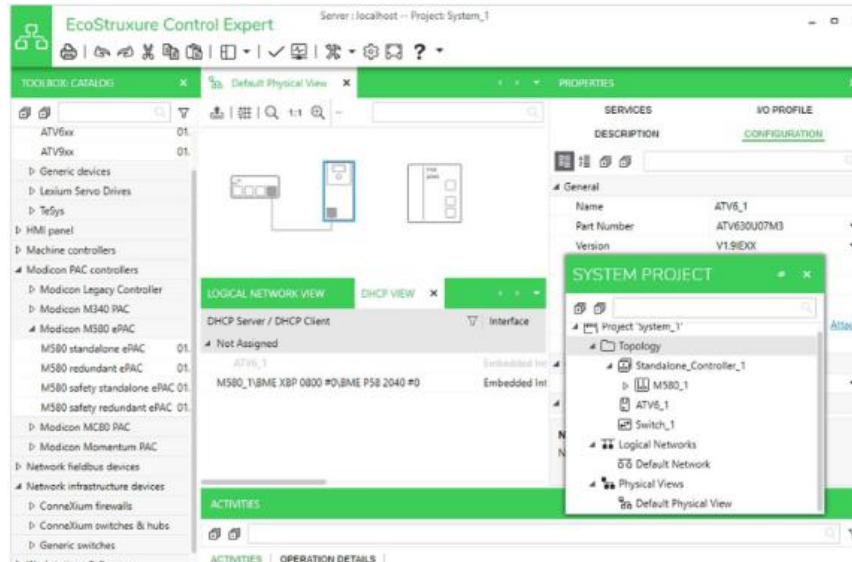


Imagen 10. Interfaz del software EcoStruxure de Schneider Electric.

Las HMI suelen estar conectadas a *PLC*, desde donde reciben datos de entrada/salida, estados de procesos y resultados de decisiones lógicas. Esto permite que el operario tenga una visión clara del estado del sistema y pueda intervenir de manera segura y eficiente.

En un sistema *Poka Yoke* automatizado, la HMI cumple un rol esencial como herramienta de interfaz operativa y de supervisión:

- Con el *PLC*: La HMI se comunica con el *PLC* para mostrar en tiempo real el estado de los sensores, alertas de errores, pasos del proceso y condiciones de validación. También puede permitir la configuración de parámetros de control, como márgenes de tolerancia, temporizaciones o habilitación de modos manuales/automáticos.
- Con el *Poka Yoke*: La HMI sirve como medio de retroalimentación visual y auditiva al operario en caso de errores. Por ejemplo, si un sensor detecta un componente mal colocado, el *PLC* procesará esta información y la HMI puede:
 - Mostrar un mensaje de advertencia.
 - Indicar gráficamente cuál es el error.
 - Guiar al operador para corregir la falla antes de continuar.

En diversas industrias se suele hacer uso combinado de *PLC* y *HMI* para implementar sistemas *Poka Yoke* en aplicaciones de calidad. De esta forma se consigue mejorar la eficiencia del proceso y hacer la labor del operador más sencilla e intuitiva. En la imagen 11 se muestra un ejemplo de un tablero de control que hace uso del *HMI* para poder controlar el *PLC* al interior



Imagen 11. Interfaz del software EcoStructure de Schneider Electric.

2.10 Job Breakdown Sheet (JBS).

Es una herramienta utilizada para el análisis de trabajo y la mejora de procesos. Surgió durante la Segunda Guerra Mundial, cuando los jóvenes estaban en combate y las plantas de manufactura necesitaban capacitar a trabajadores sin experiencia. La *JBS* mostraba la forma más segura y eficiente de realizar el trabajo (Karmakar, 2023).

La *JBS* se implementa para documentar los procesos debido a una serie de razones:

- ❖ **Optimiza:** Al organizar las operaciones en pasos sencillos, el operador puede realizar su proceso de forma más eficiente, reduciendo errores en el ensamble.
- ❖ **Estandariza:** Este documento sigue un estándar establecido, lo cual lo hace ideal para el entrenamiento de nuevos operadores, lo cual reduce la curva de aprendizaje y mejora su desempeño.
- ❖ **Mejora la calidad:** Otra consecuencia de la estandarización es la mejora en la calidad de los ensambles, pues al existir una guía para cada ensamble, el operador es capaz de reconocer a que puntos hay que prestar más atención para garantizar la calidad final del producto.

2.11 Gabinetes eléctricos.

Una caja eléctrica es un compartimiento diseñado para resguardar dispositivos eléctricos o electrónicos, evitando posibles descargas eléctricas. Normalmente están fabricadas con plásticos resistentes o metales como el acero, acero inoxidable o aluminio. Su clasificación indica el nivel de protección que ofrecen frente a

distintos entornos, ya sean peligrosos, no peligrosos o con condiciones ambientales específicas (NEMA, 2025).

Estas cajas se emplean para proteger componentes eléctricos en múltiples entornos, incluyendo construcciones, industrias y servicios públicos. Además, pueden ofrecer blindaje contra interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia. Su uso es común para resguardar una variedad de equipos eléctricos, entre ellos:

- Disyuntores, contactores, paneles de control e interruptores
- Cuadros de distribución y cuadros eléctricos
- Equipos y sistemas de presurización y purga
- Armarios telefónicos

La planta de Schneider Electric Tlaxcala 2 se especializa en la fabricación de ensambles de breakers y gabinetes de protección eléctrica, denominados también centros de carga. Existen diferentes catálogos de productos fabricados para este propósito. Algunos de ellos son los modelos de centro de carga QO, los cuales poseen desde 2 hasta 42 espacios para circuitos derivados.

Estos modelos varían en características y parámetros bajo los que operan, entre ellos:

- Catálogos monofásicos y trifásico
- De 30 a 400 amps.
- Versiones para interiores o exteriores
- Versión empotrar o sobreponer
- Espacios: 2 a 42 circuitos derivados.
- Corriente nominal: 30 a 225 A.
- Sistemas:
 - 1 fase – 2 o 3 Hilos, 120/240 V~
 - 3 fases – 3 o 4 Hilos, 220Y/127 V~
- Frecuencia: 60 Hz
- Alimentación: Zapatas o interruptor principales.
- Capacidad interruptiva:
 - 10 000 A, con zapatas principales.
 - 22 000 A, con interruptor principal.
- Interruptores Derivados: Toda la familia de interruptores enchufables QO con ventana indicadora de disparo VISI-TRIP.
- Material: Gabinete metálico NEMA 1 para uso interior o NEMA 3R para intemperie.
- Montaje: Empotrar o Sobreponer.
- Color: Gris ANSI 49.
- Conexiones: Terminales de aluminio estañado para mayor protección anticorrosión.

- Certificados: UL, NOM-ANCE.
- Conectores tipo opresor para fácil conexión.

En la imagen 12 se muestran dos tipos de gabinetes eléctricos ensamblados en las líneas que se implementaron en planta Tlaxcala 2 de Schneider Electric.



Imagen 12. Centro de carga de la familia Power Products, ensamblados en la planta de Tlaxcala 1 y posteriormente Tlaxcala 2.

3. Metodología.

Se realizó el traslado y rediseño de 5 líneas de ensambles de gabinetes desde planta Schneider Tlaxcala 1 hacia planta Tlaxcala 2. Estos gabinetes son exportados a nivel internacional, por lo cual se realizó la reimplementación y robustecimiento de los métodos de ensamble de dichos gabinetes que además permita mantener los estándares de calidad siempre actualizados y a la vanguardia.

Un ejemplo de esto es la presencia de la bolsa de accesorios, pues esta contiene componentes que el cliente puede llegar a necesitar para realizar la correcta instalación de su producto. El no contar con la bolsa de accesorio implicaría que el cliente no este satisfecho o que este pueda realizar su instalación de forma incorrecta, exponiéndolo a graves riesgos de seguridad.

Otro ejemplo es la presencia del gasket, el cual es un pequeño sello de goma que es colocado justo sobre un barreno de tornillo. Este ayuda a evitar que el agua entre al interior del gabinete y humedezca los componentes internos, ayudando así a garantizar la seguridad del usuario.

La ausencia de estos componentes en el gabinete representa una variedad de problemas y complicaciones tanto para la empresa como para el usuario, por lo que garantizar al 100% su presencia es crítico para la calidad del producto.

En la imagen 13 se muestra la colocación de dichos componentes en los ensambles de gabinetes.



Imagen 13. La bolsa de accesorios y el Gasquet son componentes esenciales para el funcionamiento del gabinete.

La metodología de este proyecto se divide en 4 etapas, dentro de las cuales se abarcarán distintos aspectos de manera cronológica. En la imagen 14 se muestra el diagrama cronológico de las actividades realizadas para la metodología de este proyecto:

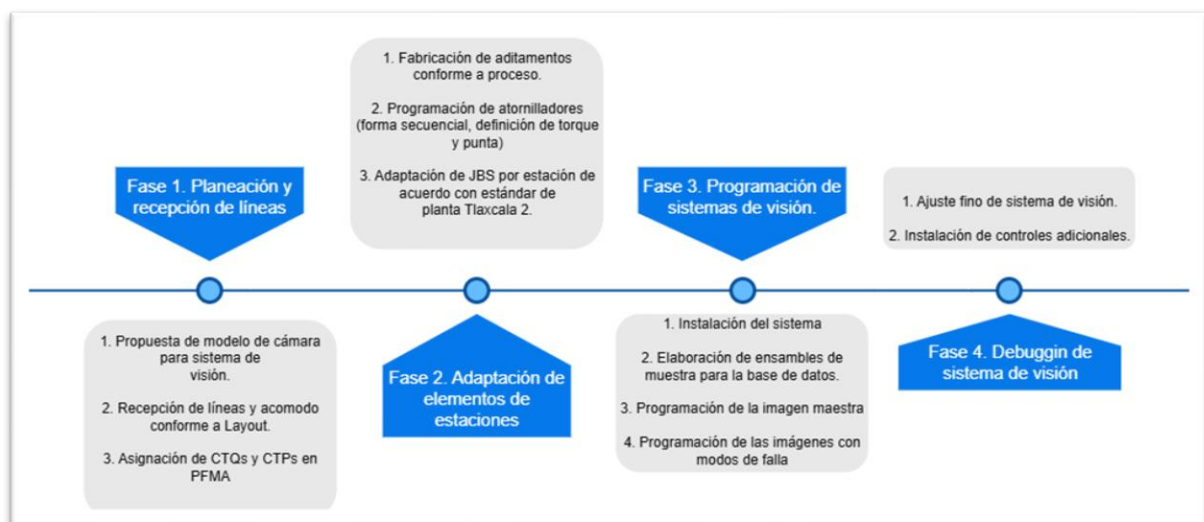


Imagen 14. Diagrama cronológico para la metodología del proyecto.

Fase 1. Planeación y recepción de líneas.

1.1 Propuesta de modelo de cámara para sistema de visión.

Para garantizar la presencia de componentes se utilizó un sistema de visión que permite que el operador pueda realizar la inspección de presencia de forma eficiente y sencilla

Se comenzó el proyecto con la propuesta del sensor de visión con IA incorporada IV4 para la inspección de componentes en todas las líneas. Este sistema de visión basa su tecnología en el reconocimiento y comparación de imágenes de acuerdo con una base de datos programada por el usuario.

Adicionalmente, este sistema es de gran versatilidad, pues permite realizar la comparación de imágenes en espacios amplios o estrechos, además de determinar automáticamente de las condiciones de imagen óptimas para una adecuada inspección. El diseño de la cámara se muestra en la imagen 15:



Imagen 15. El sensor IV4 utiliza la tecnología de reconocimiento de imágenes para detectar errores en ensambles.

Adicionalmente, este sensor es relativamente sencillo de programar, pues basta con capturar una imagen maestra, una serie de imágenes aceptables y una serie de imágenes no conformes, las cuales formaran una base de datos que el sistema utilizará para las inspecciones.

La gran mayoría de los modelos de gabinetes ensamblados en las líneas tienen un alto requerimiento de inspecciones para garantizar la presencia de componentes en base a diferentes criticidades, desde solo estéticas hasta críticas para la seguridad tanto del operador que realiza el ensamble como del usuario final del producto.

Un sistema que garantice la calidad de los ensambles debe evitar que aquellos que presenten modos de falla continua en el proceso. En el caso de los sistemas

utilizados en planta Tlaxcala 1, estos se limitaban a realizar la inspección y notificar al operador que existe un modo de falla en el ensamble, sin especificar de cual se trata y sin impedir que este ensamble continúe en el proceso.

Para dar solución a este problema, se implementó un sistema *Poka Yoke* que sea capaz de retener al gabinete y evitar que siga en el proceso mientras esté presente algún defecto de ensamble. Es así como el sistema de visión se integra en conjunto con el sistema *Poka Yoke* para realizar las inspecciones de los ensambles.

El sistema *Poka Yoke* que se implementó integra al sistema de visión como herramienta de inspección, este se complementa con un sistema de bloqueo que retiene los ensambles durante la operación. Ambos elementos se integraron en una estación dedicada, a la cual se le conoce como “estación de *Poka Yoke*”

Dicha estación se diseñó ser accionada por el mismo operador mediante el uso de botones, lo cual la hará una operación semiautomática. De esta forma, la estación se equipó con los requerimientos necesarios para garantizar tanto el funcionamiento eficaz de la cámara como la seguridad del operador al interactuar con el sistema *Poka Yoke*, entre estos se encuentran guardas de seguridad, iluminación adecuada, cortinas de seguridad y botones bimanuales.

