



**PROCESO DE INSPECCIÓN FINAL PARA CORTINILLA
AUTOMOTRIZ.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA

PRESENTA

ING. LUIS EMMANUEL CORREA OLVERA

ASESOR: M. en C. JULIO CESAR SÁNCHEZ JIMÉNEZ

QUERÉTARO, QUERÉTARO, SEPTIEMBRE 2019.

DEDICATORIA

A mis hermanos Ale, Caro,
Kari, Miriam y Julio, por su
amor y apoyo.

A mis sobrinos Damián,
Manuel, Ana, Arturo, Moisés
y Matías, que vean en el
estudio la oportunidad de
cumplir sus metas.

A Karen por su compañía
durante este proceso, su
apoyo y su paciencia.

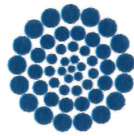
AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mi familia la cual siempre está presente en cada esfuerzo y proyecto que realizo y en especial a mis padres.

A mi director de Tesis M.C Julio Sánchez, mi agradecimiento y reconocimiento por sus consejos y recomendaciones.



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Querétaro, Qro, 17 de Julio del 2019.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

El abajo firmante, miembro del Comité Tutorial del Ing. Luis Emmanuel Correa Olvera, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis, titulado "PROCESO DE INSPECCIÓN FINAL PARA CORTINILLA AUTOMOTRIZ." **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro de manufactura avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Firma

M. en C. Julio Cesar Sánchez Jiménez
Asesor Académico

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Querétaro, Qro, 9 de Agosto del 2019.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del (la) alumno (a) **Luis Emmanuel Correa Olvera**, cuyo título es:

"PROCESO DE INSPECCION FINAL PARA CORTINILLA AUTOMOTRIZ"

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el (la) alumno(a), y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma


MCT Francisco Javier Barraza Navarro

RESUMEN

En el ámbito industrial el proceso de inspección realiza un papel importante para incrementar la productividad y mejorar la calidad de los productos fabricados, la inspección brinda la oportunidad de controlar muchos de los aspectos de la forma de fabricación, además de poder obtener información relevante sobre la forma en que se está fabricando, que mediante estadística genera datos para la toma de decisiones para mejorar los procesos. La automatización de la inspección permite evaluar diferentes metodologías de mejora, una de estas metodologías es el "Lean Manufacturing ha tenido un incremento en su aplicación en la mayoría de las empresas del sector automotriz. En los niveles tipo "Tier 3" y "Tier 2" es común encontrar células de fabricación con equipos semi automatizados, diseñados por diferentes integradores. Lo que se desarrolla en el presente trabajo es generar una forma de implementar una secuencia de producción "One-piece flow" perteneciente a la filosofía "Lean Manufacturing", que pueda ser aplicado por medio de señales eléctricas y conectores físicos. También se explora la manera en que se orienta la programación de un equipo de inspección final para cortinillas automotrices utilizando la lógica antes mencionada y orientando la programación hacia la metodología "Lean Manufacturing". Se contempla el uso de redes de Petri para el desarrollo de la lógica de "One-piece flow" obteniendo de esta manera las ecuaciones de inscripción y borrado para su implementación por medio de programación en lenguaje escalera, el cual es accesible para cualquier controlador lógico programable utilizable en la automatización. En el capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos, las ecuaciones y su representación en diagramas de Petri y lenguaje escalera, además se muestran las pantallas desarrolladas para la integración de las mejoras al proceso original y una tabla comparativa resumiendo los objetivos de mejora.

Palabras clave: **Ingeniería y Tecnología, Tecnología Industrial, Organización de la producción "One-piece flow", Redes de Petri, PLC, Automatización.**

ABSTRACT

In the industrial field, the inspection process plays an important role to increase productivity and improve the quality of manufactured products, the inspection provides the opportunity to control many aspects of the manufacturing method, in addition to obtaining relevant information on the way it is being manufactured, which by means of general statistics generates data for decision making to improve processes. The automation of the inspection allows to evaluate different improvement methodologies, one of these methodologies is "Lean Manufacturing has had an increase in its application in the majority of companies in the automotive sector. In the "Tier 3" and "Tier 2" levels it is common to find manufacturing cells with semi-automated equipment, structures by different integrators. What is developed in the present work is to generate a way to implement a "On-piece flow" production sequence belonging to the "Lean Manufacturing" philosophy, which can be applied by means of electrical signals and physical connectors. It also explores the way in which the programming of a final inspection equipment for automotive curtains is oriented using the aforementioned logic and orienting the programming towards the "Lean Manufacturing" methodology. It contemplates the use of Petri nets for the development of the "One-piece flow" logic, obtaining in this way the registration and deletion equations for its implementation through ladder programming, which is accessible to any programmable logic controller that can be used. in automation Chapter four shows the results obtained, the equations and their representation in Petri diagrams and ladder language, in addition the screens developed for the integration of the improvements to the original process and a comparative table summarizing the improvement objectives are shown.

Key words: **Engineering and Technology, Industrial Technology, Organization of the production "One-piece flow", Petri nets, PLC, Automation.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
GLOSARIO	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 LEAN MANUFACTURING	7
2.1.1 Producción justo a tiempo.....	9
2.1.2 Concepto JIDOKA.....	9
2.2 FLUJO DE UNA PIEZA OPF.....	10
2.3. CONCEPTO CAMBIO RÁPIDO SMED.....	13
2.4 INTRODUCCIÓN AL MODELADO DE PROCESOS CON RED DE PETRI.....	15
2.4.1 Definiciones y conceptos de las redes de Petri para procesos.....	15
2.4.2 Marcado de una red de Petri.....	18
2.4.3 Definición de la red de Petri.....	18
2.4.4 El árbol de alcanzabilidad.....	19
2.4.5 Propiedades de las redes de Petri.....	20
2.4.6 Definición de una red de Petri interpretada para automatismos.....	20
2.5 BÚSQUEDA DE PATENTES	22
3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	29
3.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL DISPOSITIVO DE INSPECCION.....	29
3.1.1 Objetivo de la automatización del proceso de inspección.....	29

3.1.2	Requerimientos del cliente.....	30
3.1.3	Diagrama conceptual.....	33
3.2	ARQUITECTURA DE CONTROL DEL EQUIPO DE INSPECCION FINAL.....	33
3.2.1	Selección de equipos.....	33
3.2.2	Filosofía de operación.....	33
3.3	MODELADO DEL PROCESO DE INSPECCIÓN POR MEDIO DE RED DE PETRI.....	33
RESULTADOS	35
4.1	MODELADO DEL proceso de inspeccion.....	35
4.1.1	Arquitectura de control de dispositivo de inspección.....	36
4.1.2	Selección de equipos.....	36
4.1.3	Medición de fuerza.....	37
4.1.4	Medición de colgado.....	37
4.1.5	Detección del color.....	37
4.1.6	Lectura de códigos de barras.....	38
4.1.7	Impresión de etiquetas.....	38
4.1.8	Detección de pieza.....	38
4.1.9	Actuadores.....	38
4.1.10	Filosofía de operación del proceso de inspección.....	39
4.1.11	Diagrama de flujo.....	40
4.1.12	Modelado del proceso de inspección por red de petri.....	40
4.1.13	Asignación de variables.....	41
4.1.14	Software para modelado de red de Petri.....	45
4.1.15	Ecuaciones de red de Petri.....	48
4.1.16	Ecuaciones de inscripción y de borrado.....	48
4.1.17	Ecuaciones de salida.....	49
4.2	MODELADO DEL PROCESO DE "ONE-PIECE FLOW" CASO 1.....	50
4.2.1	Modelado de red de Petri para OPF.....	50
4.2.2	Diagrama de red de Petri de OPF.....	51
4.2.3	Ecuaciones de red de Petri de OPF.....	52
4.2.4	Ecuaciones de inscripción y borrado de OPF.....	52
4.2.5	Evolución de marcado de OPF.....	53
4.2.6	Árbol de alcanzabilidad OPF.....	54

4.3 MODELO DE RED DE PETRI PARA OPF CASO 2.....	55
4.3.1 Modelado de tres estaciones.....	55
4.3.2 Árbol de alcanzabilidad de modelo de tres estaciones.....	56
4.3.3 Ecuaciones de red de Petri OPF de tres estaciones.	57
4.3.4 Ecuaciones de inscripción.	57
4.3.5 Análisis de caso 2 con detección de error.....	58
4.4 BLOQUES DE PROGRAMACIÓN EN PLC DEL PROCESO DE INSPECCIÓN.....	60
4.4.1 Programación del OPF en TIA PORTAL.	60
4.4.2 Lectura de RFID.....	64
4.4.3 Impresión de etiquetas.....	66
4.5 NAVEGACION EN HMI.....	68
4.5.1 Autodiagnóstico.....	68
4.5.2 Niveles de usuario.....	70
4.5.3 Menú de mantenimiento.	71
4.5.4 Ajuste de parámetros.	72
4.5.5 Calibración de celdas de carga.	72
4.5.6 Estado de sensores.....	74
4.5.7 Bloqueo de sensores.....	75
4.5.8 Asignación de tarjetas RFID.....	76
4.6. COMPARATIVA DE MEJORAS EN EL PROCESO DE INSPECCIÓN.....	77
CONCLUSIONES	81
APORTACION DE LA TESIS.....	83
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Beneficios de la implantación “Lean” .	8
Figura 2. Casa del sistema de producción TOYOTA.	8
Figura 3. Concepto de JTI.	9
Figura 4. Flujo de pieza con almacenamiento intermedio.	10
Figura 5. Flujo de una sola pieza a través de los procesos.	12
Figura 6. Ejemplo de proceso en OPF.	12
Figura 7. Esquema de tiempos de SMED.	15
Figura 8. Descripción elementos de una red de Petri.	16
Figura 9.- Proceso de Trabajo con un procesador	17
Figura 10. Marcado de red de Petri antes y después del “disparo”.	18
Figura 11. Marcado de una red de Petri.	19
Figura 12. Diagrama de patente CN108073147.	24
Figura 13. Diagrama de patente KR100765091	25
Figura 14. Diagrama de patente CN103909608.	27
Figura 15. Diagrama de patente EP1125684.	28
Figura 16.- Cortinilla automotriz para cajuela.	29
Figura 17. Diagrama de proceso de ensamble y validación de cortinilla.	30
Figura 18. Zonas de medición de parámetros de fuerza de cortinilla.	32
Figura 19. Zona de medición de parámetro de colgado de cortinilla.	32
Figura 20. Diagrama de flujo general de HMI.	35
Figura 21. Arquitectura de control de comunicaciones.	36
Figura 22. Diagrama de flujo proceso de inspección.	40
Figura 23. Red de Petri de proceso de inspección con condiciones y eventos.	46
Figura 24.- Modelo de red de Petri de inspección con variables.	47
Figura 25.-Red de Petri de OPF.	51
Figura 26.- Evolución de marcado caso 1	53
Figura 27.-Árbol de alcanzabilidad.	54
Figura 28.-Red de Petri de OPF con 3 estaciones.	56
Figura 29.-Árbol de alcanzabilidad caso 2.	56
Figura 30.-Evolución de marcado para red de Petri de 1 modulo.	58

Figura 31.-Interacción entre tres módulos de OPF. 	59
Figura 32.-Declaración de variables de arranque.....	60
Figura 33.-Bloque programa arranque.....	60
Figura 34.-Declaración de variables de señales de entrada.	61
Figura 35.-Bloque de programa señales de entrada.....	61
Figura 36.-Bloque de variables de memorias de inscripción.	62
Figura 37.-Bloque de programación de memorias de inscripción.....	62
Figura 38.-Bloque de variables de borrado.....	63
Figura 39.-Bloque de programación de variables de borrado.....	63
Figura 40.- Declaración de variables de las señales de salida.	63
Figura 41.-Bloque de variables y de programación de señales de salida.....	64
Figura 42.-Bloque de programación de lectura de tarjetas RFID.....	65
Figura 43.-Bloque de programación de búsqueda de registro de tarjeta.	65
Figura 44.-Bloque de programación de conversión entera a carácter.....	67
Figura 45.-Bloque de programación de concatenado.	67
Figura 46.-Bloque de datos para comandos de impresión.....	68
Figura 47.-Pantalla HMI de edición de etiqueta.....	68
Figura 48.-Pantalla de HMI de validación de "Boundary".	69
Figura 49.-Pantalla HMI de validación de sensores antes de cada proceso de inspección.....	69
Figura 50.-Pantalla HMI de ayuda de localización de sensores.	70
Figura 51.-Pantalla HMI del menú de mantenimiento.	71
Figura 52.-Pantalla HMI ajuste de parámetros.	72
Figura 53.-Pantalla HMI de calibración de sensores analógicos.	73
Figura 54.-Pantalla HMI selección de sensor analógico.....	73
Figura 55.-Pantalla HMI calibración de celda de carga.	74
Figura 56.-Bloque de programación de escalamiento.	74
Figura 57.-Pantalla HMI estado de sensores.....	75
Figura 58.-Pantalla HMI bloqueo de sensores.....	75
Figura 59.-Pantalla HMI indicador Pokayoke.....	76
Figura 60.-Pantalla HMI asignación de tarjetas.....	76

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Propiedades de la red de Petri.....	20
Tabla 2. Características generales de máquina de inspección final.	30
Tabla 3.- Tabla de sensores.....	41
Tabla 4.- Tabla de comandos.....	42
Tabla 5.- Tabla de actuadores.....	42
Tabla 6.- Tabla de pre actuadores.....	42
Tabla 7.- Tabla de variables de entrada.	43
Tabla 8.- Tabla de variables internas.	43
Tabla 9.- Tabla de variables de salida.....	44
Tabla 10. Asignación de variables a lugares (condiciones).	44
Tabla 11. Asignación de variables a transiciones (eventos).....	45
Tabla 12. Ecuaciones de inscripción y de borrado.	48
Tabla 13. Ecuaciones de salida.....	49
Tabla 14.- Tabla de inscripción y borrado de OPF.....	52
Tabla 15.- Tabla de activaciones de OPF.	52
Tabla 16.- Tabla de variables de modelo de caso 2.	55
Tabla 17.- Inscripción y borrado de memorias.....	57
Tabla 18.- Ecuaciones de salida.....	57
Tabla 19.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección.....	77
Tabla 20.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).....	78
Tabla 21.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).....	79
Tabla 22.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).....	80

GLOSARIO

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Automatismo: Mecanismo que desarrolla un proceso con la mínima intervención externa.

Automatización: es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con mínima o nula intervención del ser humano.

Autonomatización: Automatización con toque humano (ver Jidoka). El segundo pilar del Sistema de Producción Toyota (TPS).

Cambios rápidos (SMED): Los cambios de útiles en minutos de un solo dígito se conocen como el sistema SMED, acrónimo de la expresión inglesa "Single-Minute Exchange of Die". El término se refiere a la teoría y técnicas para realizar las operaciones de preparación en menos de diez minutos.

HMI: Interface hombre máquina del inglés "Human Machine Interface".

Jidoka: Término utilizado en el TPS se puede definir como "automatización con un toque humano", la cual busca que cada proceso tenga su propio autocontrol de calidad.

Just in Time (JIT): Significa "Justo a Tiempo" y postula que se debe producir sólo lo que sea necesario, en la cantidad que sea necesaria y en el momento que sea necesario.