Se hizo uso de *PLC* para controlar el sistema de visión instalado en la estación. Este se encarga en primer lugar de recibir la señal de accionamiento para posteriormente iniciar la operación del sistema e interpretar los resultados devueltos. Con base en esto, el *PLC* realiza el accionamiento de actuadores que bloquean el ensamble durante la inspección, liberando los ensambles conformes y bloqueando cualquiera que presente algún tipo de falla.

La integración del *PLC*, además del control del sistema de visión, se realizó pensando en la mejora continua de las líneas, pues estos sistemas son escalables y se pueden adaptar a cualquier tipo de aplicación futura o modificación que se deba realizar.

En conjunto con el departamento de calidad, se realiza un ensamble que cumple con todas las características y condiciones de calidad requeridas. A este ensamble se le conoce como “Golden sample” o muestra dorada. El sistema de visión será programado usando la imagen de esta muestra como imagen maestra.

La base de datos que utilizó el sistema de visión se basa en imágenes no conformes, es decir, con tipos de falla que pueden llegar a presentarse en los ensambles y una imagen maestra, es decir, la imagen de un ensamble sin ningún tipo de defecto.

En la imagen 16 se muestra un concepto general de la implementación del sistema de visión en una línea de ensamble.



Imagen 16. Concepto de una estación de trabajo en la que se implementó el sistema de visión (cita.

1.2 Recepción de líneas y acomodo conforme a Layout.

Posterior a la propuesta del sistema de visión, se procede con la recepción y acomodo de las líneas de producción. Para esto se realizó un levantamiento y plano de cada una de las 5 líneas de manera periódica.

Con el objetivo de realizar un buen levantamiento de las líneas, se acudió a planta Tlaxcala 1 para observar de primera mano los métodos actuales por los cuales operan las líneas. Al mismo tiempo, se realizaron las mediciones necesarias para el acomodo de las estaciones, esto con el fin de optimizar la disposición por la cual se planearon implementar en planta Tlaxcala 2.

Una vista general del acomodo (*Layout*) que se planificó se muestra en la imagen 17:



Imagen 17. Diseño preliminar del layout de líneas de enclosures (gabinetes).

Al realizar el levantamiento fue importante la consideración de aspectos influyentes para el método y calidad de los ensambles:

- **Optimización de tiempos:** Un punto clave al definir un método de ensamble es el tiempo que le toma al operador realizar su trabajo, pues se busca disminuir los tiempos de ensamble. Se deben eliminar o reducir las acciones que no aportan valor al producto, como son el desplazamiento de material o posicionado, a la par que se optimiza el método para las acciones que si le aportan valor, como lo son el atornillado, pegado o remachado. Ejemplos de estas operaciones se muestran en las imágenes 18 y 19. A la izquierda se observa la colocación de la cubierta en la remachadora, operación que no aporta valor al producto, mientras que a la derecha se muestra la colocación de un gasket en el gabinete, operación que si aporta valor al producto.



Imagen 18 Colocación de una tapa en la remachadora. Imagen 19. Colocación de un gasket en el gabinete.

- **Evaluación de puntos críticos de calidad, seguridad y regulación:** Se evaluaron los procesos críticos para la calidad, seguridad y regulación del producto. Se definió un método que permite garantizar la satisfacción de los

puntos más críticos para la calidad, como lo es el uso de aditamentos y *Poka Yokes*, sin dejar de lado el primer punto.

- **Regulación y seguridad para el operador.** Es de gran relevancia el definir un proceso que se adapte al operador y no viceversa. Cualquier operador debería ser capaz de realizar la operación para la cual fue capacitado sin ningún tipo de riesgo a corto o largo plazo, para lo cual se implementaron aditamentos y/o herramientas que ayuden a realizar los ensambles, se mejoró la disposición de las estaciones y se implementaron medidas de seguridad robustas para asegurar el resguardo de la integridad física del operador. También se tomaron en cuenta comentarios y sugerencias por parte del personal operativo que ayudaron a la mejora del método.

Como parte del levantamiento realizado, se observaron las herramientas, maquinas, mesas y otros componentes de las estaciones. De esta forma, se realizó la reimplementación de dichos elementos tomando en cuenta los puntos anteriores.

Se solicitó la fabricación de todas las estaciones con proveedores especializados quienes entregaron cada línea con las estaciones correspondientes de manera periódica acorde a los tiempos de liberación solicitados. También se trabajó en colaboración con dichos proveedores para realizar las instalaciones eléctricas y neumáticas correspondientes a cada línea y estación particular. En la imagen 21 se observa el trabajo en progreso de la implementación de una de las líneas, el cual se realizó conforme a lo planificado en el levantamiento.

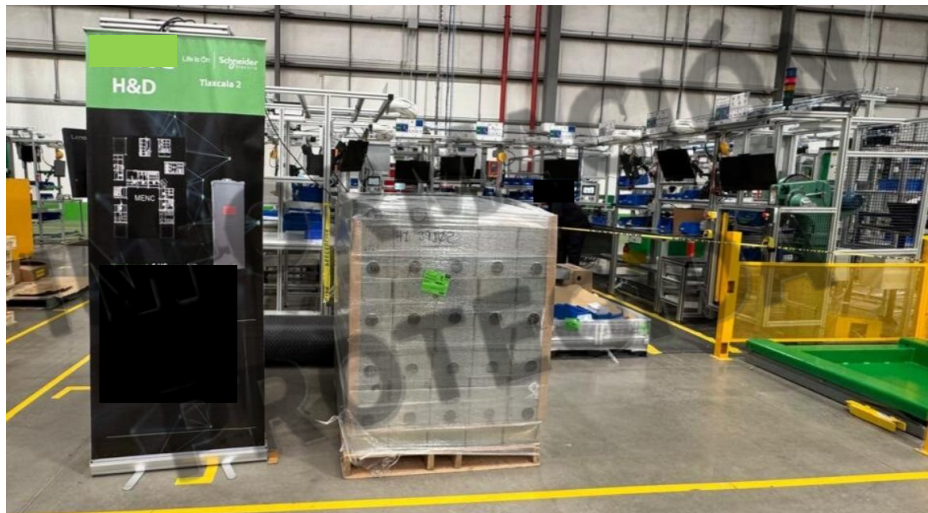


Imagen 20. Trabajo en progreso de implementación de una de las líneas para Home and Distribution.

1.3 Asignación de CTQs y CTPs en PFMA.

Posterior a la realización del levantamiento, se procedió con la determinación de modos de falla en un documento de PFMA.

Un PFMA tiene como objetivo la identificación, análisis y prevención de posibles fallos en los procesos. Esta herramienta anticipa los modos en que un proceso puede fallar, analizando las consecuencias de estos y estableciendo acciones para minimizar o prevenir los fallos.

Dentro del PMFA se consideran diferentes modos de falla, siendo algunos de ellos críticos a la calidad, al proceso o incluso a la seguridad tanto del usuario como del operador.

En el levantamiento se observaron los procesos de ensamble en las diferentes líneas de gabinetes y se visualizaron los diferentes modos de falla que se pueden presentar dependiendo del modelo o del proceso requerido para un ensamble específico.

Dichos modos de falla se clasificaron en distintos niveles de criticidad (RPN), algunos de estos de baja criticidad, como lo pueden ser una etiqueta de advertencia desalineada de la cual solo se requiere su presencia, hasta otros que son críticos para la seguridad y regulación del producto, como la ausencia de la misma etiqueta, pues esta contiene información importante para la seguridad del usuario. En la imagen 22 se muestra de manera general la estructura de un PFMA realizado para una de las líneas:

Process Step/ Station No.	Process Step Name	Process Work Element	Function (Sub- step/Operation)	Product Characteristic(s)/CTQs	Process Characteristic(s)/CTPs	POTENTIAL FAILURE MODE	Potential Effects of the Failure Mode	SEVERITY
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Cover	01 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Wrong cover	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Enclosure	1.1 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Wrong enclosure	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Rivet	1.1 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Missing rivet	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Rivet	1.1 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Wrong rivet	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Rivet	1.1 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Wrong rivet	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Riveter	1.1 Riveting cover to enclosure (M & J stainless)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	CTP: Air pressure (5-7 bar)	Not operational	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Back support	1.2 Riveting back supports to enclosure (Only J Models)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Missing Back support	Won't install (mounting)	7
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Back support	1.2 Riveting back supports to enclosure (Only J Models)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Wrong position back support (inside down)	Imperceptible to customer	1
1	S1 01 Cleaning, labeling and S1 01 Cleaning, labeling and	Rivet	1.2 Riveting back supports to enclosure (Only J Models)	Enclosure cleaned and labeled with mechanisms	N/A	Missing rivet	Won't install (mounting)	7

Imagen 21. Estructura general del PFMA utilizado para la línea de MEMA.

El equipo multidisciplinario conformado por ingenieros de los departamentos de mantenimiento, manufactura y calidad se encargaron de la definición de los modos de falla y les asignaron una criticidad de acuerdo con los requerimientos específicos del producto. Una vez realizado esto, se determinó un método para cubrir dichos modos de falla, para lo cual se implementaron las herramientas necesarias para reducir la ocurrencia de estos. Bajo este contexto, se realizaron aditamentos que ayudan a los operadores de línea a realizar su ensamble reduciendo los ensambles que presentaban modos de falla.

Entre las herramientas que se implementaron se encuentran los sistemas *Poka Yoke*, los cuales fueron esenciales para cubrir algunos de los modos de falla con mayor RPN como lo son la ausencia de algún componente, accesorio o la detección temprana del mal funcionamiento de algún producto.

Un ejemplo de un sistema *Poka Yoke*, además del sistema de visión, se describe a continuación; consiste en un sensor cuyo propósito es verificar la presencia del componente gasket del mecanismo de palanca. Una vez que verifica la presencia de este componente, el operador procede a colocar el mecanismo de palanca, que también es verificado por el sensor. Después de que se hayan cumplido estas dos condiciones, el sensor manda la señal al *PLC* para liberar el pistón de remachado y que el operador pueda accionar la máquina. En la imagen 23 se muestra el sensor integrado en la máquina remachadora.



Imagen 22. Implementación de Poka Yoke en una máquina remachadora. Esta valida la presencia del gasket de palanca antes de que la palanca se remache.

Fase 2. Adaptación de elementos de estaciones.

2.1 Fabricación de aditamentos conforme a proceso.

En casi todas las líneas de producción existen estaciones en las que se realizan subensambles, ya sea de zapatas, conectores o bolsas de accesorios para el gabinete. Estas estaciones abastecen a la operación principal y tienen por lo regular un ciclo de ensamble más rápido por pieza.

Para realizar un subensamble de forma eficiente y segura, se hace uso de aditamentos diseñados específicamente para un tipo de subensamble. Estos

aditamentos contribuyen a una rápida realización del subensamble requerido, además de que facilitan su correcta realización.

Del levantamiento realizado se observaron los procesos que requerían del uso de algún aditamento para la realización del ensamble. De estos aditamentos se solicitó la fabricación de replicas que permitiesen realizar el mismo procedimiento de ensamble, aplicando mejoras de eficiencia y comodidad para el operador.

En la imagen 23 se muestra un aditamento utilizado en la planta Tlaxcala 1. Este se utilizaba para el ensamble de la barra neutro en la base y para el doblé de la zapata conector. En la imagen 24 se muestra el primer rediseño para este mismo aditamento, el cual se implementó en la planta de Tlaxcala 2.

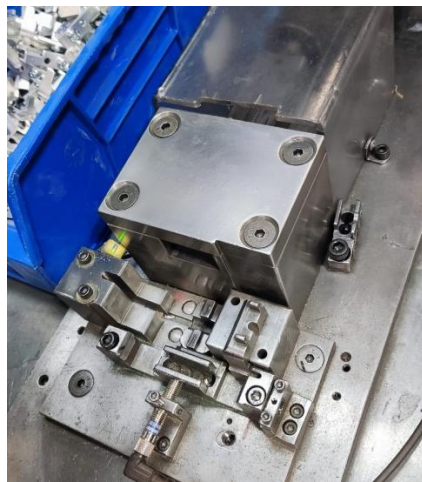


Imagen 23. Aditamento utilizado en una de las líneas de planta Tlaxcala 1.

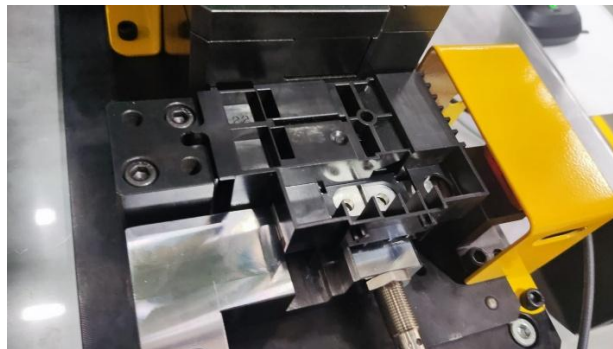


Imagen 24. Primer diseño del aditamento reimplementado en planta Tlaxcala 2.

2.2 Programación de atornilladores (forma secuencial y definición de torque y punta)

Uno de los modos de falla de mayor relevancia en varios ensambles se presenta al realizar el atornillado de los ensambles, pues los tornillos deben estar apretados en un rango de torque que se especifica en el dibujo técnico de cada catálogo. El torque

excesivo puede producir fracturas, deformaciones o barridos en la zona de atornillado, mientras que un torque deficiente puede producir componentes flojos que afecten a la calidad del producto final y en algunos casos pueden representar un riesgo de seguridad y regulación.

Bajo este contexto, se realizó la implementación de controladores de atornillador eléctrico en todas las líneas de acuerdo con los requerimientos especificados por catálogo. Estas herramientas garantizan la precisión del torque que se aplica a un tornillo, manteniéndolo dentro del rango con el que se programan, en este caso en Libras – pulgada como unidad de torque.