LAN: Red de área local, cubre oficinas o empresas (Local Area Network).

LD: Lenguaje de programación de PLC del inglés "Ladder Diagram".

Lean Manufacturing: Manufactura esbelta, es un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de actividades que no agregan valor en un proceso, agrupa

un conjunto de técnicas que facilitan el diseño de un sistema para producir y suministrar en función de la demanda, con el mínimo costo, una calidad competitiva y alta flexibilidad.

Niveles Tier: Los proveedores Tier 1 suministran a la compañía principal, los proveedores Tier 2 suministran a los proveedores Tier 1; Los proveedores Tier 3 suministran a proveedores Tier 2.

One Piece Flow (OPF): El concepto significa “flujo de una pieza” implica que una única pieza pasa de operación en operación en lugar de ser el lote de piezas el que se desplace.

PLC: Controlador Lógico Programable del inglés “Programmable Logic Controller”.

Pokayoke: Palabra japonesa que significa literalmente a prueba de errores, es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema.

Pull System (PS): Sistema de fabricación en el que la producción se basa en la demanda diaria real (ventas) y donde la información fluye del mercado a la administración en una dirección opuesta a la de los sistemas tradicionales (push).

Red de Petri: Una red de Petri (RP) es un modelo gráfico, formal y abstracto para describir y analizar el flujo de información de un proceso o secuencia.

RPIA: Red de Petri interpretada para automatismos.

SED: Sistema de eventos discretos.

WAN: Red de área amplia, cubre ciudades o países (Wide Area Network).

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Durante las últimas décadas en el ámbito internacional y nacional se ha incrementado el nivel de producción en masa y la competitividad industrial. Esto ha motivado un interés en perfeccionar la producción en los sectores industriales y la implementación de tecnologías que colaboren al mejoramiento en las actividades productivas [1].

El ambiente de competitividad mundial obliga a la micro y mediana empresa mexicana a su modernización tecnológica en el menor tiempo posible. Debido a esto, las industrias se han enfrentado con la necesidad de sustituir el uso intensivo de mano de obra con la automatización en sus actividades, esto con el objeto de cumplir con los niveles de exigencia en calidad, productividad, eficiencia, seguridad y rentabilidad que el mercado requiere hoy en día [2]. Así mismo, distintas industrias han incorporado a su estructura elaborados procesos de automatización que permitan mantener el ritmo de producción y la reducción de tiempos implementando filosofías como manufactura esbelta "Lean Manufacturing" (LM), cambios rápidos "Single-Minute Exchange of Die" (SMED), Flujo de una sola pieza "One-piece Flow" (OPF), producción justo a tiempo "Just In time" (JT), en la gestión de la producción. Con la unión de diferentes niveles de automatización en la cadena de valor se asegura la competitividad, la inclusión de sistemas capaces de responder a los cambios en la producción proporciona a las industrias ventajas decisivas relacionadas con la producción [1].

Actualmente la industria automotriz ha tenido un crecimiento constante en la zona del Bajío de México, en los últimos años grandes empresas de este sector se han instalado o incrementado sus capacidades en estados como Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes y San Luis Potosí. Dentro de las ventajas competitivas que soportan este crecimiento se pueden mencionar la buena capacidad logística, bajos costos, alta productividad, plantas de menor tamaño, más modernas y flexibles y nuevos parques industriales y mano de obra capacitada [3]. Junto con este crecimiento se observa también un incremento de proveedores especializados que soportan técnicamente el desarrollo de cada una de las empresas involucradas en la cadena de valor automotriz de esta zona. Es en este contexto en el que las diferentes empresas dedicadas a las

autopartes recurren a PYMES locales para sus desarrollos tecnológicos, nuevos proyectos, modificaciones y mejoras para las áreas de producción.

La manufactura esbelta es una filosofía que ha sido analizada y evaluada en una gran cantidad de tesis, artículos, e investigaciones. Las empresas automotrices comprometidas con la mejora continua buscan incorporar de manera rápida y eficiente este tipo de herramientas en sus líneas de producción [2].

Dentro de las empresas tipo "tier 2" y "tier 3" se tienen departamentos encargados de la ingeniería de las líneas de producción, en algunos casos estas líneas provienen de otras plantas en el extranjero y en otros son desarrollos nuevos. En estos departamentos el ingeniero de proyectos es el encargado de planear, cotizar e implementar las nuevas líneas o las modificaciones necesarias para nuevos productos o variantes de los mismos que se producirán.

Los ingenieros de proyectos de las empresas que buscan integrar las técnicas de la manufactura esbelta en sus líneas de producción encuentran problemáticas durante la implementación, la dificultad se presenta cuando los equipos de producción que tienen no brindan la flexibilidad para ser modificados o interconectados con otros, entre las causas se pueden mencionar el uso de equipos obsoletos o discontinuados, diferencia entre marcas utilizadas en los componentes y principalmente a que los equipos de producción son fabricados por diferentes integradores.

El que se utilicen diferentes proveedores de integración permite agilizar la instalación de líneas para productos nuevos, así como lanzar varias líneas al mismo tiempo, pero dificulta mantener un estándar de programación, ya que cada integrador tiene diferentes maneras de trabajar en un proyecto de automatización, es por eso por lo que se requiere de la especificación de estándares para controlar la variación de equipos en las integraciones realizadas.

En los procesos de inspección se busca estandarizar los equipos que se desarrollan por proveedores, los programadores tienen diferentes formas de realizar la automatización, teniendo de esta manera una variedad de códigos de programación dependiendo del

proveedor y de la complejidad del equipo solicitado [2]. De manera general, esta problemática es evidente al querer controlar de manera específica más de un equipo como en el caso de evaluar un sistema "One-piece-Flow" (OPF). El presente trabajo consiste en proponer una secuencia lógica de programación basada en las herramientas "Pull Systems"(PS) y "One-piece-Flow"(OPF) así como los medios físicos de conexión y cableado para una estación de ensamble e inspección que cuenta con tres estaciones de trabajo, en las que la estación final es la de inspección y es la que controla de manera centralizada la habilitación de las otras dos estaciones, esta característica se puede activar y desactivar de acuerdo a las pruebas que se requieran realizar.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La manera tradicional de detección de errores en los lotes de producción por medio de control estadístico no asegura que el 100% de los productos entregados cumplan con las características de calidad requeridas por el cliente.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El método tradicional de producción por lotes no garantiza que 100% de productos liberados cumpla con los requisitos de calidad, este método sólo toma algunas muestras del lote de producción para determinar si el lote completo cumple con las especificaciones de calidad además en las empresas de tipo "tier 2" y "tier 3" es común encontrar líneas de ensamble fabricadas por diferentes integradores lo que dificulta implementar filosofías de mejora que requieran acciones secuenciales entre las estaciones de producción. El aplicar las filosofías de mejora, como las de la manufactura esbelta, en equipos no diseñados para eso, deja en manos de los operadores la correcta aplicación y seguimiento. Por otro lado, la principal razón de automatizar cualquier proceso de manufactura es el incremento de la productividad, reduciendo los costos operativos y reduciendo también los tiempos de producción, pero al mismo tiempo mejorar el control de la calidad e incrementado la seguridad del operador. El aplicar las filosofías de calidad directamente en la programación de las estaciones de producción permite tener un control de la producción que no depende de la implementación por parte del recurso humano, mejorando el diagnóstico, supervisión y control de la calidad de producción.

Las filosofías de mejora continua en la industria, como la manufactura esbelta y la producción justo a tiempo, han sido introducidos en las empresas manufactureras desde hace tiempo, pero la inclusión de estos métodos directamente en la programación de los equipos permite evaluar el impacto de estas mejoras sin depender únicamente del acomodo ergonómico y del personal operativo.

El generar una implementación del OPF permitirá a la empresa comparar los resultados de operar bajo este esquema y la manera tradicional por lotes, con la posibilidad de monitorear las variables que se involucran de manera directa con la línea de producción, esta información es valiosa para la toma de decisiones sobre la productividad.

Al realizar la implementación del OPF y el autodiagnóstico en un equipo automatizado genera información detallada que puede ser especificada a manera de metodología para ser implementada en otros equipos de ensamble que utilicen PLC como controladores y que requieran de una base para implementar esta técnica en diferentes líneas automáticas de ensamble e inspección.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo general: Mejorar el proceso de inspección final que se realiza a cortinillas automotrices automatizando el proceso de inspección, utilizando una estación de inspección diseñada para la evaluación de los parámetros críticos de calidad que debe cumplir el producto. Además, la estación debe contemplar incluir en la filosofía de programación de la estación el concepto de OPF para evaluar el proceso de manufactura de producción y el concepto de "Estación de Trabajo Inteligente" Jidoka.

1.4.1 Objetivos específicos

Se identifican los siguientes puntos que deben cubrirse para complementar el objetivo general.

- Evaluación de los parámetros críticos de calidad indicando si el producto cumple o no cada uno de éstos de manera numérica y gráfica.

- Inclusión del concepto OPF en la filosofía de programación y por medio de conectores externos para comunicación entre las estaciones de trabajo de manufactura en la línea de producción.
- Inclusión del concepto "Estación de Trabajo Inteligente" Jidoka en la programación de la estación de inspección final, incluyendo la capacidad de generar cambios rápidos de modelos y la posibilidad de cambiar parámetros de evaluación por producto.

1.5 HIPÓTESIS

Es posible diseñar una lógica de secuencia OPF por medio de redes de Petri que permita implementarse entre equipos semiautomatizados fabricados por diferentes integradores sin utilizar equipos sofisticados de intercomunicación sobre redes industriales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LEAN MANUFACTURING

El concepto de "Lean Manufacturing" tiene un número elevado de definiciones con las que cada empresa o sector trata de interpretar el significado e intención de esta filosofía. Esta filosofía se deriva en su mayoría de sistema de producción Toyota (Toyota Production System) (TPS) y se identificó como "Lean" a partir de 1990.

Para este trabajo se define "Lean Manufacturing" como una filosofía de trabajo que define la forma de mejora y la optimización de un sistema de producción, concentrándose en identificar y eliminar todo tipo de "desperdicios". Se consideran "desperdicios" aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente asignados y necesarios para su realización.

Esta filosofía identifica varios tipos de "desperdicios" que se observan en los procesos de producción como son: la sobreproducción, el tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos. La intención es identificar las actividades que no agregan valor al producto y al cliente y tender a eliminarlo.

Para alcanzar los objetivos, despliega una aplicación sistemática y continua de un conjunto extenso de técnicas que cubren la totalidad de las áreas operativas de fabricación: organización de puestos de trabajo, gestión de la calidad, flujo interno de producción, mantenimiento, gestión de la cadena de suministro, etc.

La Figura 1 muestra el resultado de un estudio realizado por Aberdeen Group entre 300 empresas implantadoras estadounidenses, muestra reducciones del 20% al 50% en los aspectos importantes de la fabricación [3].

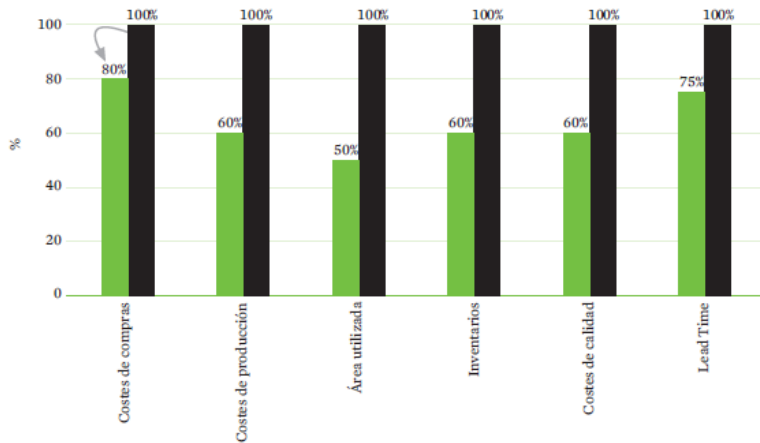


Figura 1. Beneficios de la implantación "Lean".

Existen una variedad de técnicas y métodos que apoyan a la implementación de "Lean Manufacturing" dentro de una empresa, de manera tradicional se hace referencia al esquema de la "Casa del Sistema de Producción Toyota" para poder visualizar de una manera clara la relación de las diferentes técnicas y la filosofía "Lean" [4]. En la Figura 2 se muestra la estructura en la que se relacionan algunas de las técnicas en las que se basa la filosofía Lean, en la base se encuentran aquellas técnicas que darán una base fuerte a la cultura de la implementación, la parte superior de la casa está constituida por los objetivos y metas que se pretenden alcanzar [5].

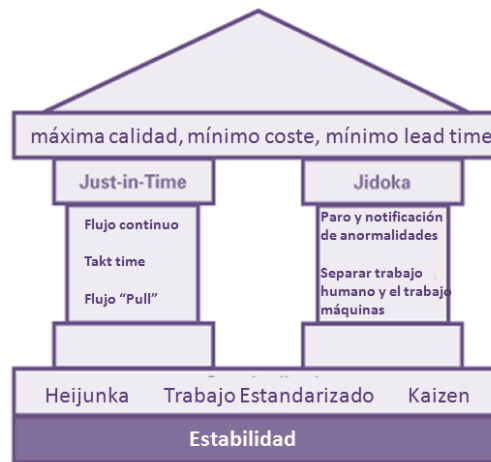


Figura 2. Casa del sistema de producción TOYOTA.

La estructura superior esta sostenida por columnas que dan soporte indicando que son de importancia para mantener en posición el sistema completo, dentro de estas técnicas se encuentra el "Just in time" y "Jidoka".

2.1.1 Producción justo a tiempo.

La producción Justo en tiempo "Just in Time" (JIT) es una filosofía de manufactura la cual elimina el desperdicio asociado con el tiempo, el trabajo y el espacio de almacenamiento, básicamente el concepto se refiere a que la compañía debe producir solamente lo necesario, cuando sea necesario y en la cantidad que sea necesaria. La empresa debe producir únicamente lo que el cliente está solicitando, las ordenes actuales y no las proyecciones de venta (Ver Figura 3).

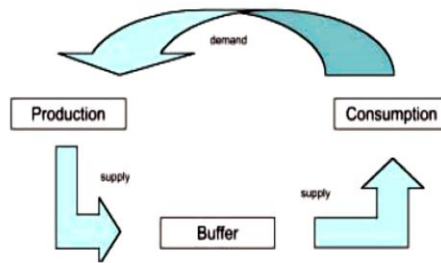


Figura 3. Concepto de JTI.

2.1.2 Concepto JIDOKA.

No se puede hablar de sistemas de manufactura sin mencionar la automatización y los sistemas controlados para la producción, el concepto de Jidoka complementa esta área para hacerla coincidente con "Lean". Se denomina Jidoka al control autónomo, la intención es dotar a los equipos productivos de sistemas para arrancar o detener o informar automáticamente sobre su situación con el objetivo de evitar tiempos improductivos no programados.

Bajo el control autónomo se espera que una máquina sea capaz de parar por sí misma el proceso cuando encuentra una situación que le impida continuar correctamente la operación que está realizando, en especial por fallas en la calidad del producto[5]. Jidoka se interpreta como "automatización con un toque humano" también recibe nombres como "automatización inteligente" y "automatización humanizada". En la práctica significa que un proceso automatizado es lo suficientemente "consiente" de sí mismo por lo que puede:

- Detectar mal funcionamientos de los procesos o defectos de los productos.
- Detenerse por sí solo.
- Alertar al operador.