Es común que en las estaciones se llegue a utilizar más de un torque, ya sea para diferentes catálogos o en secuencia para el mismo catálogo. Los controladores de atornillador se encargan de modificar el rango de torque del atornillado dependiendo de las necesidades y requisiciones del ensamble.

Para la implementación de los controladores se utilizaron dos marcas dedicadas a la fabricación de estos. Estas marcas también fabrican los atornilladores y selectores de puntas que se implementaron en las líneas:

DC Driver de Atlas Copco, Power Focus 6000

Si bien este controlador es más costoso que el de Mountz, destaca por ser confiable, versátil y permitir operar con una gran variedad de herramientas atornilladoras. Este controlador permite la programación de torques de apriete automáticos, además de ajustes como la velocidad, el ángulo, secuencias y reversa automática de la herramienta para desensamble.

DC driver de Mountz, MDC – 32.

A pesar de que las características de los controladores de esta marca no están a la par de los Atlas Copco, estos controladores también son confiables y permiten la programación de la velocidad, ángulo, reversa automática y opciones para inicio sencillo. Sin embargo, este controlador opera únicamente con los atornilladores MD-series.

En la imagen 25 se observan los modelos de controladores de ambas marcas, Mountz del lado izquierdo y Atlas Copco del lado derecho.

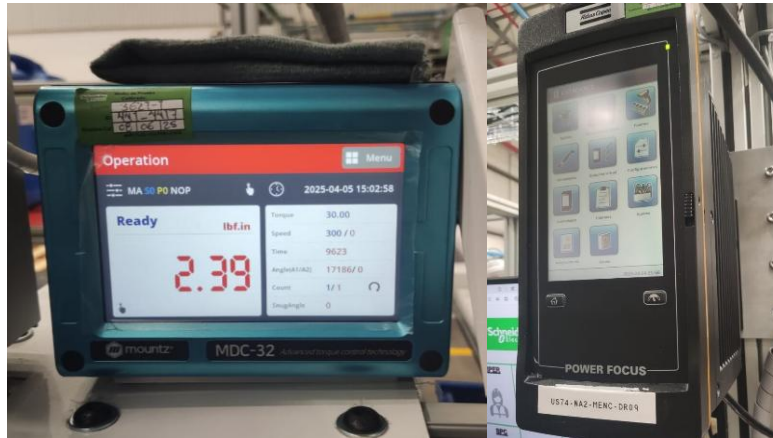


Imagen 25. Controlador de atornillador de la marca Mountz (izquierda) y de la marca Atlas Copco (derecha).

Es posible conectar ambas marcas de controladores mediante *PLC*, por lo cual se implementaron ambos dispositivos en las estaciones que lo requerían. De esta forma se realizó la programación tanto individual como en secuencia conforme a lo requerido por el catálogo, permitiendo la configuración rápida del torque.

Debido a la gran cantidad de torques que se utilizan en cada estación, se realizó una matriz por cada línea, la cual ayudó a definir la programación de los controladores, así como la punta que corresponde a cada torque.

La matriz de torques se organiza en base a los catálogos a los que corresponden determinados torques y la estación donde se aplica. Se muestra una visión general de la matriz descrita en la imagen 26.

Imagen 26. La matriz de torques ayuda a realizar a programación y control de los torques por catálogo y estación en la línea

Para la selección del torque se implementó un selector de puntas, el cual es una herramienta que además de ayudar a la organización, ayuda a que el operador pueda seleccionar la punta correcta de acuerdo con el catálogo y tornillo que va a ensamblar mediante el uso de indicadores LED que señalizan la punta que el operador debe utilizar. Es así como el operador no debe preocuparse por memorizar

la matriz de torques ni debe programar manualmente el torque que corresponde al ensamble.

Ambas marcas de controladores implementados hacen uso de su propio selector de puntas. No obstante, las características de estas herramientas son similares, por lo que se puede estandarizar el proceso fácilmente.

En la imagen 27 se observan dos selectores de puntas, el de la derecha corresponde a Mountz y cuenta con 4 espacios para puntas diferentes, el de la izquierda corresponde a Atlas Copco y cuenta con 8 espacios para puntas diferentes.



Imagen 27. Selectores de puntas para atornillador de la marca Mountz (izquierda) y Atlas Copco (Derecha)

En ciertos procesos de ensamble se necesita realizar más de un atornillado por pieza, por lo cual se programó una secuencia semiautomática mediante *PLC*, la cual ajusta el torque necesario por componente. Para realizar dicha secuencia, se programaron una serie de condiciones para realizar el cambio de torque por componente, entre ellas se mencionan el siguiente ejemplo:

Tomar la punta plana con buscador de la posición 1 del selector de puntas, colocarla en el atornillador y realizar atornillado con primer torque. Concluido dicho atornillado, el *PLC* cambia automáticamente el torque para realizar un segundo atornillado una vez que el operador ha devuelto la primera punta a su posición y tomado la punta de posición 2, la cual es de cruz para un componente distinto.

En la imagen 28, se muestra el ensamble de una zapata y un opresor en el mismo ensamble, el cual hace uso de la secuencia:

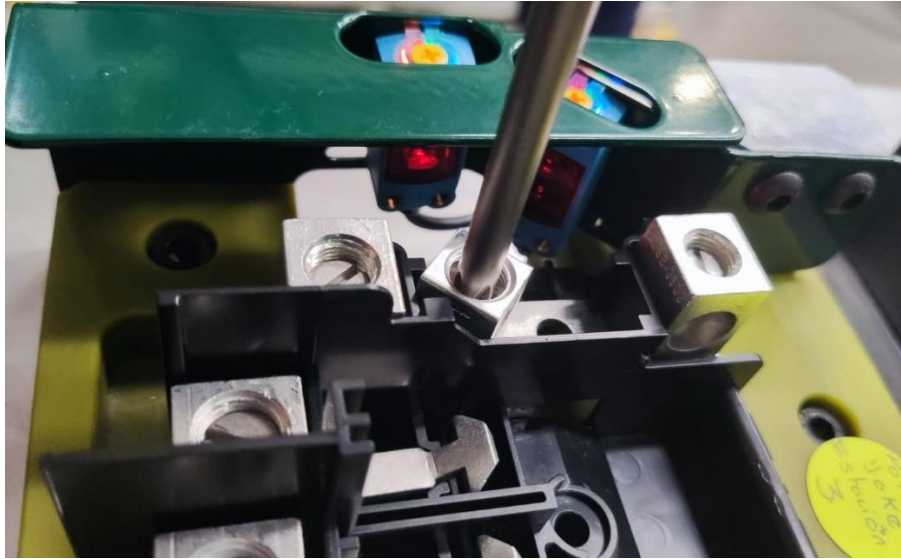


Imagen 28. Atornillado de la zapata y opresor para la base de un gabinete, requiere torques consecutivos diferentes para el ensamble de cada componente.

Una vez que se ha realizado la programación de los atornilladores, se debe establecer la forma en que se seleccionará el tipo de torque dependiendo del modelo que se quiera ensamblar. Para esto se implementó un sistema mediante *PLC* principal que controla todas o la mayoría de las estaciones de la línea, de manera que este pueda cargar en cada una de las estaciones los torques dependiendo del modelo que se solicite.

Se implementó un *PLC* maestro con un menú integrado en su pantalla HMI, en el cual se seleccionen los programas de atornilladores creados para cada catálogo. La interfaz de dicho menú se observa en la imagen 29:

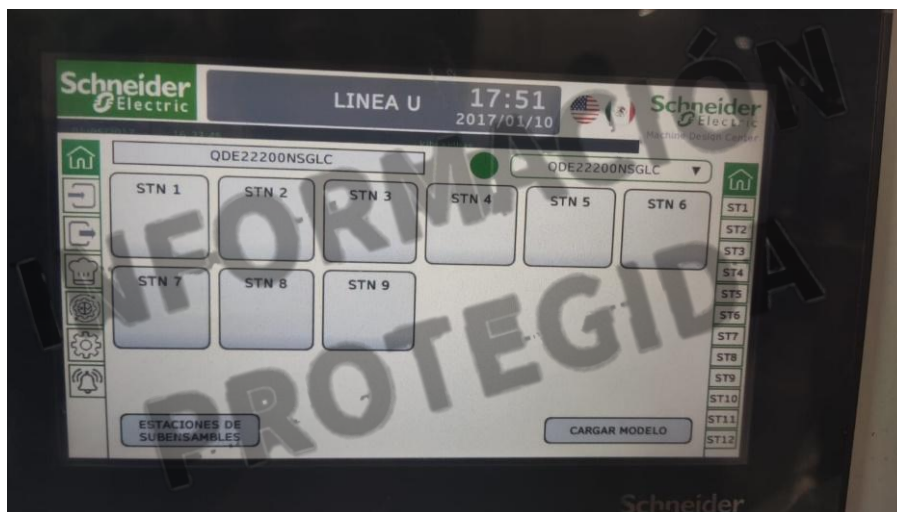


Imagen 29. HMI del PLC maestro, este controla todas las estaciones.

El *PLC* principal se programó con las características propias de cada uno de los torques que aplican por catálogos en la línea, a este conjunto se le conoce como “recetas”. De esta forma, es posible gestionar y modificar las secuencias de torques de forma sencilla, además de crear nuevas recetas desde cero o basándose en una receta existente en caso de que se requiera programar características para un nuevo modelo.

La interfaz de creación de recetas se muestra en la imagen 30. Este permite seleccionar la parte de la línea que se programará y el modelo al que corresponde dicha programación.

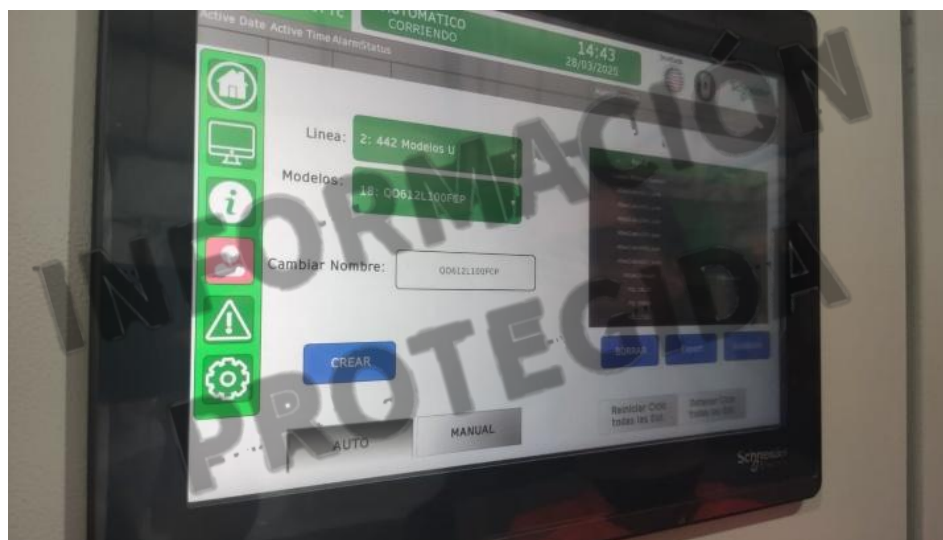


Imagen 30. Creación de una receta para un modelo en el HMI del PLC principal.

En algunas de líneas, el *PLC* maestro implementado controla la operación principal por separado, dejando las operaciones de subensamble de forma independiente. Esto se hace debido a que dichas operaciones se realizan para abastecer a la operación principal, por lo cual los subensambles deben estar preparados antes de que se esta se inicie.

2.3 Adaptación de JBS por estación de acuerdo con estándar de planta Tlaxcala 2.

Como se observó durante el levantamiento, la documentación del proceso era escasa en planta Tlaxcala 1, razón por la cual se presentaban confusiones en varios ensambles y no se garantizaba que estos fueran realizados conforme a las especificaciones requeridas.

Con el objetivo de tener documentado el proceso de ensamble y facilitarlo al operador se realizó un instructivo desglosado de trabajo conocido como *JBS* (Job Breakdown Sheet), cuyo propósito es tener un registro del proceso de ensamble por línea. Este documento se utiliza como guía para la realización del ensamble y también para dar capacitación del personal que se asigne.

En cada línea se realizó una *JBS* por estación en la que se estandariza el proceso y se definen los materiales y herramientas que se utilizarán para realizar el ensamble. El departamento de manufactura y métodos se encargó de la realización de estos documentos, además de optimizarlos para facilitar su lectura y mejorar la explicación de los procesos.

La estructura general de una *JBS* es la siguiente:

1. **¿Qué se va a realizar?:** El nombre del procedimiento a realizar. Por ejemplo, atornillar neutro en gabinete.
2. **¿Cómo se va a realizar?:** La descripción de como el operador debe realizar el procedimiento para lograr el qué. Por ejemplo: Colocar el neutro con los barrenos del neutro y del gabinete alineados, colocar tornillo en la punta del atornillador y atornillar con el torque especificado.
3. **Ilustración.** Imágenes, tablas, dibujos o cualquier ayuda visual que complemente la descripción del proceso de forma que el operador pueda entenderlo a la perfección
4. **Razón.**Cuál es la razón por la que el proceso se realiza. Por ejemplo: Esto asegura que el neutro este correctamente atornillado en el gabinete.
5. **Simbología con explicación:** Se incluye simbología tanto de calidad del ensamble como de seguridad. La simbología de calidad indica a que puntos debe prestar mayor atención el operador para cuidar la calidad del ensamble, como pueden ser la cantidad de inspecciones que debe realizar o si la presencia de algún componente es crítica para la calidad. Por otro lado, la simbología de seguridad le advierte al operador de riesgos que pueden presentarse al momento de realizar su trabajo, como pueden ser riesgo por puntos rotativos en el atornillador o el riesgo ergonómico por movimientos repetitivos.