Si un proceso defectuoso continúa funcionando, envía trabajo defectuoso al siguiente paso de la línea de producción. La intención del Jidoka es evitar la propagación de los errores y brindar a la máquina y al operador la autoridad para detener la línea o el proceso actual que se lleve a cabo, generar una situación en donde se involucre una revisión del proceso. El propósito de la implementación de Jidoka es diagnosticar el defecto inmediatamente y corregirlo como corresponde. El juicio humano de la calidad de la pieza es minimizado y el trabajador sólo está atento al momento en que la máquina se detenga. Este concepto también ayuda en la inspección secuencial de piezas y al final se producen artículos de buena calidad y también se evita la carga de inspección final sobre los hombros del trabajador. La inspección se lleva a cabo por una máquina y cuando la máquina detiene su trabajo, el personal calificado revisa la máquina para resolver el problema. Jidoka se enfoca en investigar la causa que da origen a ese problema y hacer los arreglos necesarios para que este defecto no vuelva a suceder.

2.2 FLUJO DE UNA PIEZA OPF.

El flujo de una pieza (One-piece flow), también conocido como fabricación de flujo continuo, es una técnica utilizada para fabricar componentes en un entorno celular. La celda es un área donde todo lo que se necesita para procesar la pieza es de fácil acceso y ninguna parte puede pasar a la siguiente operación hasta que se complete la operación anterior. Los objetivos del flujo de una pieza son: realizar una parte a la vez correctamente todo el tiempo, sin interrupciones no planificadas y sin largos tiempos de espera. Un flujo de piezas describe la secuencia del producto o de las actividades transaccionales a través de un proceso unidad a la vez. Por el contrario, el procesamiento por lotes crea una gran cantidad de productos o trabaja en un gran número de transacciones a la vez, enviándolos juntos como un grupo a través de cada paso operativo (Ver Figura 4).

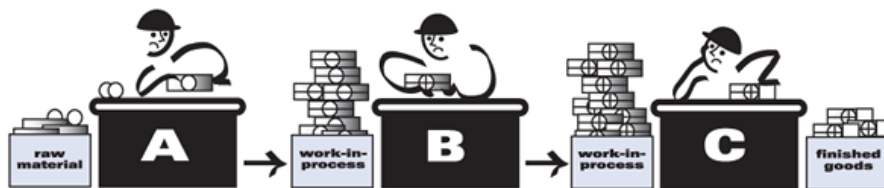


Figura 4. Flujo de pieza con almacenamiento intermedio.

En este tipo de flujo de producción generalmente existe poca relación entre cada paso de fabricación y el paso siguiente, esta forma de producción resulta en:

- Grandes cantidades de desechos cuando se encuentra un defecto debido a grandes lotes de WIP (Work in progress).
- Largo plazo de fabricación.
- Entrega deficiente a tiempo y / o gran cantidad de inventario de productos terminados para compensar.
- Grandes cantidades de WIP.

El flujo de una pieza concentra los esfuerzos de los empleados en el proceso de fabricación en lugar de esperar, transportar productos y almacenar el inventario. También hace que el proceso de producción fluya sin problemas, una pieza a la vez, creando una carga de trabajo constante para todos los empleados involucrados. Los métodos de flujo de una pieza necesitan tiempos de cambio cortos y son propicios para un sistema de extracción (Ver figura 5).

Hay muchas ventajas al incorporar el método OPF en los procesos de trabajo. Éstos incluyen los siguientes:

- Reduce el tiempo que transcurre entre el pedido de un cliente y el envío del producto terminado.
- Evita los tiempos de espera y los retrasos de producción que pueden ocurrir durante el procesamiento por lotes.
- Al reducir el exceso de inventario, el flujo de una pieza reduce el trabajo, la energía y el espacio que los empleados deben dedicar al almacenamiento y transporte de grandes lotes.
- Reduce el daño que puede ocurrir a las unidades de producto durante el procesamiento por lotes.
- Revela cualquier defecto o problema en las unidades de producto al inicio del proceso de producción.
- Brinda a su organización la flexibilidad para satisfacer las demandas de los clientes de un producto específico en un momento específico.
- Reduce sus costos operativos al hacer que el trabajo sin valor agregado sea más evidente. Esto permite eliminar desperdicios.

Se denomina flujo conectado a la implementación de un medio para conectar cada paso del proceso dentro de un flujo de valor (Ver Figura 5).



Figura 5. Flujo de una sola pieza a través de los procesos.

Cuando se logra un flujo conectado, existe una relación entre los pasos de procesamiento, este método es ideal para crear flujo conectado porque el producto se mueve de un paso a otro esencialmente sin esperar (cero WIP) (Figura 6).

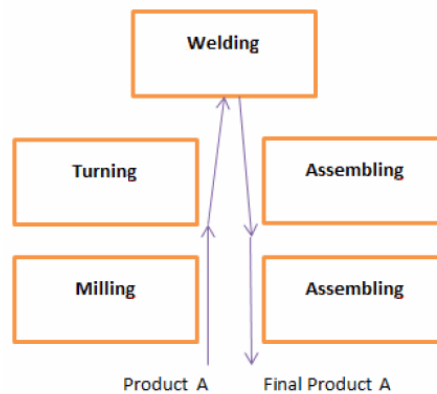


Figura 6. Ejemplo de proceso en OPF.

El OPF funciona mejor cuando el proceso de producción y productos cumplen ciertos requisitos. Los procesos deben ser capaces de producir constantemente productos buenos, si hay muchos problemas de calidad el OPF es imposible. Los tiempos de cambio de producto deben ser muy cortos. El OPF no es práctico cuando se necesitan muchas operaciones de cambio de tiempo durante el proceso de producción. Las unidades de producto muy pequeñas generalmente no son adecuadas porque se requiere demasiado tiempo para su configuración, posicionamiento y extracción del equipo de producción. El OPF puede ser posible para la producción de unidades de producto muy pequeñas si se puede automatizar por completo su movimiento a lo largo de su proceso de producción y si el tiempo de su ciclo es corto, además los tiempos de proceso deben ser repetibles.

2.3. CONCEPTO CAMBIO RÁPIDO SMED.

En gestión de la producción, SMED es el acrónimo de "Single-Minute Exchange of Die": cambio de herramienta en un solo dígito de minutos. Este concepto introduce la idea de que en general cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos, de ahí la frase "single-minute".

Se entiende por cambio de herramientas el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza correcta de la serie siguiente; no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

Dentro de este periodo, existen dos tipos de operaciones o ajustes:

- Ajustes / tiempos internos: Corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada.
- Ajustes / tiempos externos: Corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea, durante el periodo de producción (conocidos por las siglas en inglés OED).

Esta metodología desarrollada por Shigeo Shingo es de origen japonés y fue implementada por primera vez para Toyota en la década de los setenta. La hipótesis en que se fundamenta el SMED supone que una reducción de los tiempos de preparación permite trabajar con lotes más reducidos, es decir, tiempos de fabricación más cortos, lo cual redundaría en una mejora sustancial de tiempos de entrega y de niveles de producto en tránsito.

La aplicación del método SMED consiste en el desarrollo de cuatro fases:

Primero: Separar las operaciones internas de las externas. Esta primera fase implica diferenciar entre la preparación con la máquina parada (preparación interna) y la preparación con la máquina en funcionamiento (preparación externa). En el primer caso se hace referencia a aquellas operaciones que necesitan inevitablemente que la máquina esté parada. En el segundo caso se hace referencia a las operaciones que se pueden realizar con la máquina en marcha.

El primer paso consiste en diferenciar este tipo de operaciones, es decir, cuando la máquina está parada no se debe realizar ninguna operación de la preparación externa.

En las operaciones con la máquina parada se deben realizar exclusivamente la retirada y la colocación de los elementos particulares de cada producto (moldes, matrices, ajustes, etc.). Una actividad de apoyo que puede soportar esta fase es la realización de un video, el cual ayuda a separar estas operaciones y ver el tiempo real de cambio, así como también las mejoras de tiempo.

Segunda: Convertir operaciones internas en externas. Esta actividad debe efectuarse siempre y cuando sea posible. Sin embargo, la conversión de actividades internas en externas no se limita de ninguna manera a efectuar actividades de preparación sobre la máquina cuando ésta se encuentra operando, puesto que existen un sinnúmero de actividades que constituyen una conversión de actividades internas en externas sin compromisos de seguridad.

Tercera: Organizar las operaciones externas. Esta fase se basa en la disposición de todas las herramientas y materiales (matrices, elementos de fijación, etc.) que soportan las operaciones externas. Estos elementos deben estar dispuestos al lado de la máquina tras haberse realizado toda reparación de los componentes que deben entrar.

Cuarta: Reducir el tiempo de las operaciones internas. Esta fase consiste básicamente en reducir al mínimo los procesos de ajuste. Se considera que este tipo de procesos constituye entre el 50% y el 70% de las operaciones de preparación interna. Uno de los mejores métodos de reducción corresponde a la estandarización de las características de los sistemas de sujeción de los elementos móviles de las máquinas.

Otro aspecto clave en esta fase pasa por los tiempos de parametrización y ajuste para lograr la calidad del producto, en este caso, se debe enfocar en fijar un estándar de las operaciones del proceso de cambio de utillajes que se relacionen directamente con los parámetros de calidad (Ver Figura 7).

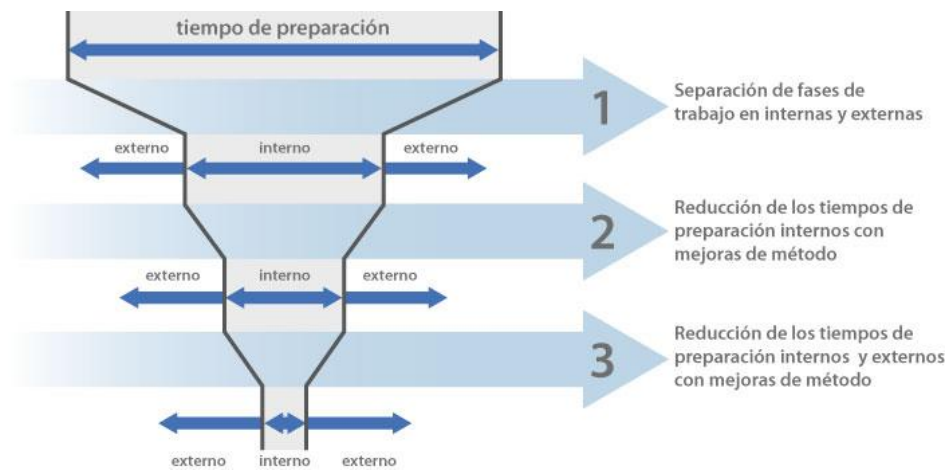


Figura 7. Esquema de tiempos de SMED.

2.4 INTRODUCCIÓN AL MODELADO DE PROCESOS CON RED DE PETRI.

Una red de Petri es un modelo gráfico, formal y abstracto para describir y analizar el flujo de información de un proceso o secuencia. El análisis de las redes de Petri ayuda a mostrar información importante sobre la estructura y el comportamiento dinámico de los sistemas modelados en eventos discretos. La teoría de las redes de Petri permite la representación matemática del sistema a ser modelado para su análisis. Son de utilidad en el diseño de "hardware" y "software", para especificación de simulación y diseño de diversos problemas, además pueden considerarse como autómatas formales o como generadores de lenguajes formales y son asociados con la teoría de grafos.

Las redes de Petri surgen en 1962 con el trabajo doctoral de Carl Adam Petri "Comunicación con autómatas". La teoría de redes de Petri fue divulgada en 1968, y posteriormente publicada en artículos en 1970, en este se muestra que las redes de Petri pueden aplicarse al modelado y análisis de sistemas con componentes concurrentes [8].

2.4.1 Definiciones y conceptos de las redes de Petri para procesos.

Simbólicamente las redes de Petri se representan a través de grafos orientados (Figura 8) formados por:

- Lugares o plazas, que se representan por medio de círculos o circunferencias.
- Transiciones, que se representan por segmentos rectangulares o rectilíneos.

- Arcos dirigidos, que se representan por medio de líneas con flechas indicando el sentido de la transición.

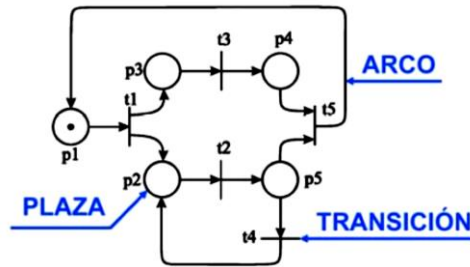


Figura 8. Descripción elementos de una red de Petri.

El modelo de red de un sistema o proceso consiste de un conjunto de elementos pasivos y elementos activos. Los elementos pasivos se asignan a parámetros de estado (componentes de estados, condiciones del sistema, materiales, declaraciones), estos elementos son llamados "condiciones" o para el caso de las redes de Petri "lugares" y se representan por medio de círculos [8].

Los elementos activos son asignados a las actividades del sistema o proceso (eventos, transiciones, pasos de producción), para las redes de Petri estos corresponden a las transiciones y se representan por medio de barras o rectángulos.

Las actividades dentro de un sistema tienen carácter local, para esto se requieren de recursos o de que se cumplan ciertas condiciones para poder generar nuevos recursos y nuevas condiciones, esta dependencia causal se representa en el modelo de red por medio de relaciones de flujo y gráficamente corresponden a los arcos dirigidos (Figura 9). Un arco dirigido conecta una condición (lugar) con un evento (transición) y viceversa, nunca existe conexión entre elementos del mismo tipo [8].

Si un arco conecta desde una condición hacia un evento significa que esa condición es necesaria para que ocurra el evento, en este caso se define como una precondición. De manera análoga un arco que conecta de un evento hacia una condición significa que la ocurrencia del evento hace la siguiente condición verdadera, y se le llama postcondición.

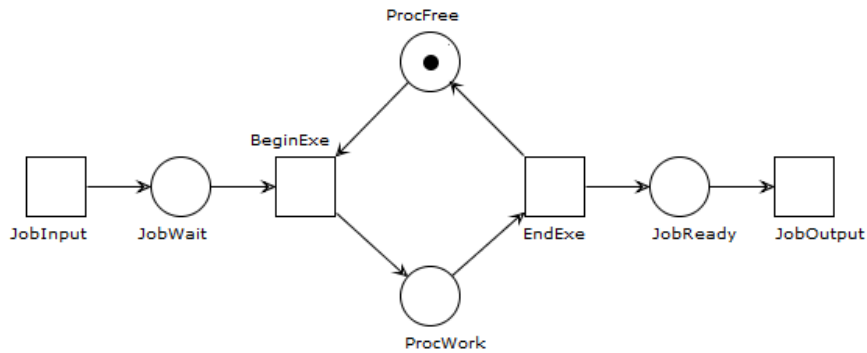


Figura 9.- Proceso de Trabajo con un procesador

Las redes de Petri están compuestas de cuatro componentes básicos que componen su estructura, un conjunto de lugares P , un conjunto de transiciones T , la función de entrada E y la función de salida S . Las funciones de entrada y salida relacionan los lugares y las transiciones. Las funciones de entrada E son un mapeo a partir del conjunto de lugares de entrada hacia la transición t_j , estas funciones son las precondiciones, la función se puede escribir como $E(t_j)$. Las funciones de salida S son un mapeo a partir de la transición t_j hacia el conjunto de lugares de salida, estas funciones son las postcondiciones, la función de salida puede escribirse como $S(t_j)$. En una red de Petri se permite que más de un arco conecte un lugar con una transición o una transición con varios lugares [8].

Se pueden definir las siguientes ecuaciones, si P es el conjunto de lugares de una red de Petri y T es el conjunto de transiciones:

- Función de incidencia previa o funciones de precondición, $E : P \times T$ donde:
 $E(p_i, t_j) = \text{numero de arcos que unen la plaza } p_i \text{ con la transición } t_j$.
- Función de incidencia posterior o funciones de postcondición, $S : T \times P$ donde:
 $S(t_j, p_i) = \text{numero de arcos que unen la transición } t_j \text{ con la plaza } p_i$.

Una red de Petri $RP = (P, T, F)$, donde F representa las relaciones de precondiciones E y postcondiciones S , se define si se cumple lo siguiente:

1. P y T don dos conjuntos disjuntos, no vacíos y finitos.
2. $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ es una relación binaria.
3. $\bullet F \cup F \bullet = P \cup T$, Donde $X = P \cup T$ es el conjunto de nodos.
 - a. $\bullet F = \{ x \mid \exists y \in X \text{ con } xFy \}$ es el pre-dominio de la relación F .
 - b. $F \bullet = \{ y \mid \exists x \in X \text{ con } xFy \}$ es el post-dominio de la relación F .

2.4.2 Marcado de una red de Petri.

Dentro de los lugares P se pueden colocar marcas en forma de puntos, estas marcas se asocian a los lugares en un instante dado, esta marca define el estado de la red de Petri. Una transición está habilitada si todos los lugares de entrada están marcados (las precondiciones se cumplen), entonces una transición habilitada se puede “disparar”. El “disparo” de una transición habilitada consiste en quitar una marca de cada lugar de entrada y añadir una marca a cada uno de los lugares de salida (post condiciones) (Figura 10) [9].



Figura 10. Marcado de red de Petri antes y después del “disparo”.

El estado de una red de Petri marcada se define por el número de m_i de marcas contenidas en cada plaza p_i y se representa por su marcado M .

$$M_0 = \{m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0n}\} \quad \text{Ec. (1)}$$

2.4.3 Definición de la red de Petri.

Derivado de lo expuesto en los puntos anteriores es posible definir una formalización de la red de Petri.

$$RP = \{P, T, E, S, M_0\} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde

- P : Conjunto de lugares.

- T : Conjunto de transiciones.
- E : Conjunto de precondiciones.
- S : Conjunto de postcondiciones.
- M_0 : Conjunto de marcado.

Donde cada elemento se define de la siguiente manera:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$E : P \times T \rightarrow N \quad \text{Ec. (5)}$$

$$S : T \times P \rightarrow N \quad \text{Ec. (6)}$$

$$M_0 = \{m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0n}\} \quad \text{Ec. (7)}$$

2.4.4 El árbol de alcanzabilidad.

El árbol de alcanzabilidad de una red de Petri representa el conjunto de todos los marcados alcanzables desde el marcado inicial M_0 , consiste en un grafo en forma de árbol en el que cada nudo es un marcado alcanzable de la red y los nudos se conectan mediante arcos etiquetados con la transición que se dispara para pasar de un marcado a otro. Partiendo del estado inicial M_0 , se generan todos los estados alcanzables desde este mediante el "disparo" de una transición, a partir de cada estado, se vuelve a repetir el proceso, de esta manera se obtiene un grafo que tiene forma similar a la de un árbol con estructura finita [7] (Ver figura 5).

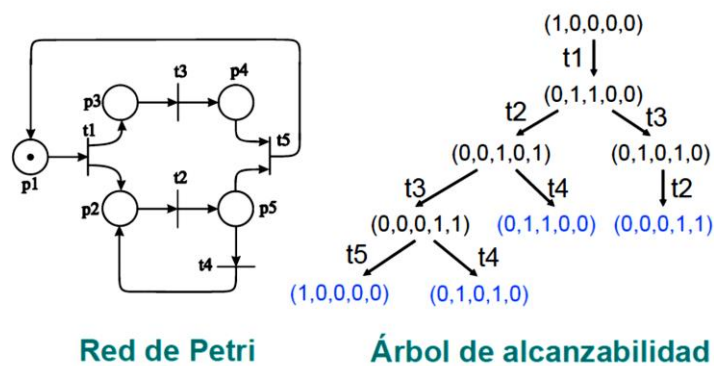


Figura 11. Marcado de una red de Petri.

2.4.5 Propiedades de las redes de Petri.

Las propiedades de las redes de Petri se pueden clasificar en dos grandes grupos: propiedades dinámicas o dependientes del marcado inicial y propiedades estructurales o independientes del marcado inicial (Tabla 1) [9].

Tabla 1. Propiedades de la red de Petri.

Propiedades dinámicas	Propiedades estructurales
Alcance	Controlable
Limitación	Estructuralmente limitada
Viveza	Estructuralmente viva
Reversibilidad	Conservativa
Cobertura	Repetitiva
Persistencia	Consistente
Distancia de sincronización	Estructuralmente equitativa
Equidad	

2.4.6 Definición de una red de Petri interpretada para automatismos.

La red de Petri interpretada para automatismos es un modelo secuencial, lo que significa que es una red lógica, y por ser lógica, utiliza las propiedades del algebra de Boole [10]. La ecuación de la red de Petri para automatismos propuesta es:

$$RPIA = \{P, T, E, S, D, B, Q, M_0\} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde

- P : Conjunto de lugares.
- T : Conjunto de transiciones.
- E : Conjunto de precondiciones.
- S : Conjunto de postcondiciones.
- D : Conjunto de condiciones de disparo.
- B : Conjunto de postulados y teoremas del algebra de Boole.
- Q : Conjunto de acciones asociadas a los lugares.
- M_0 : Conjunto de marcado inicial.

Este modelo cumple con las mismas propiedades de las redes de Petri expuestas anteriormente, pero brinda una metodología para obtener ecuaciones interpretables para la programación en PLC [12]

Para realizar la correcta interpretación se asignan relaciones entre una red de Petri normal y una red de Petri para automatizar un proceso mediante la programación de un controlador. Se parte del hecho de que en una red de Petri el estado de cada plaza está definido por el marcado, esta secuencia de marcado indica la evolución secuencial de la red de Petri y está definida por la ecuación:

$$M_{k+1} = M_k + I x D \quad \text{Ec. (9)}$$

En la programación de PLC se utilizan salidas Q para especificar activaciones de control, en el caso de la RPIA cada acción Q se produce cuando se activa o marca el lugar P correspondiente, esto es:

$$P_n \rightarrow Q_n$$

Esto indica que al marcarse un lugar P_n se activará una memoria P_n , y cuando se desmarque el lugar P_n la memoria P_n se reinicia. Esta activación y desactivación de la memoria corresponde al funcionamiento de una memoria tipo "Set-Reset" (SR) donde "Set" es la inscripción de la memoria y "Reset" es el borrado de la misma memoria [11]. El comportamiento de cada lugar P_n depende únicamente de la presencia de la marca, el borrado de la memoria P_n se realiza cuando el lugar siguiente P_{n+1} se activa. Se definen las siguientes ecuaciones lógicas para cada lugar P_n .

$$\text{Inscripción_Memoria_Pn} = Q_{n-1} \& t_{m-1} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\text{Borrado_Memoria_Pn} = Q_{n+1} \quad \text{Ec. (11)}$$

El conjunto de ecuaciones de *Inscripción_Memoria_Pn* se denominara K_n y el conjunto de ecuaciones de *Borrado_Memoria_Pn* se denominara J_n , a este conjunto de ecuaciones se les denomina ecuaciones de excitación[10].

Donde:

$$K_n = Q_{n-1} \& t_{m-1} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$J_n = Q_{n+1} \quad \text{Ec. (13)}$$

Cada lugar de P_n produce una señal de salida, se realiza entonces una asignación de señales de salida y actuadores. En el ejemplo siguiente se muestra una asignación de un actuador. Si el actuador pasa de 1 a 0 en el estado Q_n pasará de 0 a 1 en un estado Q_{n+x} .

$$\text{Actuador1}_1 = Q_n \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\text{Actuador1}_0 = Q_{n+x} \quad \text{Ec. (15)}$$

Si un actuador es comandado por más de una señal de salida, la ecuación suma cada una de las señales en las que se active, generando una ecuación similar a la siguiente:

$$\text{Actuador2}_1 = Q_n + Q_{n+a} + Q_{n+b} + Q_{n+c} \quad \text{Ec. (16)}$$

2.5 BÚSQUEDA DE PATENTES

Se realiza una búsqueda de información para complementar el estado del arte utilizando herramientas para búsqueda de patentes. Las herramientas de búsqueda de patentes cuentan con algoritmos que detectan la coincidencia de palabras de búsqueda en los textos de las patentes registradas, debido a esto se obtienen una gran cantidad de resultados y se hace necesario utilizar operadores para las palabras de búsqueda a fin de filtrar los resultados obtenidos.

“Orbit” cuenta con herramientas de búsqueda para patentes. La primera herramienta es la búsqueda fácil “Easy Search” en la cual se coloca el término a buscar. Los términos entre comillas indican que se realiza la búsqueda de la frase completa de otro modo se buscarían las palabras, pero no necesariamente juntas.

Palabras de búsqueda:

- “Luggage cargo cover”: Se obtienen 2,863 resultados.
- “Inspection final machine”: Se obtienen 64 resultados.
- “Inspection final machine” and “One-piece flow”: Sin resultados.
- “One-piece flow”: 571 resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede conocer las clasificaciones internacionales que se adecuan al equipo en desarrollo.

- B60R 5/04: Compartimientos dentro de la carrocería del vehículo destinados principalmente o lo suficientemente espaciosos para baúles, maletas o similares (diseñados principalmente para el almacenamiento de cargas en vehículos de transporte de carga B60P; dispositivos para guardar las ruedas de repuesto B62D43 / 00).
- G05B19/418 Control total de fábrica, es decir, que controla centralmente una pluralidad de máquinas, por ejemplo, control numérico directo o distribuido [DNC], sistemas de fabricación flexibles [FMS], sistemas de fabricación integrados [IMS], fabricación integrada por computadora [CIM].

Dentro de las patentes revisadas sólo algunas de ellas presentan aspectos relevantes sobre la idea general de la estación de inspección final, aunque específicamente no se encuentran resultados directamente relacionados. Los contenidos de las siguientes patentes mencionan características coincidentes, aunque aplicadas en diferentes áreas o con variantes de forma.

SISTEMA DE CONTROL DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FLUJO DE UNA PIEZA, “ONE-PIECE FLOW PRODUCTION LINE CONTROL SYSTEM”

CN108073147 A 2018-05-25

Una de las invenciones relevantes se encuentra registrada a nombre de Yan Minfeng, la cual hace referencia a un sistema de control de producción en línea con “One-piece flow” (OPF) , esta invención se refiere a un sistema inteligente de control de producción de ropa con la intención de evitar el acumulamiento de piezas cortadas entre las

estaciones de trabajo. Su equipo se caracteriza por utilizar etiquetas RFID, un transportador que recorre las estaciones de producción, un control maestro y una interface HMI. El control maestro controla las partes cortadas de ropa para detenerse en las estaciones correspondientes. Este esquema, aunque coincidente en la intención de implementar el OPF en el sistema de ensamble, utiliza un conveyor que regula el avance entre estaciones, de esta manera se contempla la línea de ensamble como una sola máquina. No especifica como interactúan con otras estaciones de la misma línea o de otras líneas, además de que no realiza inspecciones de producto para evitar errores en la línea de producción (Ver Figura 20).

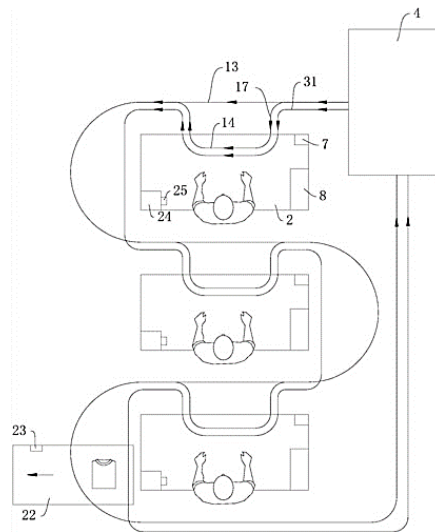


Figura 12. Diagrama de patente CN108073147.

LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FLUJO DE UNA PIEZA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BUJES DE CAJA A BASE DE, "ONE-PIECE FLOW PRODUCTION LINE-BASED BOX BUSHING PRODUCTION PROCESS"

CN108279646 A 2018-07-13

El inventor Xie Qinghu, describe la invención de un proceso de producción de casquillos de caja en flujo de una sola pieza. El proceso comprende los pasos para recopilar la información de la posición de la pieza dentro de la línea de producción y el estado del producto en cada estación, además del número de personal asignado en cada estación de la línea de producción, esta información es concentrada en un controlador industrial, el cual controla el tiempo de permanencia de cada producto en cada una de las estaciones y regula la velocidad de transmisión de productos entre cada estación

de la línea de producción. No se muestran esquemas o imágenes en el registro de esta patente.

APARATO DE PRUEBA DE SEGURO CORTNILLILLA DE AREA DE CARGA, "TEST APPARATUS OF STOPPER FOR CARGO SCREEN"

KR100765091 B1 2007-10-09

El equipo presentado por Chi Won Yoon describe un equipo de pruebas para cortinilla automotriz, pero no muestra características de comunicación con otros equipos, tampoco contempla su relación en una línea de ensamble, solamente prueba la operación de ensamble y desensamble activando repetidamente un botón que activa esta acción, proporciona un aparato de prueba para un tope de una cortinilla, bloquea una tapa de la carcasa aplicando presión y abre la tapa de la carcasa por la tensión de un resorte cuando se presiona el tope, mediante el uso de presión neumática y energía eléctrica. Incluye un bastidor principal, una caja de control y un indicador. El bastidor principal tiene una superficie en la que una unidad de montaje está dispuesta para presionar repetidamente un tope. La caja de control está dispuesta en una parte delantera del bastidor principal y está equipada con un interruptor de encendido. El indicador está montado en una superficie frontal de la caja de control y muestra el resultado de la prueba para el funcionamiento repetido del tapón. La unidad de montaje incluye una placa de montaje de la carcasa para fijar la carcasa, un cilindro dispuesto en un lado de la placa de montaje de la carcasa para fijar la carcasa y un cilindro de presión de cubierta dispuesto en un lado de la carcasa. la placa de montaje de la carcasa para presionar una tapa de la carcasa hacia la carcasa, y un cilindro de presión de tope dispuesto para corresponder a la posición del tope de la tapa de la carcasa para presionar el tope (Ver Figura 21).