Algunos otros aspectos clave que se incluyen en la *JBS* son:

- El mantenimiento autónomo de la estación: se realiza para verificar que las maquinas, herramientas y materiales estén disponibles para su uso, además de que la estación se encuentre ordenada y limpia.

- La liberación de la primera pieza: se realiza como verificación y registro de aspectos clave para la calidad del ensamble, esto solo cuando se comienza turno o se cambia el catálogo a ensamblar.
- La inspección durante el ensamble: Se realiza al recibir un ensamble de una estación anterior en el proceso y antes de entregar el ensamble realizado en la estación a la que le sigue.
- Retrabajo: En algunas *JBS* se incluyen instrucciones para realizar un retrabajo en caso de ser necesario, como lo pueden ser la extracción de tornillos incorrectos.

Estos procedimientos se detallan a mayor profundidad en sus propios documentos, por lo cual en la *JBS* se limita a hacer referencia a estos documentos. Toda la documentación respectiva de cada línea se encuentra disponible para el personal operativo en la computadora de la estación que le ha sido asignada y es accesible mediante un menú interactivo integrado.

De la mano con la *JBS* se realizó también una *OWS* (Operation Work Standart). El cual es un documento con el mismo propósito que la *JBS*, pero de una manera más resumida, pues utiliza únicamente imágenes para describir el proceso, lo cual permite una recapitulación rápida de este.

Tanto la *JBS* como la *OWS* son documentos estandarizan el proceso y son utilizados como referencia por el personal operativo, de manera que el ensamble de un producto se realice de la misma manera cada vez que se solicita, garantizando la calidad del producto y la optimización del proceso.

La metodología utilizada para la realización y validación de una *JBS* es la siguiente:

- **Validación de entrada de materiales.** Se revisa la entrada de materiales requeridos para la realización del ensamble en cada estación. También se verifica que los números de parte sean correctos y coincidan con la referencia visual establecida en el documento. En caso de que algún componente no esté descrito o no coincida con el modelo, se debe revisar el dibujo técnico del ensamble para validar sus componentes y características.
- **Validación de entrada de herramientas y equipo:** Al igual que la entrada de materiales, se deben validar el equipo que se utilizará en la estación para realizar el ensamble, entre estos se incluyen: atornilladores eléctricos, aditamentos, tintas, sellos, dispensadores, remachadoras, *Poka Yokes*, etc. El operador de cada estación debería contar con su equipo completo y en buen estado para realizar su proceso satisfactoriamente.
- **Estandarización del proceso general de las estaciones:** En cada una de las estaciones se cumple una serie de procesos que el personal operativo realiza en diferentes circunstancias (antes de comenzar a ensamblar o al finalizar su ensamble). Este proceso debe seguir un estándar en cada una de las estaciones, pues de esta manera se asegura que todas las estaciones

han realizado su proceso y como resultado se facilita el llevar un control del estado de la estación, de las herramientas y los componentes, además de poder detectar cuando un proceso no resultó como se espera y la causa de ello.

Una vez que se ha realizado una *JBS*, esta debe pasar por la aprobación del departamento multidisciplinario, en el cual se incluye la aprobación de los ingenieros de los departamentos de calidad, de seguridad y de producción.

Posterior a la aprobación de las *JBS*, estas se sellaron y se publicaron como documentación oficial en el sistema de gestión de calidad propio de la empresa para que puedan ser consultadas por personal autorizado por esta.

Fase 3. Programación de sistemas de visión.

Para asegurar la calidad total de los ensambles fue necesario robustecer los métodos bajo los cuales se valida la presencia de componentes fundamentales para el ensamble, además de no permitir el paso de ensambles que no cuenten con dichos componentes.

Durante el levantamiento realizado en planta Tlaxcala 1 se observó el método que se utilizaba en varias líneas para la inspección de componentes. Estos consistían en sistemas *Poka Yoke* basados en sensores que validaban la presencia de un solo componente, seguido de un pistón que bloqueaba el ensamble en caso de que la validación fuera negativa. En la imagen 31 se observa uno de estos sistemas.

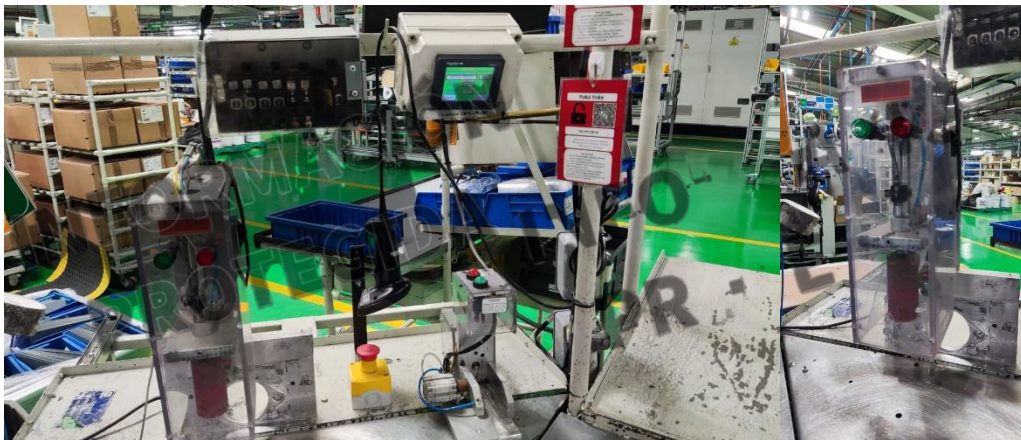


Imagen 31. Sistema Poka Yoke utilizado en planta Tlaxcala 1.

El principal inconveniente de este tipo de sistemas era la poca versatilidad del sistema, pues para muchos ensambles de diferentes catálogos resultaba

demasiado específico, resultando un sistema rígido y complicado de escalar, sin mencionar las fallas en calibración que podrían presentarse debido a la antigüedad del sistema.

La importancia de la implementación de los sistemas de visión radica en su criticidad para evaluar la presencia de componentes clave con los que debe contar el producto final. Un ejemplo de esto es el gasket del gabinete, el cual es un elemento cuya presencia contribuye a cumplir con una característica de seguridad para el cliente. Se trata de una rondana de goma adhesiva que se coloca en uno de los barrenos para el atornillado del gabinete, cuyo propósito es impedir la filtración de agua al interior de este.

Este componente es colocado de forma manual por el operador y se hace uso únicamente de un aditamento para aplicarle presión y que este quede bien pegado. El componente debe quedar bien centrado en la zona que se le indica al operador en su *JBS*. En la imagen 32 se muestran dos ejemplos de la colocación de un gasket en ensambles de gabinetes:



Imagen 32. Ejemplos de colocación del gasket en el interior del gabinete.

3.1. Instalación del sistema

En todas las líneas de gabinetes se implementó un sistema de visión en las estaciones que preceden al cerrado y empaque del gabinete, esto con la finalidad de realizar la inspección final del producto. Estas inspecciones ayudan a garantizar que el ensamblaje se ha realizado de forma correcta y por lo tanto llegará al cliente sin defectos.

El sistema de visión se integró con un sistema de botones y actuadores mediante *PLC*, lo cual lo convirtió en un sistema *Poka Yoke* reprogramable y escalable adecuado para la inspección de catálogos actuales y catálogos nuevos.

En la imagen 33, se muestra la instalación general de un *PLC* utilizado para la integración del sistema de visión.



Imagen 33. EL PLC Modicon de Schneider Electric es conocido por su fiabilidad y sencillez.

Cada sistema de visión incluye una cámara de visión y una pantalla de visualización mediante la cual se realizó la programación de la cámara de manera sencilla. Estos componentes se instalaron de manera estratégica para que la cámara pudiese visualizar los puntos críticos de manera sencilla, mientras que el operador puede recibir retroalimentación de los resultados de la inspección a través de la pantalla de visualización. En la imagen 34, se muestra la instalación de uno de los sistemas de visión:



Imagen 34. Instalación del sistema de visión en una de las líneas. El sistema incluye una pantalla de visualización que permite programar la cámara.

Un aspecto importante para que el sistema de visión pueda realizar las inspecciones de forma correcta es la posición del ensamble que se va a inspeccionar, en este caso el gabinete correspondiente. Esto quiere decir que los componentes a inspeccionar deben estar siempre en la misma posición. Si se llegase a colocar el ensamble de gabinete de forma invertida, el sistema no sería capaz de detectar los componentes y respondería automáticamente con una señal para ausencia de componente.

Para la colocación correcta del ensamble en la zona de inspección, se realiza una base a modo de aditamento en donde se inserte el ensamble de gabinete de una manera específica en cada operación. En la imagen 35, se muestra una de las bases implementadas como zona de inspección del ensamble. La capucha del gabinete se coloca dentro de la ranura en la pared.

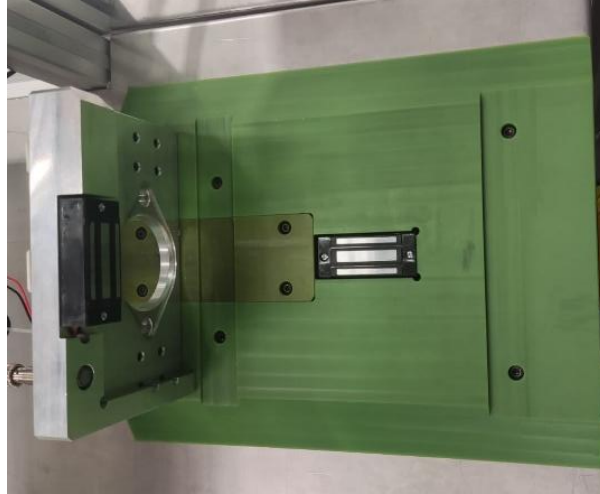


Imagen 35. Base implementada para la colocación correcta del ensamble.

Como se mencionó anteriormente, un *Poka Yoke* debe evitar el paso de ensambles que presenten un modo de falla, por lo que se debe implementar un método que impida que los ensambles de gabinetes sean retirados de la base en caso de que la inspección sea no satisfactoria. Para dar solución a esto, se implementaron pistones cuyo propósito es el de sujetar o bloquear el gabinete mientras se inspecciona y retenerlo en inspecciones no satisfactorias.

En la imagen 36, se muestra un sistema de dos pistones implementado para la sujeción de un ensamble de gabinete. El gabinete debe colocarse siempre empalmado a la esquina inferior izquierda. El operador acciona el sistema mediante mandos bimanuales para asegurar que sus manos no estén presentes en el punto de presión de los pistones.



Imagen 36. Sistema de pistones implementado para la sujeción de un gabinete. Funciona para distintos tamaños.

Para el control y secuencia de la cámara se realiza la programación en Ladder usando el software *EcoStruxure Control Pro*™ de Schneider Electric. Esta de programación se realiza en colaboración con proveedores del sistema de visión de acuerdo con el método establecido.

La forma en que se realiza la programación es mediante bloques de programa separados que son llamados cuando el *PLC* recibe las señales de entrada de activación. La secuencia del sistema de visión se divide en secciones:

- Señal de activación: Se envía una señal al *PLC* para iniciar la secuencia de inspección.
- Accionamiento de seguros: El *PLC* activa los pistones del *Poka Yoke* para sujetar el gabinete o bloquear su salida, dependiendo de la línea.
- Inspección de componentes: Se envía la señal a la cámara de visión para realizar su disparo lo cual captura la imagen del gabinete actual y la compara con la base de datos para determinar si los componentes están presentes.
- Resultados de la inspección: El sistema de visión envía su resultado al *PLC*, el cual determinará el bloqueo o liberación del gabinete basándose en el resultado recibido:

Gabinete OK: El *PLC* desactiva los pistones que sujetan o bloquean al gabinete y escribe un mensaje en el HMI declarando que la inspección ha sido satisfactoria. Basta con retirar el gabinete del *Poka Yoke* para realizar una nueva inspección.

Gabinete NG: En este caso el *PLC* mantiene bloqueado el gabinete y escribe un mensaje en el *HMI* declarando que la inspección ha sido insatisfactoria e indicando cual es el defecto presente. Para desbloquear el gabinete se debe ingresar una contraseña.

En la imagen 37, se muestra un fragmento de la programación realizada debido a que está protegida por ser de carácter sensible.

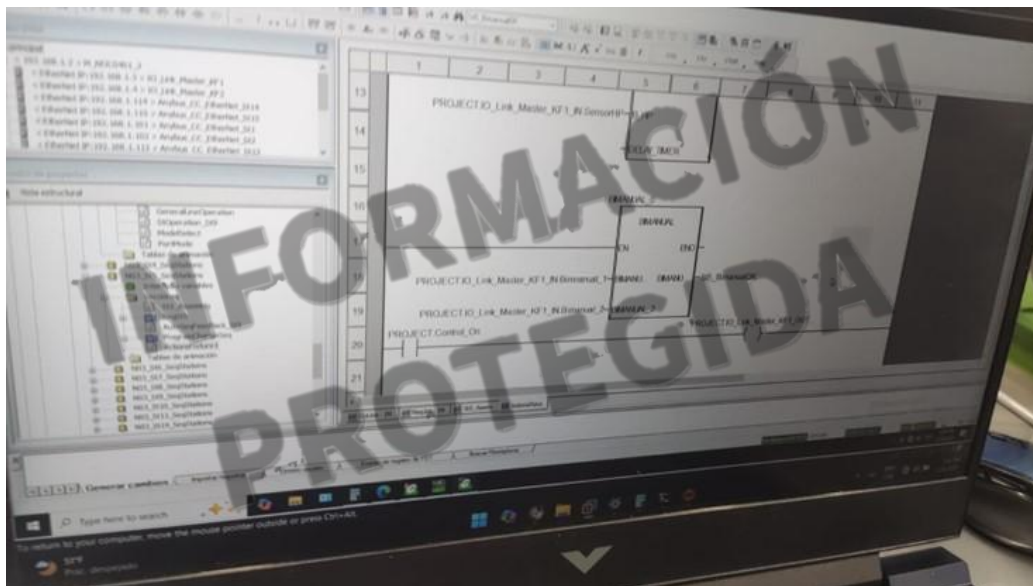


Imagen 37. Programación en Ladder utilizada para la activación de las cámaras.