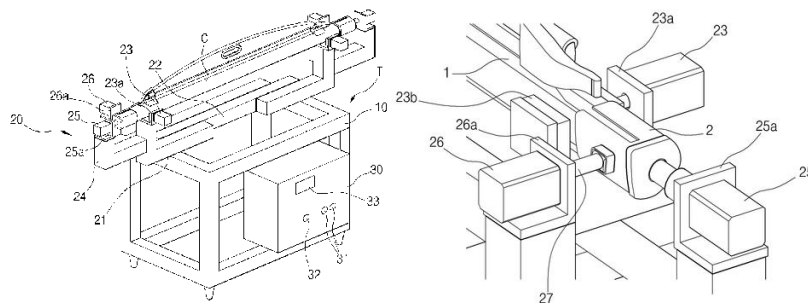


Figura 13. Diagrama de patente KR100765091.

MÉTODO DE ENSAMBLAJE AUTOMATIZADO DE PRODUCCIÓN DE UNA CAJA DE INSTRUMENTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN JIT Y UNA IDEA DE FLUJO DE UNA PIEZA, "AUTOMATION PRODUCTION ASSEMBLING METHOD OF ELECTRIC POWER INSTRUMENT HOUSING BASED ON JIT AND ONE-PIECE FLOW IDEA"

CN103909608 A 2014-07-09

CN103909608B B 2016-04-06

Esta patente registrada por Yuan Guojun, se refiere a un método de ensamblaje automatizado de producción de una caja de instrumentos de energía eléctrica basada en JIT y una idea de flujo de una pieza, esta invención, aunque trabaja bajo el esquema de OPF no especifica su implementación con otras estaciones, se entiende que las estaciones que componen las operaciones de ensamble se ejecutan sobre el mismo sistema de avance (Ver Figura 22). Al generalizar cada una de las operaciones de ensamble resume las siguientes actividades.

1. Tener una línea de ensamble para instalar un cilindro de cobre y atornillar automáticamente el módulo de cubierta para formar un ensamble modular.
2. En una línea en donde se alimentan los módulos anteriores instalar una cubierta inferior al módulo y continuar al siguiente proceso.
3. En otra línea se utiliza el módulo anterior generado e instala una mica transparente, una puerta de acceso y otra cobertura para generar un módulo de carcasa.
4. En una línea de ensamblaje de grupo de carcasas inferiores se instala el grupo de carcasas de cubierta y la tapa de la carcasa, en la carcasa inferior para completar la producción y el ensamblaje del producto, y luego se realizan el empaque y el almacenamiento.

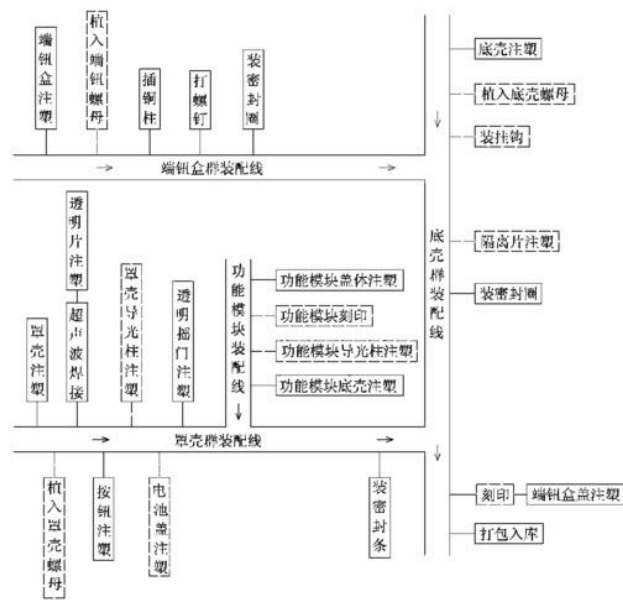


Figura 14. Diagrama de patente CN103909608.

SISTEMA DE PRODUCCION EN SERIE, "SERIAL PRODUCTION SYSTEM"

EP1125684 B1 2004-11-03

Jaeger Helmut F. describe un sistema de manufactura interconectado, el cual mezcla procesos automáticos para procesar las piezas. Las partes son trasladadas entre estaciones por medio de "grippers", aunque el sistema trabaja en manera serial, contempla el uso de buffers de almacenamiento entre las estaciones, a diferencia del OPF que sólo mueve una sola pieza en el sistema de fabricación sin generar acumulación en ningún punto. Se describe a continuación el sistema de producción.

El sistema de fabricación interconectado y la célula de automatización para él tienen varias instalaciones de mecanizado, que incluyen al menos tres amortiguadores para desacoplar el proceso de mecanizado en diferentes instalaciones de mecanizado. El flujo de piezas a través de las instalaciones de mecanizado y los "buffers" están asegurados por uno o más portales con pinzas que mueven las partes entre las instalaciones y los "buffers", insertándolos y eventualmente retirándolos. Los "buffers" acomodan soportes para las partes y tienen al menos dos lugares de apilamiento. Hay un dispositivo disponible para cambio de los soportes para las partes entre los lugares de apilamiento (Ver Figura 23).

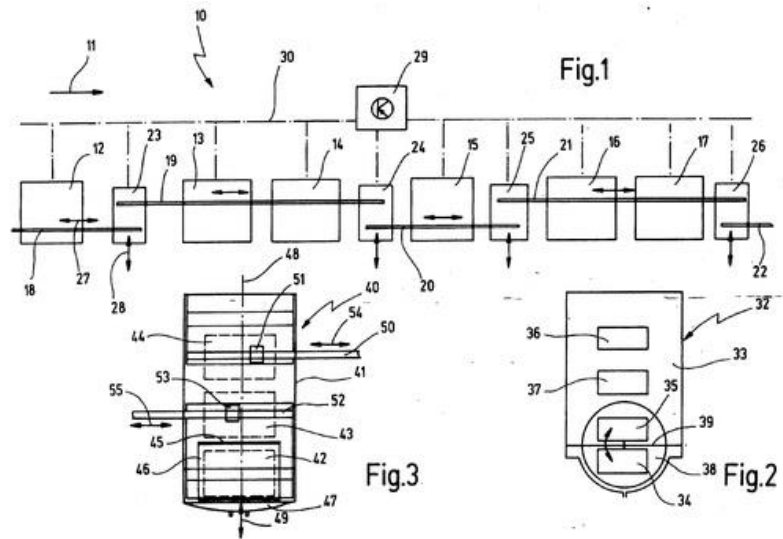


Figura 15. Diagrama de patente EP1125684.

3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

3.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL DISPOSITIVO DE INSPECCION.

Para iniciar el proceso de automatización del proceso de inspección se requiere principalmente definir el objetivo que se pretende cumplir, el cual sirve de guía para las propuestas de solución.

3.1.1 Objetivo de la automatización del proceso de inspección.

El presente desarrollo tiene como objetivo semi automatizar el proceso de inspección final de una cortinilla automotriz por medio de la implementación y programación de una estación de trabajo "inteligente", teniendo como base de desarrollo una celda semi automatizada, se muestra un esquema de medidas generales del modelo CAD en el anexo B.

Como primera etapa para el desarrollo de la estación de inspección final, se analiza la familia de productos que se pretende ensamblar e inspeccionar en la línea de producción. En este caso el producto a inspeccionar es una cortinilla automotriz para modelos de vehículos Toyota, dentro de esta familia se contemplan diferentes versiones o modelos que comparten características generales, pero con especificaciones de color o de valores de resistencia a la tensión diferentes, ver Figura 16.



Figura 16.- Cortinilla automotriz para cajuela.

La cortinilla automotriz se fabrica en diferentes variantes y para diferentes modelos de marcas, en este caso particular se desarrolla para el modelo Chrysler WD/WK. El procedimiento general de fabricación dentro de la línea en la que se incluye la estación de inspección final de la cortinilla es el siguiente (Ver Figura 17):

1. Estación 1, "Roll up": En esta estación se enrolla la tela de la cortinilla sobre el tubo de estructura y se aplica pegamento y se mide sobre una mesa con indicadores visuales.
2. Estación 2, "Winding": En esta estación se colocan resortes en los costados del tubo de estructura y se precargan con un motor para generar una fuerza de enrollado. Se agregan las tapas laterales con resortes para su movimiento y se revisa el acabado de las piezas y materiales y funcionamiento.
3. Estación 3, "Final Inspection": Medición de valores para validación y aseguramiento de la calidad, detección de errores en fabricación.

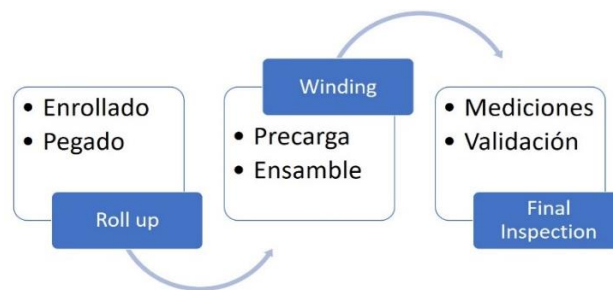


Figura 17. Diagrama de proceso de ensamblaje y validación de cortinilla.

3.1.2 Requerimientos del cliente.

La estación 3 "Final Inspection" debe cubrir una serie de características solicitadas por el cliente. La Tabla 2 describe una lista de las características generales.

Tabla 2. Características generales de máquina de inspección final.

No.	Descripción
1	Tres niveles de acceso. Operador, Supervisor, Mantenimiento.
2	Identificación de nivel de acceso por medio de tarjetas RFID.
3	Pantallas de navegación secuenciales para ajustes y configuraciones.
4	Secuencia de validación de detección de errores "RedRabbit" "Boundaries".
5	Pokayokes para detección de modelos.
6	Intercambio de elementos para variación de modelos de productos.
7	Selección de modelos en pantalla.
8	Autodiagnóstico de sensores en cada inicio de ciclo de inspección.
9	Capacidad de bloquear algún sensor defectuoso.
10	Detener proceso en caso de detección de errores de activaciones.

Tabla 2. Características generales de máquina de inspección final (Continuación).

No.	Descripción
11	Detener proceso en caso de detección de errores en inspección.
12	En caso de error de inspección, retener la pieza y solicitar liberación de supervisor.
13	Mostrar en pantalla los valores obtenidos de las mediciones de inspección.
14	Indicar en pantalla la parte de la medición que se está realizando.
15	Capacidad de calibración de los equipos por medio del HMI para cada modelo.
16	Generar etiqueta con código de barras para modelos indicados.
17	Capacidad de modificar etiqueta desde HMI.
18	Alta y baja de tarjetas de acceso desde HMI.
19	Capacidad de trabajar con dos estaciones en modo OPF.

La estación "Final Inspection" es la última estación de la celda, en esta estación se realiza la verificación de valores críticos para calidad que debe poseer el producto para su empacado hacia el cliente.

Las pruebas solicitadas en la inspección son:

- Medición de fuerza de tensión de la cortinilla.
- Medición de fuerza de compresión de los "End caps".
- Medición del colgado de la tela en tensión en dos puntos.
- Verificación del color de la cortinilla.
- Presencia de etiqueta.

En la Figura No. 18 se muestran en verde las zonas donde se realizan las mediciones de fuerza en la cortinilla. La cortinilla se compone de dos componentes generales, el "cassete" y la cortina.

El "cassete" es la estructura principal de la pieza y contiene dos elementos llamados "End cap". Uno de los "End cap" se ensambla con un resorte interior el cual le da un movimiento de compresión, esta fuerza de compresión es la que lo mantiene en su posición durante su colocación en un vehículo (elementos naranjas de la Figura 18).

En la posición original, la cortinilla se encuentra enrollada en el interior del "cassete" y al utilizarse se debe extender tirando desde la parte central de la cortina. La cortinilla cuenta con dos elementos laterales sujetos a la cortinilla que enganchan con unos huecos en su forma extendida para mantener esa posición. La fuerza de tensión se mide en estos elementos laterales indicados en la imagen en color negro. Todas las fuerzas se miden por medio de una celda de carga tipo viga. Estas celdas pueden viajar junto con las placas de versión.



Figura 18. Zonas de medición de parámetros de fuerza de cortinilla.

La medición del colgado se realiza con la cortinilla extendida, Figura 19, en la misma posición en la que se mide la fuerza de tensión. El sensor se coloca de manera perpendicular a la dirección de extensión de la cortinilla y mide la distancia desde su posición hasta donde detecte la cortinilla en dos puntos paralelos. La medición se compara con una lectura de referencia para comparar cualquier desviación en caso de presentarse colgado.

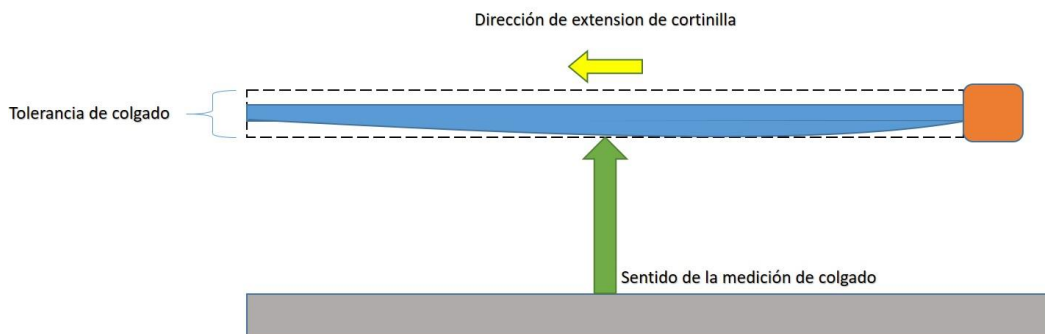


Figura 19. Zona de medición de parámetro de colgado de cortinilla.

3.1.3 Diagrama conceptual

Para la interacción con la estación de inspección final se propone un diagrama de flujo conceptual general que sirve de guía para la programación de la pantalla HMI y para los bloques de programación en el PLC.

3.2 ARQUITECTURA DE CONTROL DEL EQUIPO DE INSPECCION FINAL.

Se debe especificar una arquitectura de bloques de manera general, indicando la forma en que interactúan los elementos externos al PLC y que se requieren para la automatización y para la comunicación con las estaciones externas.

3.2.1 Selección de equipos.

Basándose en la arquitectura de control, se realiza una selección de equipos, especificando modelo y características, se muestran las hojas de datos en el anexo A.

3.2.2 Filosofía de operación.

Se debe establecer una filosofía de operación para la parte de inspección y otra para la parte de la comunicación OPF. La filosofía de operación debe contener la secuencia de pasos y estados que se espera se presenten y debe indicar que hacer en cada paso. Se debe escribir a manera de oraciones entendibles similares a instrucciones de manera verbal para que sea interpretable fácilmente.

3.3 MODELADO DEL PROCESO DE INSPECCIÓN POR MEDIO DE RED DE PETRI.

Tomando como referencia la metodología de red de Petri de modelado de procesos y en referencia a la variante de red de Petri aplicada a automatismos generar las redes de Petri para la sección de inspección de la cortinilla y otra para la sección del OPF, con la intención de especificar de manera clara la lógica que se pretende ejecutar en ambas situaciones. A partir de una red de Petri obtener los conjuntos de lugares y transiciones, identificar las precondiciones y postcondiciones y definir las variables para actuadores y elementos de entrada, así como las ecuaciones de escritura y borrado para la interpretación en el diagrama de escalera. Las ecuaciones se obtendrán de Ec. 5, 6, 7, 8, 14, 15, 18 y 19.

RESULTADOS

4.1 MODELADO DEL PROCESO DE INSPECCION.

Se muestra en la Figura No.20 un diagrama general que muestra el flujo que se programara en el HMI el cual dicta cada una de las operaciones que se podrán realizar en el equipo de inspección final.

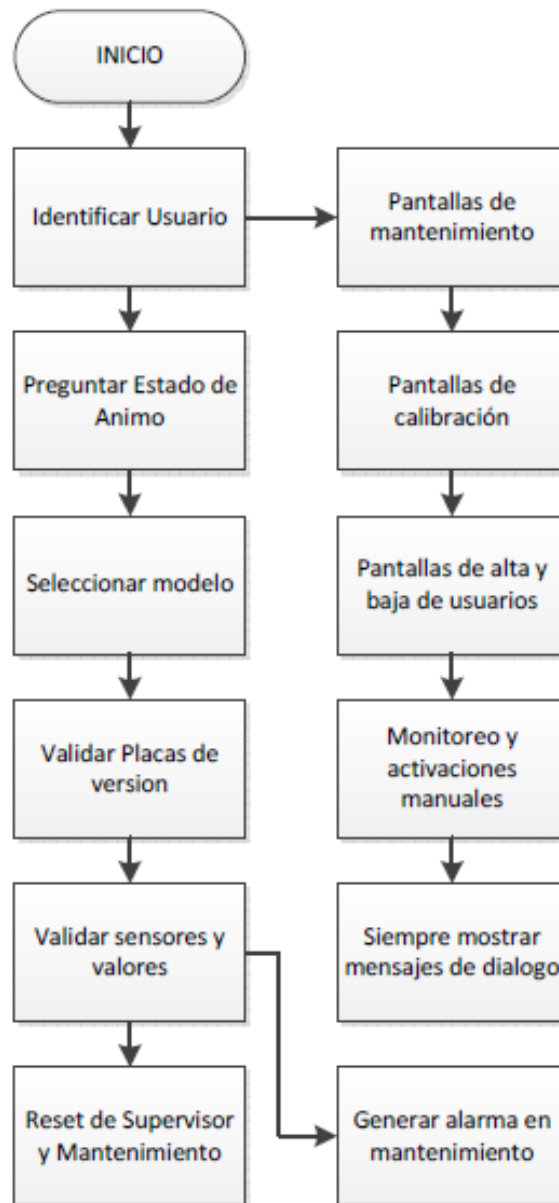


Figura 20. Diagrama de flujo general de HMI.

4.1.1 Arquitectura de control de dispositivo de inspección.

Se seleccionan equipos de la marca Siemens ya que el cliente final tiene la intención de establecerlo como estándar para los equipos nuevos de las líneas que se están implementando. La comunicación entre el HMI y el PLC se realiza por medio de PROFINET utilizando un cable ethernet CAT 6. Como parte de los módulos con los que cuenta el PLC para comunicación punto a punto se seleccionan los módulos seriales RS232, esto facilita la decodificación de los elementos como el RFID y el escáner de código de barras, ambos requieren este medio de comunicación. Se define la siguiente arquitectura de control basada en la selección de equipos que se realizó (Ver Figura 21).

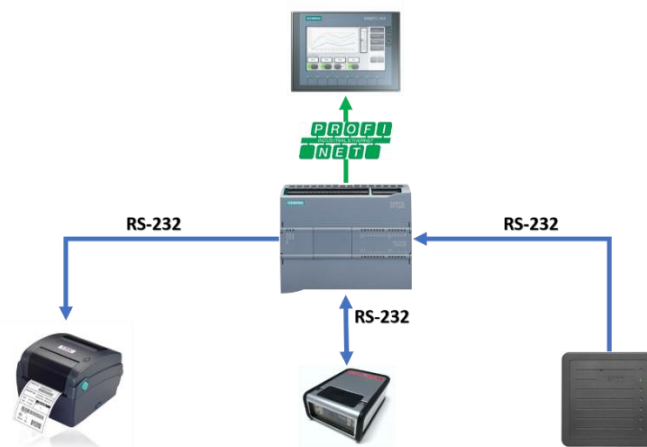


Figura 21. Arquitectura de control de comunicaciones.

4.1.2 Selección de equipos.

Se describen a continuación los equipos seleccionados para el PLC y control:

- 1 PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C 14DI/10DO AC/DC/RLY.
- 1 Panel SIEMENS KT700 Basic Color PN.
- 1 Módulo de expansión 4 AI p/S7-1200 p/ 2 fuerza 2 colgado.
- 1 Módulo de comunicación RS232 DB9 p/ Impresora.
- 1 Módulo de comunicación RS232 DB9 p/ Lector de tarjetas de usuario RFID.
- 1 Módulo de comunicación RS232 DB9 p/ Escáner código de barras.

4.1.3 Medición de fuerza.

Para las mediciones de fuerza de tensión y de compresión se consideran celdas de carga tipo viga, la medición que realiza es de manera puntual y en posición específica, además de que son de bajo costo y son de fácil instalación y del tamaño adecuado para el diseño mecánico. Se consideran tres celdas de carga, una celda para la medición de la compresión de la parte de "End cap" y dos para medir la fuerza de tensión del enrollado de la cortinilla.

- Celda de Carga HBM PW2CC6MR/36KG-1.

4.1.4 Medición de colgado.

Para medir el colgado de la cortinilla cuando se encuentra extendida se utilizan dos sensores ultrasónicos con salida analógica de 0-10 VDC. Se utilizan este tipo de sensores ya que cumplen con el rango de distancia que se pretende medir sin sobrepasar el alcance, además de su fácil calibración, y nuevamente se busca que el elemento sea fácil de adquirir ya que no es un equipo especial en características.

- Sensor ultrasónico PEPPERL+FUCHS UB200-12GM-U-V1.

4.1.5 Detección del color.

Para detectar el color se selecciona un sensor con sensor reflectivo y con cancelación de brillo para poder detectar de manera fiable la variación de color afectada por diferentes iluminaciones que se presenten, este tipo de sensor en específico tiene la ventaja de detección de color en RGB y utiliza fibra óptica para transferir la información a un módulo de amplificación y programación para discernir entre varios colores. El amplificador cuenta con cuatro salidas para cada canal, y tiene dos canales de memoria para los colores a detectar.

- Sensor Keyence CZ-H35S y amplificador CZ-V20.

4.1.6 Lectura de códigos de barras.

La detección de la etiqueta se realiza por medio de un escáner de código de barras activado por medio de una interface serial RS232. Se selecciona un escáner de tamaño reducido y montaje sencillo, con la capacidad de operar de manera manual y de manera remota por medio de comandos seriales.

- Escáner Honeywell Vaquest 3310g.

4.1.7 Impresión de etiquetas.

La impresión de la etiqueta se realiza por medio de una impresora con puerto serial, esta impresora es un estándar de la empresa por lo que la selección fue directa. La impresora tiene la característica de recibir la información de impresión a través de comandos seriales específicos los cuales deben llevar un orden para la correcta configuración de la impresión, estos comandos se obtienen del lenguaje de programación ZPL.

- Impresora TSC modelo TTP-244 CE.

4.1.8 Detección de pieza

Para la detectar la presencia de la pieza se cuenta con un sensor inductivo ya que el cuerpo de la cortinilla es metálico, el sensor tiene un alcance de 4 mm y conexión M12 y es de tipo PNP y alimentación de 24 VDC.

- Sensor inductivo DW-AS-623-M12-120.

4.1.9 Actuadores.

Se considera utilizar actuadores neumáticos para los elementos de sujeción con sus respectivos sensores magnéticos para retroalimentar la posición de retraídos o extendidos. Todos los actuadores neumáticos seleccionados son de la marca SMC debido al estándar de la empresa y todas las activaciones de las electroválvulas se realizarán a 24 VDC.

4.1.10 Filosofía de operación del proceso de inspección.

Se establece el siguiente pseudocódigo como la filosofía de operación para la programación del equipo.

1. Inicio de ciclo.
2. Colocar el producto ("cassete") en sus respectivas bases.
3. Detectar el "cassete".
4. Pulsar INICIO.
5. Activar clampeo.
6. Detectar sensor de clampeo.
7. Una vez clampeado, validar la fuerza de "End cap". Si hay error mostrar el error y solicitar tarjeta de "Supervisor" para liberar la pieza.
8. Evaluar que versión está corriendo el equipo.
9. Para versión WK seguir paso 10, si es versión WD seguir en paso 13:
10. Activar el sensor de color por 0.5 seg.
11. Validar el color.
12. Si hay "Error de color" solicitar tarjeta de "Supervisor para liberar la pieza" y desactivar el sensor de color. Si el color es correcto seguir a siguiente paso.
13. Extender cover y colocar los "Rod ends" en las bases.
14. Presionar INICIO validar fuerza de "Rod ends" y el colgado de la cortinilla.
15. Se realiza la lectura por 2 segundos.
16. Si se detecta algún valor fuera de rango, mostrar el error correspondiente.
17. Si los valores están en rango, imprimir la etiqueta de acuerdo al serial.
18. Activar el apuntador laser de acuerdo a la versión.
19. Pegar la etiqueta en el vinil.
20. Presionar INICIO para activar el lector.
21. Si el código es correcto liberar la pieza.
22. Si el código es incorrecto solicitar tarjeta de "Supervisor" para liberar la pieza.

4.1.11 Diagrama de flujo.

El siguiente diagrama de flujo (Ver Figura 22) representa el proceso de validación de una cortinilla basado en la filosofía de operación.

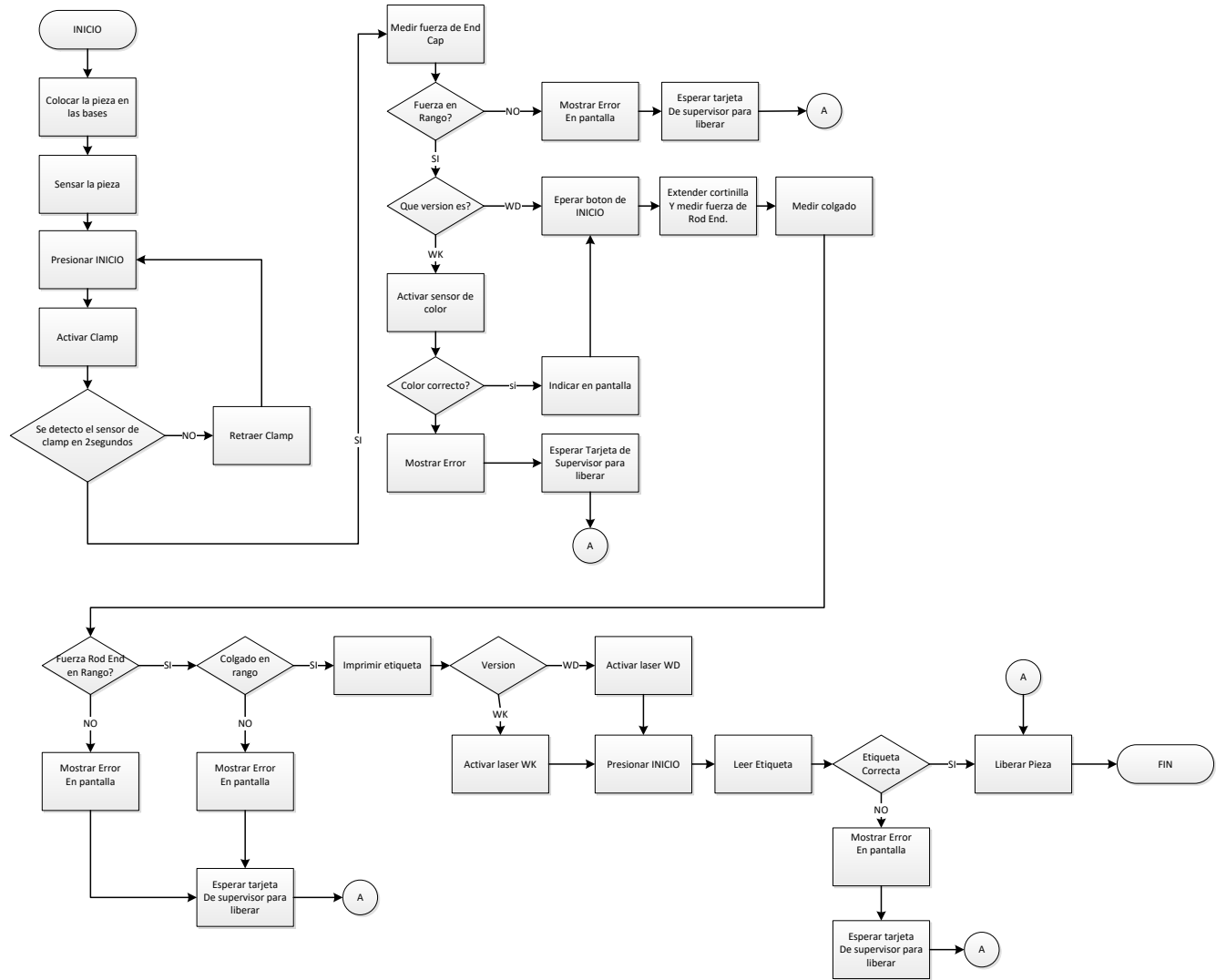


Figura 22. Diagrama de flujo proceso de inspección.

4.1.12 Modelado del proceso de inspección por red de Petri.

Para la interpretación para red de Petri es necesario declarar las variables que se interpretaran para cada plaza y transición de la red de Petri, se describen a continuación las variables declaradas y su correspondiente asignación de plaza y transición.

4.1.13 Asignación de variables.

Para la realización e interpretación posterior de los estados y las transiciones se asignan variables que representan o describen el estado de cada plaza y de cada transición. Se definen los elementos que componen el dispositivo de inspección final.

Se genera la tabla de sensores (Tabla 3) en la cual se identifican los elementos que realizan detecciones de partes o que llevan a cabo alguna de las mediciones del sistema de inspección, estos sensores son entradas al sistema y definen los elementos de "eventos" en las transiciones de la red de Petri.

Tabla 3.- Tabla de sensores.

SENSORES		
Descripción	Manipulado por:	Función
Sensor inductivo de presencia	Se coloca manualmente	Detectar presencia de pieza en bases del dispositivo
Sensor final de carrera de CLMP en la posición extendido.	Vástago de cilindro CLMP	Detectar cilindro CLMP extendido
Sensor inductivo de presencia	Se coloca manualmente	Detectar versión WD
Sensor inductivo de presencia	Se coloca manualmente	Detectar versión WK
Celda de carga	Vástago de cilindro CLMP	Medir la fuerza de "End cap"
Sensor de color de la pieza	NA	Validar el color de la pieza
Celda de carga IZQ	Cover extendido	Medir la fuerza de retracción del "Rod end"
Celda de carga DER	Cover extendido	Medir la fuerza de retracción del "Rod end"
Sensor ultrasónico IZQ	NA	Medir la distancia de colgado
Sensor ultrasónico DER	NA	Medir la distancia de colgado
Lector de código de barras	Comando serial	Leer el código de barras de la etiqueta impresa

Se genera la tabla de comandos (Tabla 4) en la cual se identifican elementos de entrada que son manipulados por el operador por medio de dispositivos como botones para interactuar con el dispositivo de inspección.

Tabla 4.- Tabla de comandos.