Como método de activación inicial para facilitar la programación del sistema de visión se implementó un menú interactivo mediante *HMI*, el cual permitió realizar los disparos para las inspecciones y la calibración del sistema de forma sencilla. Durante esta etapa el *Poka Yoke* no bloqueaba los gabinetes, únicamente mostraba el resultado de la inspección en la pantalla del *HMI*. En la imagen 38 se muestra el interfaz implementado durante la programación y calibración del sistema:



Imagen 38, Interfaz implementada durante el proceso de programación de los sistemas de visión.

3.2. Elaboración de ensamble de muestra para la base de datos.

Posterior a la instalación y programación de la secuencia, se procede con la programación de los modos de falla que serán detectados por la cámara.

Para este propósito se recurrió nuevamente al *PFMEA* para determinar los puntos con mayor *RPN* que pueden ser detectados mediante la inspección con la cámara, siendo algunos de estos la presencia del breaker en algunos gabinetes o la presencia del gasket, como se mencionó anteriormente.

Entre los modos de falla que la cámara es capaz de detectar se encuentra la ausencia de algún componente o la desalineación de uno o varios componentes. Otros modos de falla no son posibles de detectar por medio de la cámara, como lo son el torque que se le dio a un tornillo o las etiquetas colocadas por el exterior del gabinete.

Para crear la base de datos con la que se programó la cámara, se realizaron varios ensambles de catálogos a modo de ejemplo. Uno de estos ensambles se realizó de forma correcta sin que presentase modos de falla. Al mismo tiempo, se realizaron varios ensambles con modos de falla realizados intencionalmente, esto con el objetivo de ejemplificarlos y capturarlos en la cámara.

Al ensamble realizado correctamente se le conoció como “*Golden sample*”, mientras que a los que presentaban modos de falla se les conoció como “*Red rabbits*”.

En la imagen 39, se muestran dos ejemplos de Red rabbits (derecha) con los modos de falla “Gasket en posición incorrecta” y “Gasket faltante”. A la izquierda, un ejemplo de “Golden sample”.

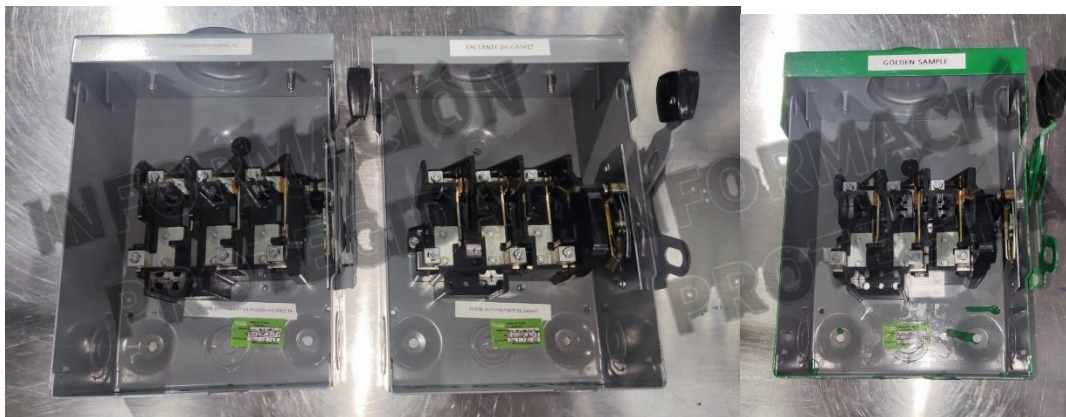


Imagen 39. Ejemplos de ensamble de Red Rabbits y un ensamble de Golden Sample.

Una vez realizados los ensambles de Golden Sample y Red rabbits, se realizó la programación de las cámaras usando estos ensambles como base de datos.

Dentro de las herramientas de inspección con las que se puede programar el sistema se utilizaron principalmente la de **identificación con IA** y **distinción con IA**. El resto de las opciones no son de mucha utilidad para los ensambles realizados. En la imagen 40 se muestran las herramientas de inspección disponibles.

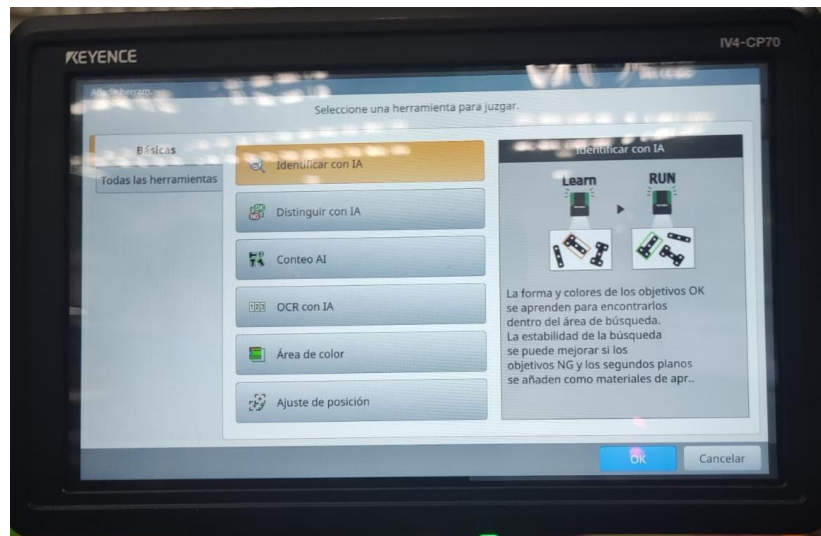


Imagen 40. Herramientas de inspección con IA disponibles en el sistema de visión.

La herramienta identificación con IA es capaz de determinar la presencia de un componente marcado como objetivo maestro dentro de un rango de inspección determinado.

La herramienta distinción con IA determina la presencia de componentes en una posición determinada mediante la comparación con la base de datos de imágenes con modos de falla.

3.3 Programación de la imagen maestra.

La **imagen maestra** es una imagen en la que el ensamble cuenta con todos sus componentes, la cual se usa como base para que el sistema compare el resto de las imágenes y determine la falla.

Para capturar la imagen maestra se colocó el *Golden Sample* en la zona de captura del *Poka Yoke* de la estación correspondiente. Posteriormente, se realizó un disparo de la cámara y la imagen resultante se visualizó en la pantalla del sistema de visión.

Una vez capturada esta imagen, se procedió con la definición de los componentes que se inspeccionarán. Para esto se seleccionó el área en la que se encuentran dichos componentes y se marcan como OK. Los componentes se señalizan de verde para indicar que secciones de la imagen serán analizadas.

Una de estas imágenes se muestra a continuación (imagen 41), en esta se capturó la presencia de la bolsa de accesorios al interior del gabinete. La herramienta de inspección en este caso es la de **identificación con IA**.

En esta se señala el componente que debe estar presente y la zona en la cual el sistema lo buscará para validar su presencia:

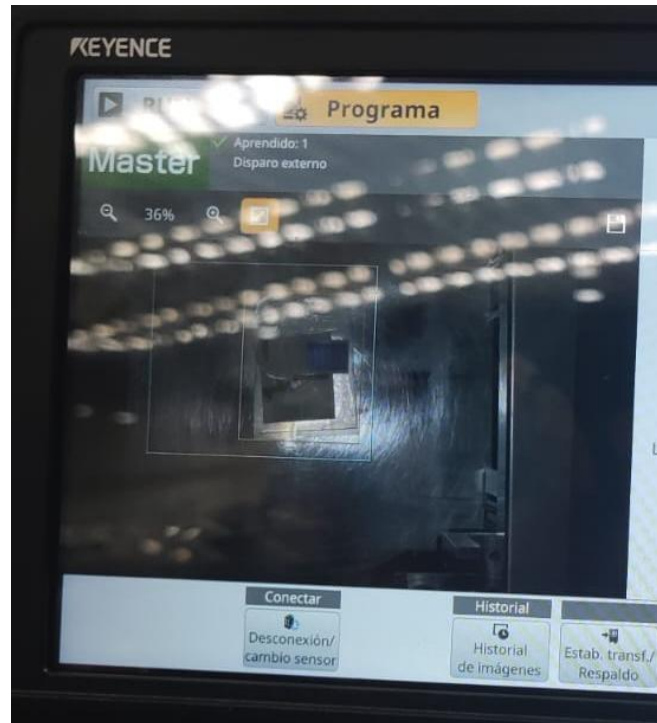


Imagen 41. Captura de una imagen maestra. En esta se encuentra presente la bolsa de accesorios.

En la imagen 42, se muestra otra de las imágenes maestras capturadas. En esta se utiliza la herramienta de distinción con IA. Los componentes que inspecciona el sistema son la capucha aisladora del breaker y el tornillo de la base, los cuales se señalizan en verde.



Imagen 42. Captura de una imagen maestra. En esta se encuentran presentes la capucha aisladora y el tornillo del neutro.

A continuación, se inicia el aprendizaje mediante Inteligencia Artificial. El sistema de visión reconocerá automáticamente la presencia de componentes en las zonas indicadas.

3.4 Programación de las imágenes con modos de falla.

Una imagen no conforme es una imagen que muestra algún modo de falla que puede presentarse en el ensamble. El sistema de visión necesita una amplia colección de estas imágenes para robustecer su algoritmo y lograr inspecciones más precisas.

Estas imágenes se capturaron de forma similar a la imagen maestra; se colocó el ensamble Red rabbit en la zona de captura y se realizó un disparo de cámara, plasmando la imagen en la pantalla del sistema de visión.

A continuación, se procede con la definición del modo de falla que detectará la cámara. Para esto se seleccionó el área donde se encuentra el modo de falla y se marca como NG. Los componentes se señalizan de rojo para indicar que en esas secciones hay un modo de falla.

Dos de estas imágenes se muestran a continuación, en la imagen (se captura un Red rabbit cuyo modo de falla es la ausencia de la capucha aisladora y en la imagen (se captura otro cuyo modo de falla es la incorrecta colocación de dicha capucha.

En la imagen 43 se muestra la captura de un ensamble “Red rabbit” cuyo modo de falla es la ausencia de la capucha aisladora, pese a esto, el clip de la capucha está presente en el ensamble. Este modo de falla se configura como “Ausencia de componente” en el sistema de visión.

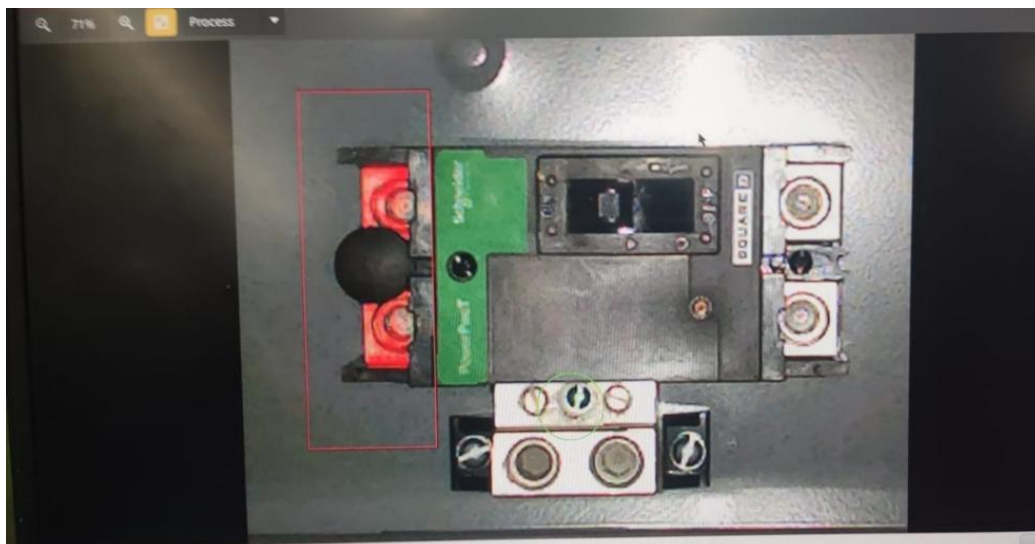


Imagen 43. Red rabbit con el modo de falla "Ausencia de componente".

En la imagen 44, se captura un ensamble “Red rabbit” cuyo modo de falla es la colocación incorrecta de la capucha aisladora, cuya razón puede ser la ausencia del clip o la mala colocación de este. Este modo de falla se configura como “Posición incorrecta” en el sistema de visión.

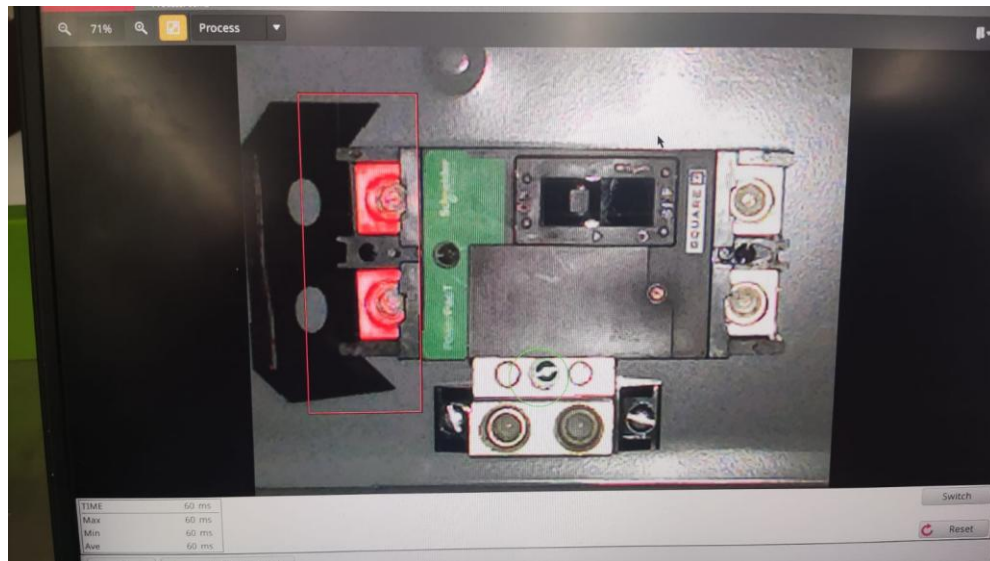


Imagen 44. Red rabbit con el modo de falla "Ausencia de componente".

Fase 4. Debuggin de línea e instalación de controles para evitar errores.

4.1. Debuggin de sistema de visión.

Posterior a la realización de la programación del sistema de visión, se realizaron pruebas de funcionamiento para asegurar que dicho sistema es capaz de inspeccionar y evaluar correctamente un ensamble.

El sistema permite ajustar la tolerancia que se le dará a las inspecciones para determinar si son aceptables o tienen algún defecto. En la imagen 45 se muestra la inspección de prueba de la presencia de una bolsa de accesorios utilizando la herramienta **identificación con IA**. En este caso el sistema de visión determina como aceptable la presencia de la bolsa en la zona establecida.

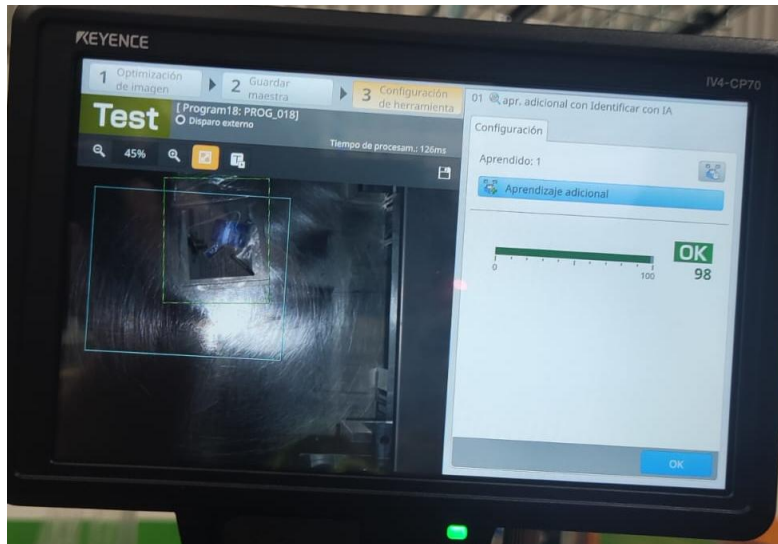


Imagen 45. Inspección de prueba para la presencia de una bolsa de accesorios.

A continuación, se realizó nuevamente una inspección en la que la bolsa de accesorios se encontraba fuera del área establecida. En este caso el sistema de visión determinó un modo de falla en el ensamble al no encontrar la bolsa de accesorios en el área determinada. En la imagen 46 se muestra la inspección realizada.

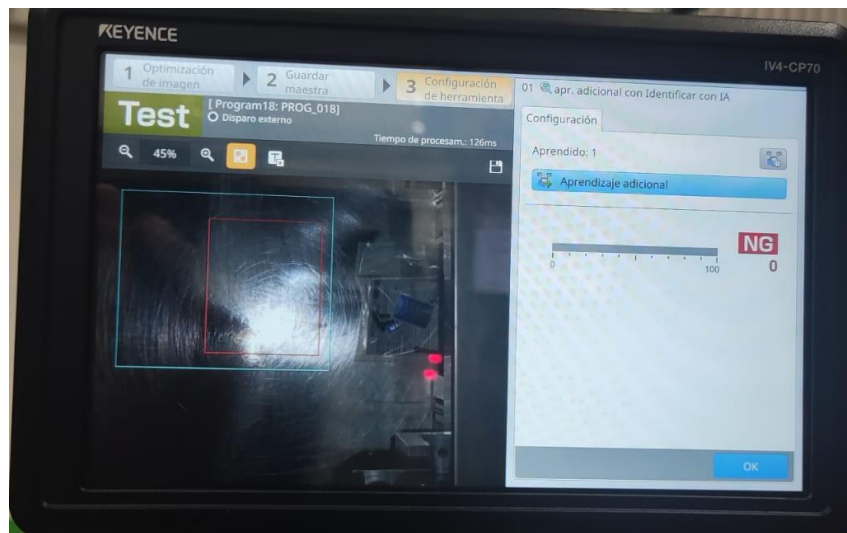


Imagen 46. Inspección con un modo de falla detectado. La bolsa de accesorios no se encuentra en el área determinada.

En la imagen 47 se muestra el ajuste de la zona de inspección se selecciona la opción de ajuste de rango de búsqueda. Basta con expandir el recuadro azul para expandir dicho rango de búsqueda. De igual manera se puede realizar el ajuste del contorno del objetivo maestro, el cual se buscará en el rango de búsqueda.

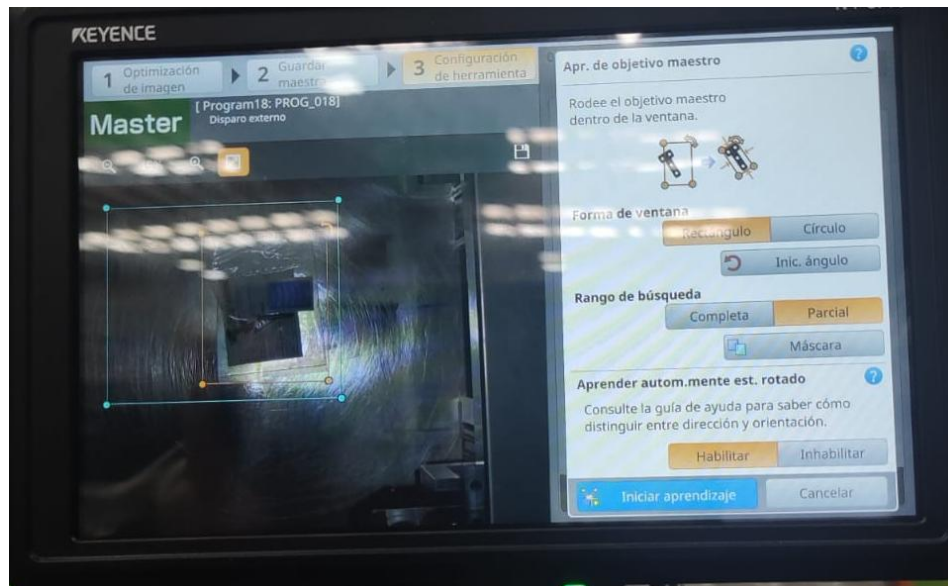


Imagen 47. Inspección con una falla detectada. La bolsa de accesorios no se encuentra en el área determinada

Después de la programación y pruebas de la cámara, se requirió un método para que el personal operativo pueda realizar las inspecciones de manera sencilla y eficiente. Para esto se implementó un método de accionamiento del sistema *Poka Yoke* mediante los mandos bimanuales que se integran en el mismo.

El método definido es similar para todas las líneas:

1. **Colocación del gabinete ensamblado en el *Poka Yoke*:** Se debe colocar correctamente el gabinete en el lugar designado para su inspección por cámara de visión. Esto es importante ya que la posición debe ser siempre la misma para su correcta inspección, pues la cámara realizará una comparación entre la imagen maestra e imágenes NOK contra la imagen que capture del gabinete en proceso.
2. **Accionamiento del *Poka Yoke* y disparo de la cámara:** El operador realizará el accionamiento del sistema de visión mediante la pulsación de mandos bimanuales. Esto iniciará el proceso del *Poka Yoke*, que comenzará bloqueando el gabinete mediante pistones neumáticos, ya sea sujetándolo o simplemente impidiendo que salga del *Poka Yoke* mientras se realiza la inspección. Posteriormente, la cámara realizará la inspección de componentes.
3. **Resultado de la inspección:** La cámara hará uso de la Inteligencia Artificial para determinar si el gabinete cumple con los requerimientos de calidad necesarios (Presencia de componentes). Al mismo tiempo, los sensores incorporados en el *Poka Yoke* determinarán la presencia de otros componentes clave que estén fuera del alcance de la cámara, como los son la capucha del gabinete o prueba de continuidad en determinados modelos.
4. **Liberación o bloqueo del gabinete:** Posterior a la inspección, el sistema de visión habrá determinado si el gabinete cumple con los requerimientos

necesarios. Si la inspección es positiva, el *Poka Yoke* liberará el gabinete mediante la retracción de los pistones que le bloquean durante la inspección, después bastará con retirar el gabinete y moverlo a la estación siguiente. Si la inspección es negativa, el *Poka Yoke* retendrá el gabinete y mostrará un mensaje de error, lo cual le avisará al operador que el ensamble es insatisfactorio. Se podrá liberar el gabinete mediante una contraseña colocada por el personal de calidad de la línea o el coordinador de línea.

4.2 Instalación de controles adicionales.

En algunas líneas, además del sistema de visión, el *Poka Yoke* implementado se integró con controles de calidad adicionales, esto para la inspección de puntos críticos de calidad que no fue posible inspeccionar por medio del sistema de visión.

Uno de estos controles se describe a continuación: Se trata de un sistema de prueba de continuidad integrado en conjunto con el sistema de visión. Estos dos sistemas conforman al *Poka Yoke* de la línea y se activan uno después del otro.

El sistema de prueba de continuidad se encarga de verificar que el mecanismo de palanca del gabinete ensamblado sea capaz de impedir el paso de corriente eléctrica entre los conectores cuando las navajas están levantadas, y de permitir el paso de corriente cuando las mismas navajas están introducidas en la mordaza.

En la imagen 48 se muestra el sistema de prueba de continuidad implementado.

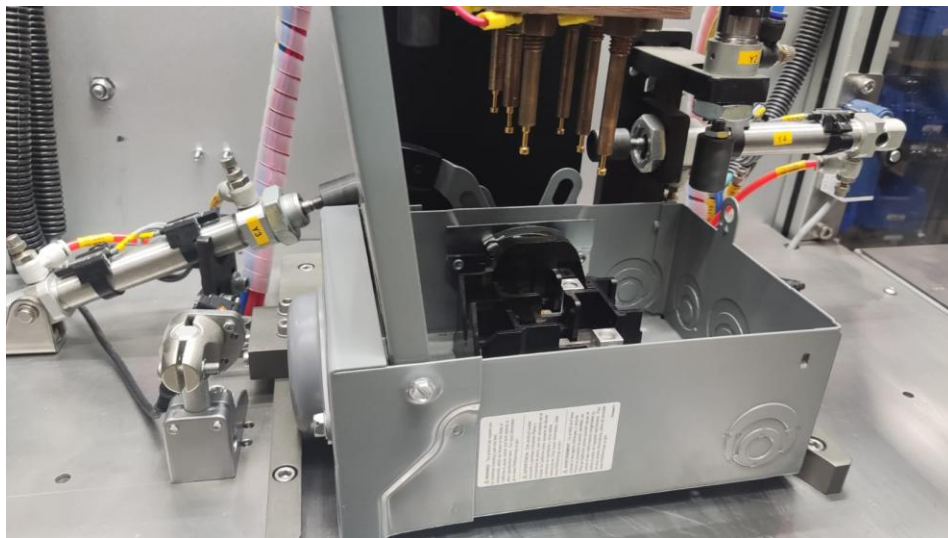


Imagen 48. Implementación de un sistema de prueba de continuidad en conjunto con el sistema de visión

Este sistema hace uso de varios pistones que se activan en secuencia con el sistema de visión. Dicha secuencia se describe a continuación:

1. **Se activa pistón de seguro:** El pistón de seguro se activa para evitar que el ensamble de gabinete sea retirado del *Poka Yoke* durante la inspección.
2. **Disparo de la cámara:** La cámara realiza la inspección del componente gasket. Si este no se encuentra presente o se encuentra mal posicionado, el sistema de visión arroja una señal de error y se bloquea el pistón de seguro.
3. **Se activa pistón de terminales de prueba de continuidad:** El pistón de terminales se activa para que estas hagan contacto con los conectores de la base.
4. **Se activa pistón de desconexión de navajas:** El pistón de desconexión empuja la palanca para desconectar las navajas de la base.
5. **Prueba de continuidad:** El sistema realiza la prueba de continuidad haciendo pasar corriente por los conectores de la base. En este caso se espera que no pase la corriente, ya que las navajas están desconectadas. En caso contrario, el pistón de seguro se bloquea.
6. **Se activa pistón de conexión de navajas:** El pistón de conexión vuelve a empujar la palanca para conectar las navajas de la base.
7. **Prueba de continuidad:** Se realiza nuevamente la prueba de continuidad, esta vez esperando el paso de corriente por los conectores de la base, ya que las navajas están desconectadas. En caso contrario, el pistón de seguro también se bloquea.
8. **Se desactiva pistón de seguro:** El pistón de seguro se desactiva para que el ensamble de gabinete pueda ser retirado del *Poka Yoke*.