COMANDOS		
Descripción	Manipulado por:	Función
Botón pulsador a dos manos	Operador	Iniciar Clampeo y mediciones
Botón pulsador de emergencia	Operador	Activar paro de emergencia

Se genera la tabla de actuadores (Tabla 5) en donde se definen los elementos actuadores que son manipulados durante el proceso de inspección, el actuador puede ser físico u otro elemento que reciba señales para operar.

Tabla 5.- Tabla de actuadores

ACTUADORES		
Descripción	Manipulado por:	Función
Cilindro neumático CLMP	Electroválvula 5/2	Sujetar pieza (Clamp)
Lector de código de barras	Comando serial	Activar el lector de código de barras

Se realiza la tabla de pre actuadores (Tabla 6) para declarar los elementos intermedios entre las señales de salida y los actuadores, estos elementos reciben la señal eléctrica del PLC y comandan generalmente un actuador físico.

Tabla 6.- Tabla de pre actuadores.

PRE-ACTUADORES		
Descripción	Manipulado por:	Función
Electroválvula CLMP 5/2	2 solenoides 24VDC	Extender y retraer Clamp

Se muestra la Tabla 7 de variables de entrada en la cual se define el nombre de la variable, su descripción y asignación física en las entradas digitales del PLC.

Tabla 7.- Tabla de variables de entrada.

VARIABLES DE ENTRADA		
Variable	Descripción	Entrada PLC
STOP	Paro de emergencia	%I0.0
INI	Botones de inicio de proceso	%I0.1
SCL	Sensor inductivo de presencia de pieza	%I0.2
WD	Sensor inductivo de versión WD	%I0.3
WK	Sensor inductivo de versión WK	%I0.4
COL_OK	Señal eléctrica del sensor de color	%I0.5
COL_NOK	Señal eléctrica del sensor de color	%I0.6

En la Tabla 8 se indican las variables internas relacionadas con las comparaciones de los valores analógicos de los sensores de entrada y los valores esperados de la inspección.

Tabla 8.- Tabla de variables internas.

VARIABLES INTERNAS		
Variable	Descripción	Entrada PLC
RST	Tarjeta de supervisor	%M0.0
FEC_OK	Fuerza "End cap" dentro de rango	%M0.1
FEC_NOK	Fuerza "End cap" fuera de rango	%M0.2
COLG_OK	Colgado dentro de rango	%M0.3
COLG_NOK	Colgado fuera de rango	%M0.4
FRE_OK	Fuerza "Rod end" dentro de rango	%M0.5
FRE_NOK	Fuerza "Rod end" dentro de rango	%M0.6
ETQ_OK	Código de etiqueta correcto	%M0.7
ETQ_NOK	Código de etiqueta incorrecto	%M1.0

Se muestra la Tabla 9 de variables de salida en la cual se asigna una variable a las acciones de los actuadores físicos para su interpretación en la RP.

Tabla 9.- Tabla de variables de salida.

VARIABLES DE SALIDA		
Variable	Acción	Salida PLC
CLMP_0	Retraer vástago de cilindro CLMP, poner clamp	%Q0.0
CLMP_1	Extender vástago de cilindro CLMP, quitar clamp	%Q0.1

Se muestra a continuación la Tabla 10, llamada asignación de nombres a los lugares, esto permite seguir el flujo de la red de Petri y compararla con el pseudocódigo generado.

Tabla 10. Asignación de variables a lugares (condiciones).

P1	Estado inicial
P2	Clampear y temporizar para "clamp"
P3	Mensaje error de clamp.
P4	Medir fuerza "End cap"
P5	Mensaje error de fuerza "End cap"
P6	Validar versión
P7	Validar color
P8	Mensaje error color
P9	Mensaje extender cortinilla
P10	Medir colgado y fuerza "Rod end"
P11	Mensaje error colgado
P12	Mensaje error fuerza "Rod end"
P13	Imprimir etiqueta/validar versión
P14	Activar sensor laser WD
P15	Activar sensor laser WK
P16	Activar lector de código de barras
P17	Mensaje error de código de barras
P18	Mensaje producto ok/Liberar pieza

Se muestra a continuación la Tabla 11, llamada de asignación de variables a las transiciones, esto permite identificar las variables que activan las transiciones de acuerdo con el pseudocódigo, estas señales generalmente se componen de sensores u otras variables internas obtenidas de alguna evaluación de valores calculados u obtenidos por medio de señales analógicas o sensores.

Tabla 11. Asignación de variables a transiciones (eventos).

T1	Sensor de "cassete" y botón inicio	SC*INI
T2	Error en Clampeo, sensor "clamp"	/SCL
T3	Reset de supervisor	RST
T4	Sensor clamp	SCL
T5	Fuerza "End cap" fuera de rango	FEC_NOK
T6	Fuerza "End cap" dentro de rango	FEC_OK
T7	Versión WD y botón de inicio	WD*INI
T8	Versión WK y botón de inicio	WK*INI
T9	Error en color	COL_NOK
T10	Color verificado	COL_OK
T11	Botón de inicio	INI
T12	Colgado fuera de rango	COLG_NOK
T13	Fuerza "Rod end" fuera de rango	FRE_NOK
T14	Colgado y Fuerza dentro de rango	FRE_OK*COLG_OK
T15	Versión WD	WD
T16	Versión WK	WK
T17	Botón INI	INI
T18	Botón INI	INI
T19	Error en etiqueta	ETQ_NOK
T20	Etiqueta correcta	ETQ_OK
T21	Clamp libre y sin pieza	/SC * /SCL

4.1.14 Software para modelado de red de Petri.

Se utiliza un "software" de modelación para realizar la red de Petri (Figura 23), el "software" utilizado es WoPeD, (Workflow Petri Net Designer) el cual es un "software" de código abierto desarrollado por la Universidad Estatal Cooperativa de Karlsruhe. Se utiliza también otro "software" para realizar una comparación de comportamiento con el "software" CPN Tools, desarrollado por el CPN Group en la Universidad de Aarhus y por el AIS Group de la Universidad de Tecnología de Eindhoven Figura.

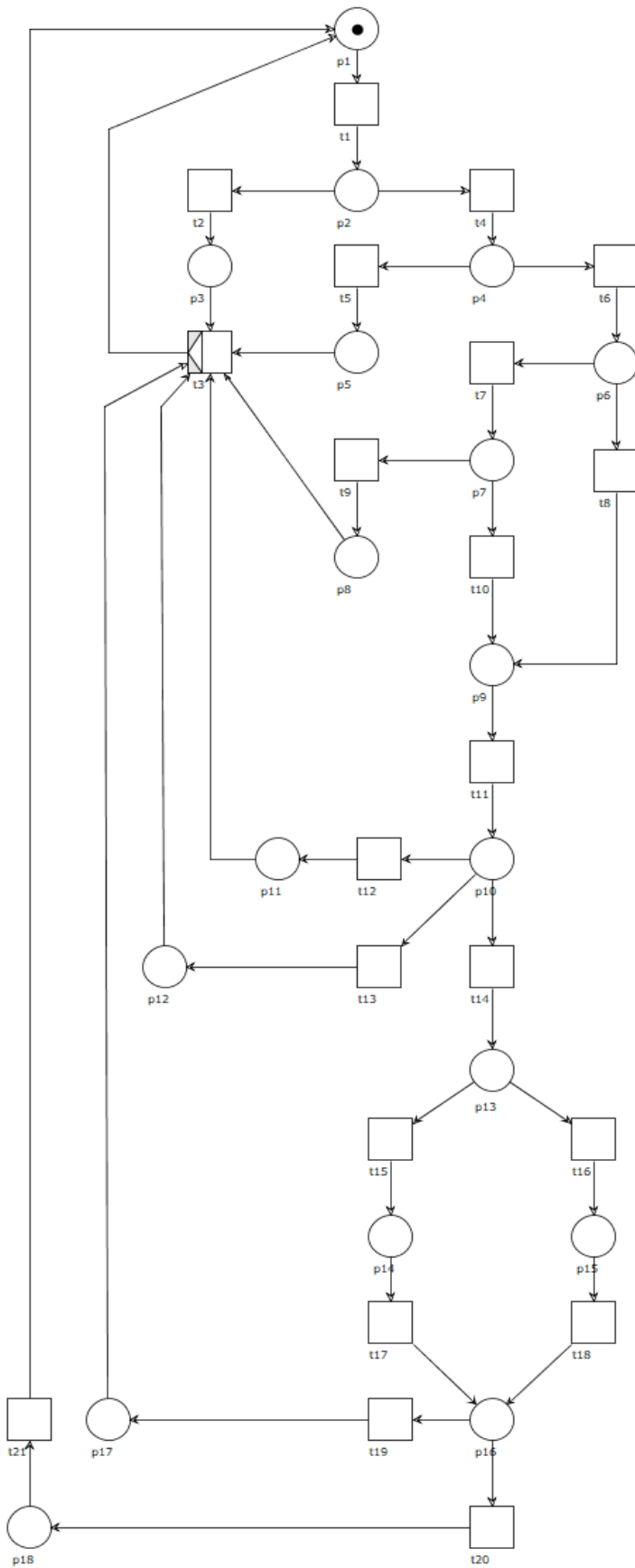


Figura 23. Red de Petri de proceso de inspección con condiciones y eventos.

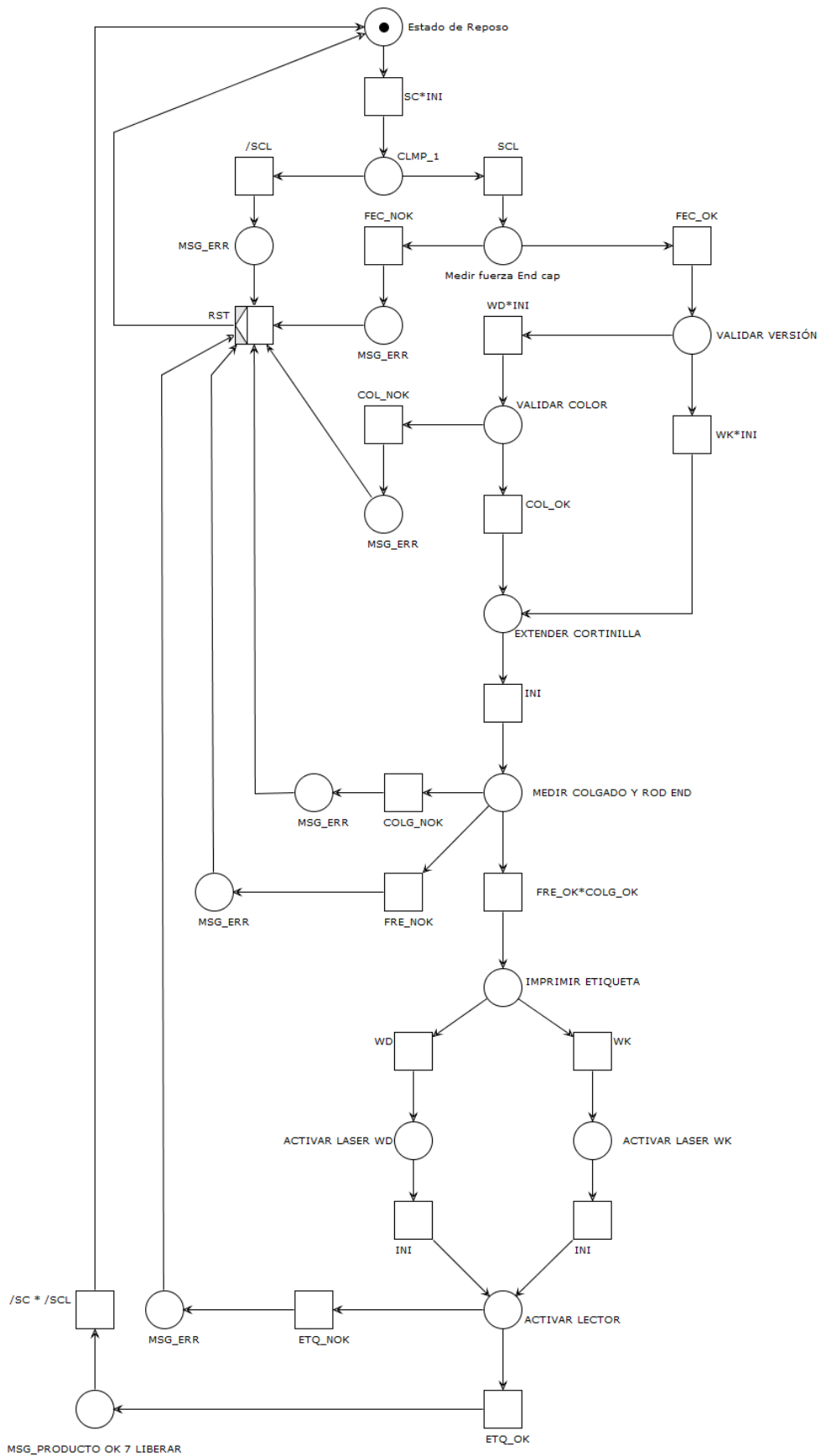


Figura 24.- Modelo de red de Petri de inspección con variables.

4.1.15 Ecuaciones de red de Petri.

Las siguientes ecuaciones describen los lugares y las transiciones de la red de Petri para la etapa de inspección, se consideran los conjuntos de lugares, transiciones, pre condiciones y post condiciones. Como se especifica en las ecuaciones (3), (4), (5) y (6) y se obtienen los conjuntos (**P**, **T**, **E** y **S**) al analizar y seguir la red de Petri de la figura 23.

$$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18\}$$

$$T = \{t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9, t10, t11, t12, t13, t14, t15, t16, t17, t18, t19, t20, t21\}$$

$$E = \{(P1,t1), (P2,t2), (P2,t4), (P3,t3), (P4,t5), (P4,t6), (P4,t6), (P5,t3), (P6,t7), (P6,t8), (P7,t9), (P7,t10), (P8,t3), (P9,t11), (P10,t12), (P10,t13), (P10,t14), (P11,t3), (P12,t3), (P13,t15), (P13,t16), (P14,t17), (P15,t18), (P16,t19), (P16,t20), (P17,t3), (P18,t21)\}$$

$$S = \{(t1,P2), (t2,P3), (t3,P1), (t4,P4), (t5,P5), (t6,P6), (t7,P7), (t8,P9), (t9,P8), (t10,P9), (t11,P10), (t12,P11), (t13,P12), (t14,P13), (t15,P14), (t16,P15), (t17,P16), (t18,P16), (t19,P17), (t20,P18), (t21,P1)\}$$

4.1.16 Ecuaciones de inscripción y de borrado.

Las ecuaciones de inscripción definen la secuencia de la programación en lenguaje escalera en donde se memorizan por medio de un "set" las variables de las posiciones P, las ecuaciones de borrado indican la secuencia de la programación en lenguaje escalera en donde se borran las memorias, se obtienen conforme a la ecuación (10), (11), (12) y (13), se describen en la Tabla 12.

Tabla 12. Ecuaciones de inscripción y de borrado.

Inscripción Kn.	Borrado Jn
$K1 = (Q3 \cdot RST) + (Q5 \cdot RST) + (Q8 \cdot RST) + (Q11 \cdot RST) + (Q12 \cdot RST) + (Q17 \cdot RST) + (Q18 \cdot SC \cdot SCL)$	$J1 = Q2$
$K2 = (Q1 \cdot SC \cdot INI)$	$J2 = Q3 + Q4$

Tabla 12. Ecuaciones de inscripción y de borrado (Continuación).