4. Resultados.

Al término de la reimplementación de cada una de las líneas se realizaron auditorias conforme a la norma interna "Schneider Procesal System", la cual esta implementada en todas las plantas de Schneider como modelo de calidad para evaluar el estado final de cada línea, revisar sean adecuadas para mantener un ritmo de producción continuo, que su documentación este completa y cumpla con los estándares adecuados, que el personal haya sido capacitado satisfactoriamente y que las maquinas herramientas funcionen y estén calibradas adecuadamente.

Esta auditoria es realizada de manera interna por el departamento de calidad y de manera externa por auditores expertos que realizan la evaluación final para liberación o retención de la línea que se audita.

Todas las líneas de ensamble de gabinetes se implementaron en planta Tlaxcala 2 y su proceso fue robustecido. En otras palabras, se realizó la implementación de métodos mejorados para los procesos de ensamblado, pues se implementaron nuevos equipos y sistemas que mejoraron aspectos entre los que destaca la eficiencia de los métodos por los cuales se realizan estos ensambles.

4.1. Documentación.

Comenzando con la *JBS*, se concluyó en que eran satisfactorias, pues cumplían con el propósito de estandarización y explicación para el que fueron diseñadas.

El proceso de cada ensamble se detalló con buen nivel de profundidad y se redactaron instrucciones que el personal operativo podía utilizar de manera eficiente para la realización de su proceso. Se cuidó especialmente la coherencia, ortografía y cronología, de forma que se evitase la mal interpretación por parte de personal operativo al cual iba dirigido el documento.

Para la entrada de materiales en *JBS* se consideró un estándar en el que se incluyeran referencias visuales entendibles y resumidas para cada número de parte, procurando especialmente los materiales que variaban en mayor medida por catálogo y que se consideraron críticos para la calidad, seguridad y regulación.

En la imagen 49, se muestra de manera general una *JBS* realizada para el retrabajo de bases en una de las líneas:

Job Breakdown Sheet					
Detalles del Documento					
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: Retrabajo de bases.			OPERACIÓN: Retrabajo		
CATÁLOGO: DU222RB, DU222RBP, DU222, DU222RB, DU222RBP, CD221N, CD221NCP, D221N, D221NCP, D221NRB, D221NRBP, CD221N, CD221NRB, D221N, D221NCP, D221NRB, D221NRBP, DU221RB, DU221RBP, DU221, DU221RB, DU221RBP.					
ESTADO POR: C			EFFECTIVO A PARTIR DE: 19/06/2025		
NÚMERO DE DOC: 8888		REVISIÓN: 0		PÁGINAS: 7	
ENTRADA DE MATERIALES					
Ilustración:					
Cantidad:	1	1	1	1	1
Número de parte:	NA	NA	NA	NA	NA
Descripción:	Base ensamblada 3 Poles	Base ensamblada 3 Poles	Base ensamblada 3 Poles	Base ensamblada 2 Poles	Base ensamblada 2 Poles
Símbolos					
SÍMBOLOS DEL PROCESO	INSPECCIÓN VISUAL	INSPECCIÓN CRÍTICA DE CALIDAD S&P	INSPECCIÓN CRÍTICA DE PROCESO S&P	INSPECCIÓN AUDIBLE	
	CANTIDAD WIP	INSPECCIÓN CRÍTICA DE CALIDAD	INSPECCIÓN CRÍTICA DE PROCESO		
SÍMBOLOS DE SEGURIDAD	RIESGO ERGONÓMICO	RIESGO DE APLASTAMIENTO	PROHIBIDO OPERAR SIN GUARDAS DE SEGURIDAD		
EPP REQUERIDO	Lentes de seguridad	Calzado de seguridad	Guantes anticontacto Anexo 11-737	SÍMBOLOS DE CALIDAD:	
					ACEPTADO
					RECHAZADO
Lista de Equipo					
Ilustración:					
Descripción:	Estación de retrabajo	Máquina para quitar remaches	Adhesivo magnético		

Imagen 49. Una JBS realizada para la operación de retrabajo de bases.

El propósito principal de la JBS fue estandarización y optimización del proceso, pues este se dividió en pasos individuales y secuenciales, lo cual permitió una mayor eficiencia en los ensambles realizados en cada línea. Adicionalmente, este documento fue útil para la capacitación del personal operativo, puesto que es un documento que explica de manera clara todo el procedimiento que el operador debe realizar para hacer su trabajo, por lo cual es una guía fiable y estandarizada.

En la imagen 50 se muestra de manera general la estructura de una OWA realizada para una de las líneas.



Imagen 50. Una OWS realizada para la línea de 441. El proceso se resume en solo imágenes.

En cuanto a *PFMA*, se revisó la relación entre este documento y la *JBS*, de manera que se cubriera el establecimiento de métodos que garantizaran el correcto ensamble de componentes y la realización adecuada de otros procesos de transformado, como los atornillados y remachados. De esta manera se logró la implementación de métodos de ensamble que cubrieran los modos de falla definidos en *PFMA*, cada método acorde a la criticidad del modo de falla.

4.2. Disposición de las estaciones.

En lo que respecta a layout, se logró realizar la reimplementación de las líneas aplicando una mejora en la disposición de las estaciones, de manera que se robustecen aspectos clave como:

- **Tiempos:** Los tiempos de producción se hicieron más eficientes, pues el flujo que seguía el ensamble se hizo más organizado y armonioso.
- **Orden y limpieza:** La disposición implementada permitió un mejor desempeño en cuanto a 5s gracias a la identificación de los elementos tanto físicamente como en documentación y ayudas visuales. Adicionalmente, se implementó un estándar de bins eficiente para el surtido y desecho de materiales
- **Seguridad:** Se implementaron medidas de seguridad adicionales propuestas por el propio departamento de manufactura y también por el departamento de HSE, entre ellas cortinas de seguridad y guardas como estándar para maquinas con riesgo de aplastamiento, tapetes antifatiga apropiadamente

colocados e implementación de mantenimiento autónomo preventivo por parte del personal operativo.

Además, se implementaron estándares que no existían en las estaciones de las líneas, como lo es la colocación de dos bins de materiales por número de parte como estándar para todas las estaciones.

En la imagen 51 se muestra una estación de inspección visual que sigue el estándar implementado.



Imagen 51. Estación que cumple con el estándar implementado en todas las líneas.

En general, la disposición de las estaciones se notó mucho más organizada y eficiente en comparación a la disposición en la planta Tlaxcala 1.

4.3. Mejoras de proceso.

En cuanto a la implementación de mejoras para procesos de ensamble, se consiguió la optimización de diferentes métodos, esto mediante la implementación de aditamentos y herramientas que contribuyeron a la eficiencia y mejor desempeño en el ensamblado.

En la imagen 52 se muestra un ejemplo de la reimplementación que se realizó por cada línea. Se observa a la izquierda una estación de remachado de mecanismo de palanca a gabinete de planta Tlaxcala 1. A la derecha, la reimplementación de la misma estación realizada en planta Tlaxcala 2.



Imagen 52. Reimplementación de una estación de planta Tlaxcala 1. Se trata de una estación de remachado de mecanismo de palanca a gabinete.

En la imagen 53 se muestran aditamentos reimplementados para el atornillado de conectores zapatas en una de las líneas, los cuales sostienen los componentes mientras se realiza la operación. Estos aditamentos se pueden intercambiar fácilmente enroscándolos a los barrenos de la mesa, lo cual impide que este se mueva durante la operación de atornillado correspondiente al ensamble:

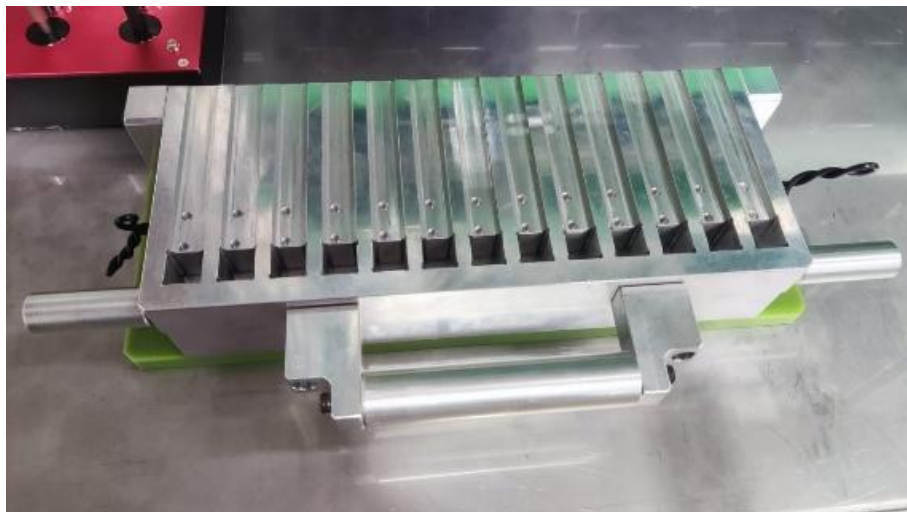


Imagen 53. Aditamento utilizado para el ensamblado de zapatas de conectores.

Algunos aditamentos se implementaron en conjunto con los sistemas *Poka Yoke*, lo cual cubrió los puntos de eficiencia y calidad planificados, aportando también la

practicidad de espacio en el área de trabajo que representaban este tipo de sistemas.

En la imagen 54 se muestra un ejemplo de un aditamento que integra *Poka Yoke*: Se trata de un aditamento implementado para el atornillado de bases, este integra dos sensores que detectan la presencia de la zapata que se va a atornillar a la base. La función del aditamento es sostener la base e impedir que esta gire durante el atornillado, mientras que los sensores verifican la presencia de la zapata y bloquean el atornillado en caso de no detectar el componente.



Imagen 54. Aditamento utilizado para el atornillado de zapatas en una base. Los sensores laterales validan la presencia de componentes y desbloquean el atornillado.

Otra forma de implementación de un aditamento es cuando se requiere para realizar alguna operación específica de forma automática, ya sea porque esta resulta difícil de realizar manualmente y/o porque el proceso es demasiado laborioso. En este ejemplo se describe un aditamento forjador de zapata. El aditamento, además de sostener la base para el atornillado de una zapata neutra, realiza el doblado de las zapatas conectores de la base mediante el accionamiento de una serie de pistones. Este tipo de aditamentos reciben mantenimiento y calibración periódica con el objetivo de que pueda realizar múltiples ensambles antes de presentar algún tipo de falla. El aditamento forjador de zapata se muestra en la imagen:

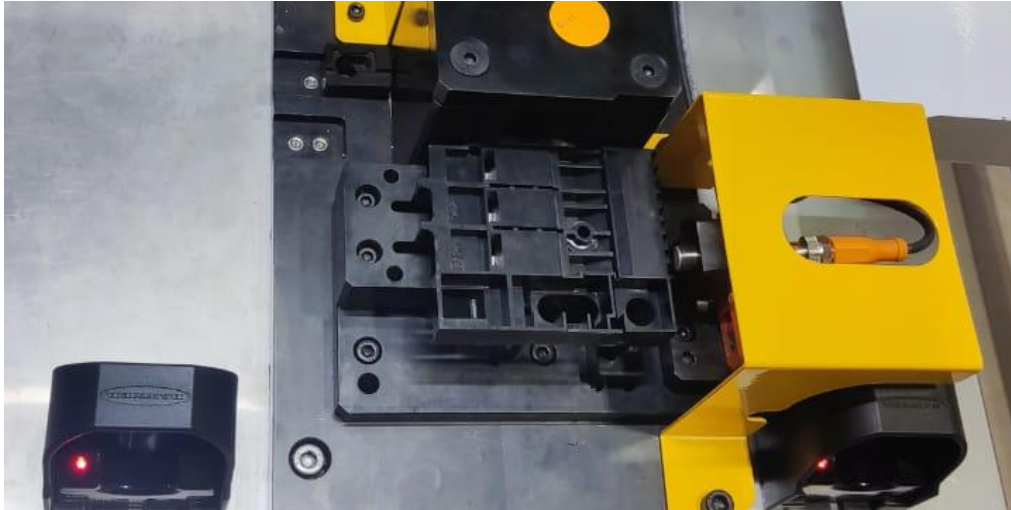


Imagen 55. Aditamento forjador de zapatas conectores para breaker, al mismo tiempo se utiliza para sostener la base mientras se atornilla.

Otros aditamentos se implementaron para propósitos de calidad, pues permitieron establecer un estándar bajo el cual se regulen ciertas características del ensamble, como pueden ser el dobléz de un conector, la apertura de una mordaza o la presencia de algún componente que no pueda ser inspeccionado por el sistema de visión.

Se hace el ejemplo con el siguiente aditamento implementado: Se trata de un aditamento cuya función es medir el dobléz de la zapata conector realizado por el aditamento forjador de zapata. El pin del aditamento permite saber si el dobléz es aceptable facilitando la inspección visual, en este caso si la ranura del pin sobresale del aditamento entonces la zapata no ha sido doblada lo suficiente, pero si por el contrario dicha ranura no se visualiza entonces la zapata se ha doblado en exceso.

Esto permite saber si el aditamento forjador de zapata está realizando correctamente su función, además de permitir detectar los ensambles cuyo dobléz de zapata puede ser retrabajado. De este modo, es importante que este tipo de

aditamentos estén calibrados y regulados para mantenerlos fiables para su uso, pues de ellos depende la calidad del ensamble final.

En la imagen se observa la verificación del doblado de una zapata usando el aditamento, en este caso la zapata no ha sido doblada lo suficiente:

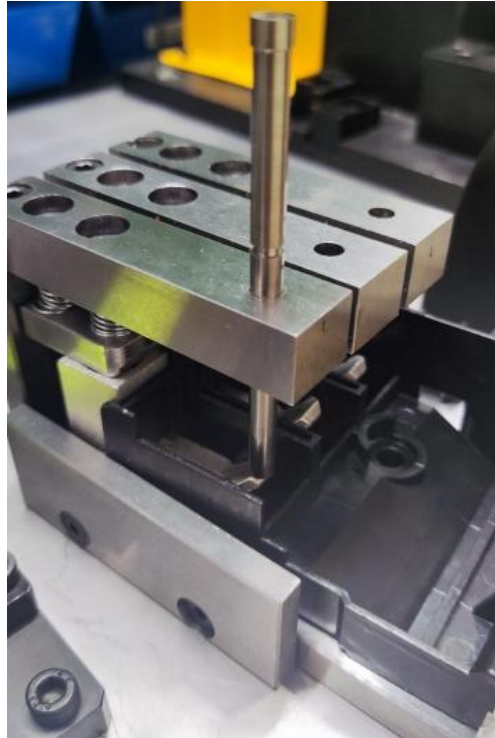


Imagen 56. Aditamento utilizado para verificar el doblado de las zapatas conectores.

4.4. Matriz de torques para programación de atornilladores.

La matriz de torques realizada permitió la correcta programación de los controladores de torque y la eficiente gestión de la calidad en los procesos de atornillado.

La matriz se le fue proporcionada tanto a proveedores de componentes de la línea como al departamento de mantenimiento para futuras referencias. De esta manera se puede dar mantenimiento a los controladores en caso de que ocurra un desajuste en los torques, además de poder programar nuevos torques para nuevos catálogos.

Un ejemplo de un controlador programado se muestra en la imagen 57. En esta se muestra la selección de la unidad de medida para el torque, en este caso libras sobre pulgada. Este controlador es de la marca Mountz.



Imagen 57. Programación de un torque en el controlador de Mountz.

Por su parte, la implementación de selectores de punta para atornilladores permitió una mejora en la eficiencia de los procesos de atornillado, pues le permitió al operador la selección de la punta correspondiente al ensamble en base a una referencia visual inmediata, la cual es el LED que señala la punta a utilizar.

Además, estos selectores permitieron establecer un estándar para la disposición de las puntas durante el proceso de ensamble, lo cual redujo aspectos como la confusión del tipo de punta o el extravío de estas.

En la imagen se muestran las puntas de una estación organizadas en un selector de puntas de la marca Mountz. Cada una posee una ubicación definida, de forma que el operador puede saber qué tipo de punta corresponde al ensamble.



Imagen 58. Puntas de atornillador organizadas en un selector de puntas de la marca Mountz.

4.5 Programación de sistemas de visión.

El sistema de visión con el sensor IV4 se ubicó en todas las líneas de producción justo antes del cerrado del gabinete y posterior empaque, esto con el objetivo de detectar los defectos oportunamente de manera efectiva. La implementación del sistema en esta fase permitió realizar las inspecciones justo antes de que el ensamble se cierre y no sea posible inspeccionarlo.

El sistema de visión fue capaz de realizar múltiples inspecciones de manera constante y precisa en la mayoría de las estaciones. La incorporación conjunta con el sistema *Poka Yoke* permitió que se pudiera frenar el avance de ensambles con modos de falla, de los cuales se pudo determinar la causa y tomar acciones de forma inmediata para evitar que volviesen a suceder.

En algunas de las líneas fue necesario ajustar la configuración del sistema, ya que este detectaba modos de falla en ensambles que no los presentaban. En la imagen 59 se muestra un ejemplo de esto: El gasket esta presente y en posición correcta, sin embargo, el sistema lo detecta como posición incorrecta.



Imagen 59. Sistema de visión con ajuste incorrecto.

El sistema de visión fue capaz de realizar inspecciones en todo tipo de ensambles, desde los más sencillos hasta ensambles más complicados, validando la presencia y correcta posición de componentes clave para el ensamble.

Mediante la implementación del sistema, se logró la inspección de ensambles que no habían sido posibles de inspeccionar mediante sensores. Un ejemplo de una inspección en un ensamble complicado se muestra en la imagen 60. En esta se inspecciona el remachado de una base, la cual cuenta con 12 remaches realizados simultáneamente.

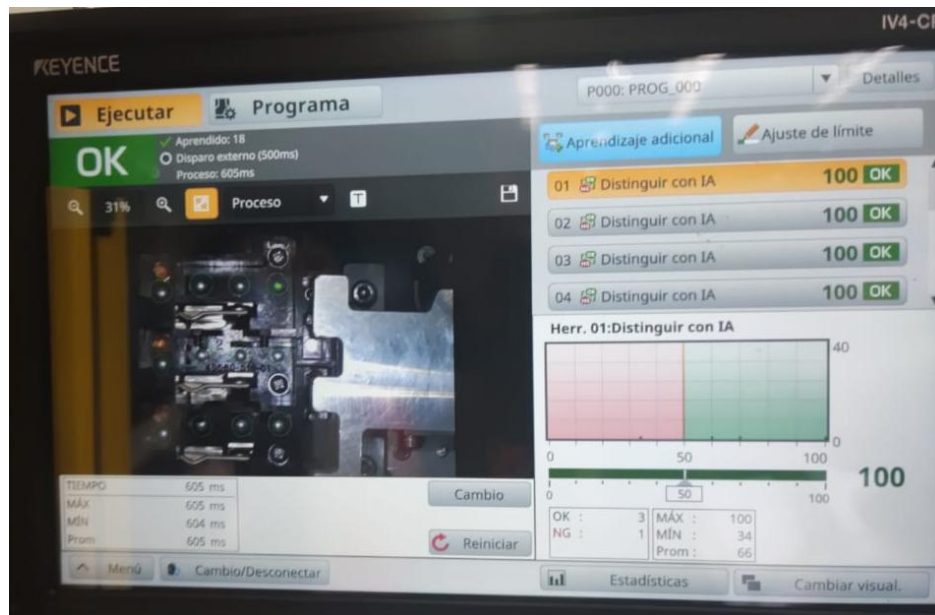


Imagen 60. Inspección de múltiples remaches en una base.

Esta cantidad de remaches no habría sido posible de inspeccionar por medio de sensores, y una inspección visual tardaría demasiado tiempo de proceso. La implementación del sistema de visión permitió que esta inspección fuese posible.

La incorporación del sistema *Poka Yoke* en conjunto con el sistema de visión permitieron la creación de estaciones *Poka Yoke* dedicadas a la inspección de componentes. Se capacitó a un miembro del personal operativo para realizar el proceso de inspección mediante el sistema de visión, entrenándolo con el método establecido en la *JBS* y poniéndolo a prueba mediante la realización de dicho proceso de manera continua en una corrida de ensambles de prueba.

Con esto cumplido se validaron y liberaron las estaciones como parte de las auditorías, determinándolas adecuadas para la producción en serie. Una de estas estaciones terminadas y liberadas se muestra en la imagen 61.



Imagen 61. Estación de Poka Yoke terminada y liberada para producción en serie.

Conclusión.

El sistema de visión propuesto sustituyó a las inspecciones que se realizaban mediante sensores convencionales en planta Tlaxcala 1, pues estas inspecciones no garantizaban al 100% los requerimientos de calidad que se exigen en el mercado. Con la implementación del sistema de visión se consiguió disminuir enormemente la cantidad de ensambles con modos de falla, lo cual se tradujo en menos retrabajos o devoluciones por parte de clientes.

El uso de tecnología que hace uso de Inteligencia Artificial en las industrias trae grandes beneficios cuando se implementa de manera correcta. Esta tecnología permite ahorrar tiempo, dinero y facilita la labor del personal.

El sistema de visión implementado aporta beneficios de gran importancia al producto final, pues agiliza los tiempos de inspección, mantiene los estándares de calidad siempre a la altura de las exigencias del mercado y permite que los clientes adquieran un producto confiable y seguro.

El uso de sistemas *Poka Yoke* evita que productos no conformes a los estándares de calidad lleguen al cliente. Esto aporta a la misión de la empresa de conseguir los cero defectos y mantiene su buena reputación y confiabilidad.

La optimización en la disposición de las estaciones permite el robustecimiento de aspectos clave para la mejora de procesos, como lo son la seguridad, eficiencia y rigidez de los métodos.

La implementación de aditamentos que ayuden a realizar diversos procesos le aporta valor al producto al reducir los tiempos de ensamble, además de permitir que su realización se haga de forma segura y con menos defectos en el ensamble o subensamble.

Tener organizados los diferentes torques que se utilizan en diferentes ensambles permite realizar la programación de secuencias de manera sencilla mediante controladores de torque, además de ayudar al mantenimiento de dichos equipos y a programar valores para nuevas referencias.

La documentación realizada en torno a los procesos aporta beneficios principalmente al personal operativo. La estandarización de la documentación de proceso garantiza que las operaciones se realicen de forma uniforme, segura y eficiente, además de reducir los defectos en los ensambles debido a confusiones en el proceso. Este tipo de material facilita el entrenamiento de personal nuevo y permite la consistencia operativa en general.

Competencias desarrolladas

El desarrollo de este proyecto aportó al perfil de egreso del ingeniero mecatrónico en diversos aspectos esperados al término de su plan académico. Estas se describen a continuación:

- Se siguieron normatividades tanto internas como externas mediante la estandarización de la documentación realizada.
- Se propuso y diseñó un sistema mecatrónico que contribuyó en la mejora de procesos de inspección y le facilitó a personal operativo la realización de dichos procesos.
- El sistema mecatrónico implementado integró tecnologías mecánicas, eléctricas, electrónicas y herramientas computacionales.
- Se planificó, evaluó, administró y transfirió un proyecto de carácter industrial para el desarrollo tecnológico a nivel estatal y nacional.

- Se participo y colaboró en un equipo multidisciplinario mediante el trabajo en equipo, lo cual permitió asegurar la calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad en la implementación de este proyecto.
- Se desarrollaron capacidades de comunicación y liderazgo para transmitir ideas, facilitar conocimiento y trabajo con responsabilidad al desarrollar el proyecto en colaboración tanto con ingenieros multidisciplinarios como con personal operativo.
- Se desarrollo el proyecto con un enfoque innovador y comprometido con la mejora continua profesional al implementar tecnologías de vanguardia como lo son la Inteligencia Artificial.

Referencias.

Alvarez, J. (2025). *¿Qué es la manufactura industrial? ¿Qué procesos y tipos existen?*
<https://overtel.com/blog-3/que-es-la-manufactura-industrial-que-procesos-y-tipos-existen>

Cao, P. (2025, May 3). *¿Qué es un PLC en electricidad? Guía completa con tipos y usos.*
<https://www.eabel.com/es/que-es-plc-en-electricidad/>

Flores, N. (2023, January 30). *Poka-Yoke, un método a prueba de errores.*
<https://blog.maestriasydiplomados.tec.mx/poka-yoke-un-metodo-a-prueba-de-errores>

Inycom. (2025). *Poka Yoke y su papel en la Industria.*
<https://inycomindustria.com/blog/mes/poka-yoke-y-su-papel-en-la-industria/>

Karmakar, P. (2023, April). *Job Breakdown Sheet (JBS).*
<https://www.benchmarksixsigma.com/forum/topic/39451-job-breakdown-sheet-jbs/>

Keyence México S.A. de C.V. (2025). *Sensor de visión con IA incorporada, Serie IV4.*
<https://www.keyence.com.mx/mykeyence/?ptn=001>

NEMA. (2025). *Enclosures.* https://www-nema-org.translate.goog/membership/products/view/enclosures?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq#:~:text=An%20electrical%20enclosure%20is%20a,%2C%20stainless%20steel%2C%20or%20aluminum.

Ortega, F., García, J., López, L., & Lozano, A. (2014). *Diseño y fabricación de Poka Yokes para las líneas de ensamble de rodamientos de bombas de agua: Caso práctico. ecorfan.*

https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-V/Articulo_14.pdf

Pankaj Son, & Tarun Yadav. (2018). Review Paper on “Productivity Improvement by using Poka-Yoke.” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(12). <https://www.irjet.net/archives/V5/i12/IRJET-V5I12139.pdf>

Pastor, J. (2017, October 4). *Poka-yoke, o por qué al fin el USB-C es un conector a prueba de tontos*. <https://www.xataka.com/perifericos/poka-yoke-o-por-que-al-fin-el-usb-c-es-un-conector-a-prueba-de-tontos>

RS. (2023, August 29). *Guía de PLC (Controladores lógicos programables)*. <https://es.rs-online.com/web/content/blog-rs/ideas-consejos/guia-plc>

Schneider Electric. (2025a). *EcoStruxure™ Control Expert*. <https://www.se.com/mx/es/product-range/548-ecostruxure-control-expert/#overview>

Schneider Electric. (2025b). *Modicon M340 PAC*. <https://www.se.com/mx/es/product-range/1468-modicon-m340-pac/#overview>

SDI. (2025). *HMI*. <https://sdindustrial.com.mx/blog/hmi/>

Six Sigma. (2024, March 26). *Lean Six Sigma Strategies – Risk Priority Number (RPN) in FMEA*. <https://www.6sigma.us/six-sigma-articles/risk-priority-number-rpn/>