Inscripción Kn.	Borrado Jn
$K3=(Q2*/SCL)$	$J3=Q1$
$K4=(Q2*SCL)$	$J4=Q5+Q6$
$K5=(Q4*FEC_NOK)$	$J5=Q1$
$K6=(Q4*FEC_OK)$	$J6=Q7+Q9$
$K7=(Q6*WD*INI)$	$J7=Q8+Q9$
$K8=(Q7*COL_NOK)$	$J8=Q1$
$K9=(Q6*WK*INI) +(Q7*COL_OK)$	$J9=Q10$
$K10=(Q9*INI)$	$J10=Q11+Q12+Q13$
$K11=(Q10*COLG_NOK)$	$J11=Q1$
$K12=(Q10*FRE_NOK)$	$J12=Q1$
$K13=(Q10*COLG_OK*FRE_OK)$	$J13=Q14+Q15$
$K14=(Q13*WD)$	$J14=Q16$
$K15=(Q13*WK)$	$J15=Q16$
$K16=(Q14*INI) +(Q15*INI)$	$J16=Q17+Q18$
$K17=(Q16*ETQ_NOK)$	$J17=Q1$
$K18=(Q16*ETQ_OK)$	$J18=Q1$

4.1.17 Ecuaciones de salida.

Las ecuaciones de salida indican las variables que activan de manera física alguna señal de salida, esta señal puede ser interna o externa, las señales de salida se describen en la Tabla 13.

Tabla 13. Ecuaciones de salida

$CLMP_1=Q2$
$CLMP_0=Q1$

4.2 MODELADO DEL PROCESO DE “ONE-PIECE FLOW” CASO 1

4.2.1 Modelado de red de Petri para OPF.

Se describe la filosofía de operación para la interacción entre equipos para establecer el modelo de OPF del caso 1. El ciclo inicia en la estación 1 y termina en la estación 3. Como se ha descrito en el capítulo 2, un sistema “Pull” establece que la última estación es la que coordina las anteriores para generar y habilitar los procesos.

1. Verificar estación 1 se encuentra habilitada.
2. Iniciar proceso en estación 1.
3. Proceso finalizado en estación 1.
4. Verificar estación 2 se encuentra habilitada.
5. Liberar pieza en estación 1.
6. Iniciar proceso en estación 2.
7. Al iniciar proceso en estación 2, habilitar la estación 1.
8. Proceso finalizado en estación 2.
9. Verificar estación 3 se encuentre habilitada.
10. Liberar pieza de estación 2.
11. Al Iniciar proceso en estación 3, habilitar la estación 2.
12. Al finalizar proceso en estación, 3 habilitar estación 3.

Para generar la secuencia de OPF y utilizar el concepto de “Pull”, se requiere que la última estación sea la que coordine las acciones de habilitar o deshabilitar las estaciones anteriores. Se definen de esta manera tres variables que permiten habilitar cada una de las estaciones para poder iniciar un proceso en cada una de ellas, dos de estas señales son externas y una señal es interna. Se requiere conocer también cuando una de las piezas de las estaciones 1 y 2 ha sido terminada correctamente con la intención de informar a la estación final del estado en que se encuentra para poder habilitar la siguiente secuencia.

Estación 1:

- Señal de entrada de habilitación (Señal que indica que se puede tomar una pieza para procesarla).

- Señal de salida de pieza terminada (Señal que indica que una pieza fue procesada de manera correcta y está lista para el siguiente proceso).
- Señal de entrada de liberación (Señal que indica que la pieza terminada puede ser liberada).

Estación 2:

- Señal de entrada de habilitación (Señal que indica que se puede tomar una pieza para procesarla).
- Señal de salida de pieza terminada (Señal que indica que una pieza fue procesada de manera correcta y está lista para el siguiente proceso).
- Señal de entrada de liberación (Señal que indica que la pieza terminada puede ser liberada).

Estación 3:

- Señal interna de habilitación (Señal que indica que se puede tomar una pieza para procesarla).
- Señal de entrada de pieza terminada en estación 1.
- Señal de entrada de pieza terminada en estación 2.
- Señal de salida de habilitación para la estación 1.
- Señal de salida de habilitación para la estación 2.
- Señal de salida de liberación para la estación 1.
- Señal de salida de liberación para la estación 2.

4.2.2 Diagrama de red de Petri de OPF.

La Figura 25 muestra una red de Petri propuesta para la ejemplificación del comportamiento esperado de OPF, esta red se enfoca en el concepto OPF como medio previo para entender la lógica requerida.

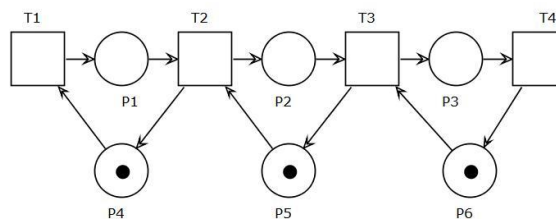


Figura 25.-Red de Petri de OPF.

4.2.3 Ecuaciones de red de Petri de OPF.

A partir de la red de Petri propuesta se establecen las ecuaciones de lugares y transiciones de acuerdo con las ecuaciones (10) y (11).

$$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6\}$$

$$T = \{T1, T2, T3, T4\}$$

$$E = \{(P1, T2), (P2, T3), (P3, T4), (P4, T1), (P5, T2), (P6, T3)\}$$

$$S = \{(T1, P1), (T2, P2), (T2, P4), (T3, P3), (T3, P5), (T4, P5), (T4, P6)\}$$

4.2.4 Ecuaciones de inscripción y borrado de OPF.

Se describen a continuación las ecuaciones de inscripción de memorias, borrado de memorias y de salida obtenidas con las ecuaciones (12) y (13). Las inscripciones de memorias K_n obtenidas siguiendo la ecuación (12), Tabla 14.

Tabla 14.- Tabla de inscripción y borrado de OPF.

Inscripción K_n .	Borrado J_n .
$K1 = T1 * P4$	$J1 = Q2 + Q4$
$K2 = T2 * P5$	$J2 = Q3 + Q5$
$K3 = T3 * P6$	$J3 = Q6$
$K4 = T2 * P5$	$J4 = Q1$
$K5 = T3 * P6$	$J5 = Q2$
$K6 = T4 * P3$	$J6 = Q3$

Ecuaciones de salida identificando las activaciones de habilitación, Tabla 15.

Tabla 15.- Tabla de activaciones de OPF.

$HAB1 = Q4$
$HAB2 = Q5$
$HAB3 = Q6$

4.2.5 Evolución de marcado de OPF.

Como verificación de la evolución de marcas en los lugares y transiciones se realiza un mapeo del vector de marcado para visualizar la evolución de la red de Petri (Figura 26). Al evolucionar M11 en T4 se obtiene de nuevo M0.

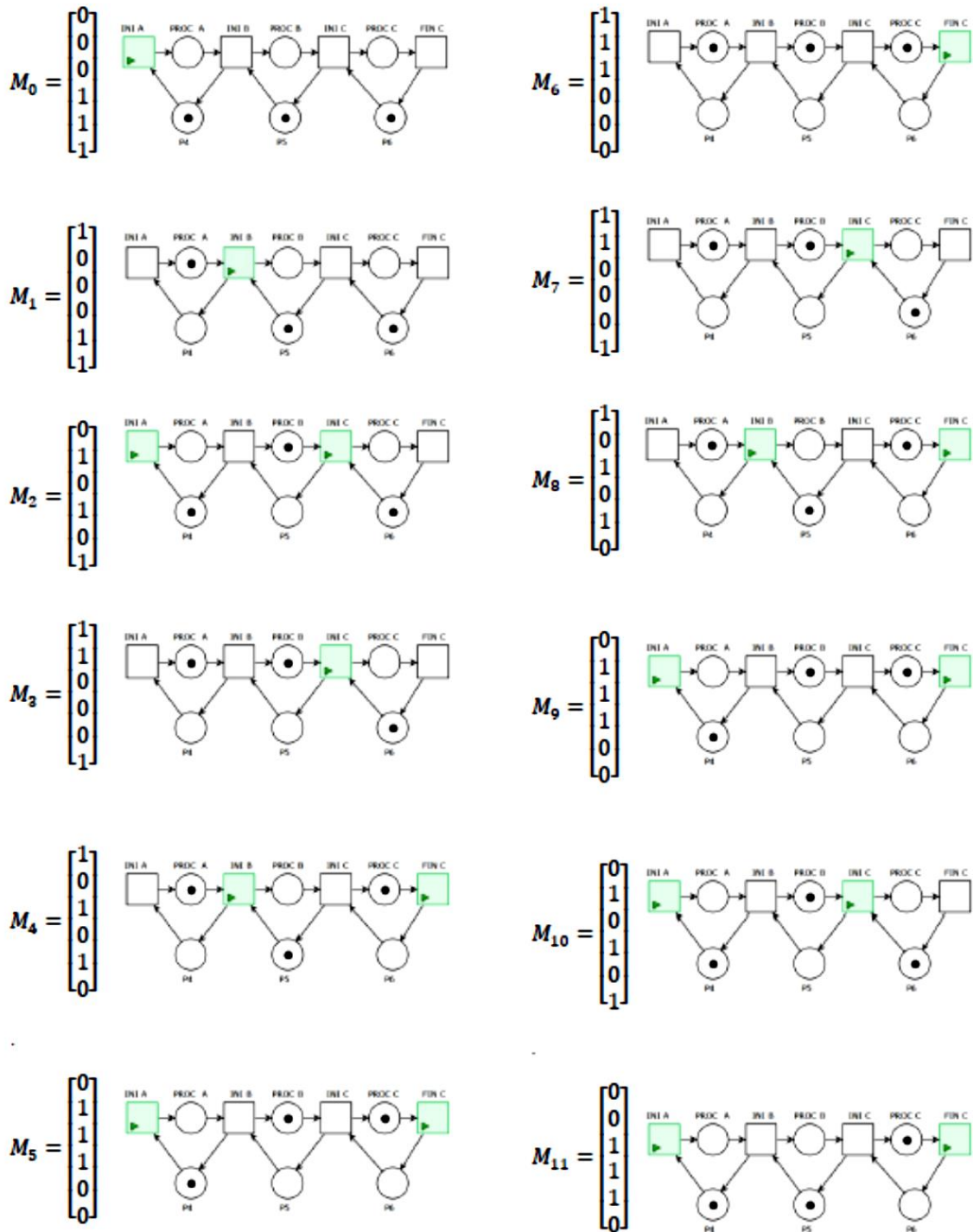


Figura 26.- Evolución de marcado caso 1.

4.2.6 Árbol de alcanzabilidad OPF.

Se genera el árbol de alcanzabilidad de la red de Petri mostrada en la Figura 25, el árbol de alcanzabilidad permite observar la evolución del vector de marcado, así como evaluar las características de la red de Petri propuesta, se observa en color rojo, las evoluciones en donde se repite un estado anterior y que genera la ciclicidad (Figura 27).

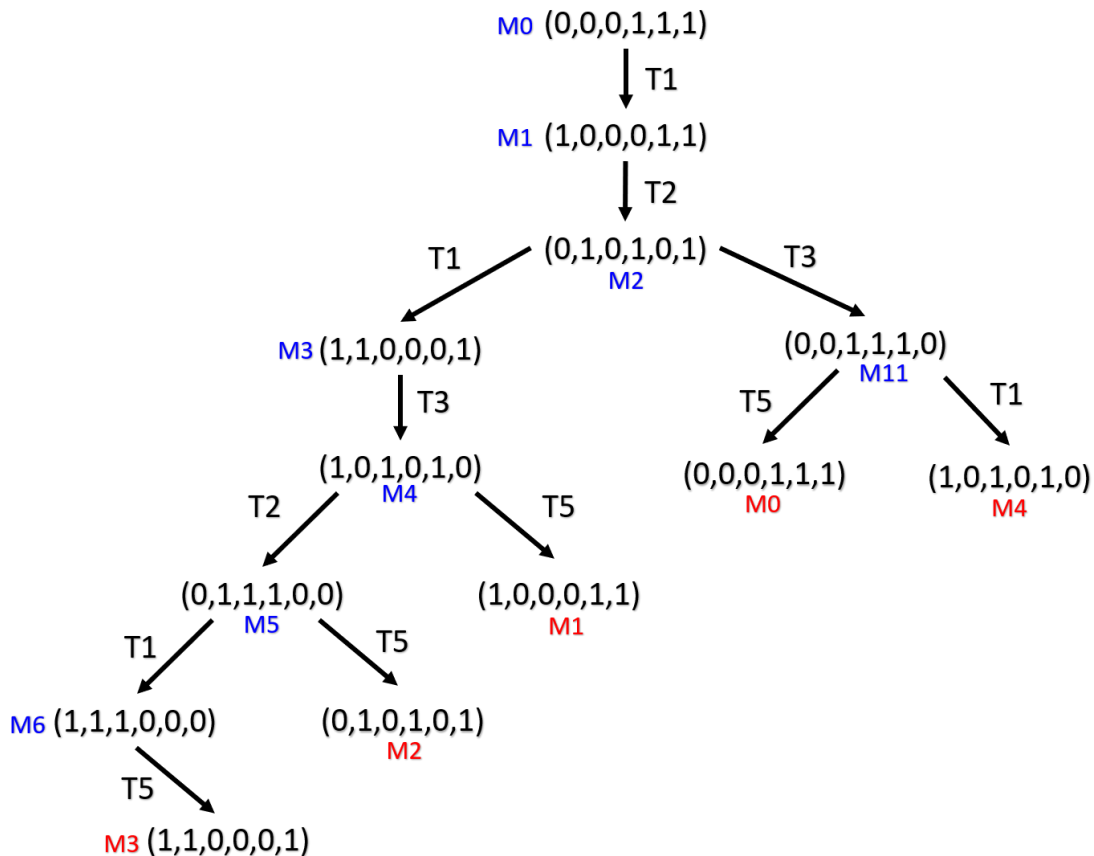


Figura 27.-Árbol de alcanzabilidad.

Al revisar el árbol de alcanzabilidad de la Figura 27 se realiza un análisis de la red de Petri y se define lo siguiente:

- Es una red de Petri viva, ya que no se presentan bloqueos durante la evolución completa de los vectores de marcado y se inicia con habilitación.
- Es una red de Petri cíclica, ya que existe una secuencia de disparos que permite alcanzar el marcado inicial M0.
- Es una red de Petri segura, ya que no existe más de una marca por plaza.

- La red de Petri propuesta es conservativa debido a que durante todas las evoluciones el factor de peso correspondiente es constante.
- La red de Petri no presenta conflicto efectivo ni conflicto estructural debido que no se presenta ningún marcado que sensibilice simultáneamente dos transiciones continuas.

4.3 MODELO DE RED DE PETRI PARA OPF CASO 2.

4.3.1 Modelado de tres estaciones.

Con la información anterior se diseña una representación en diagrama de Petri (Figura 28) que representa la interacción de tres estaciones. En la red de Petri propuesta para tres estaciones se considera que se ingresa una pieza a proceso en la transición T1 (Inicio de ciclo de la estación uno) siendo P1(HAB_E1) la habilitación necesaria para poder tomar una pieza nueva, se anexa la tabla de variables para el modelo de red de Petri para el caso 2, Tabla 16.

Tabla 16.- Tabla de variables de modelo de caso 2.

Condición	Descripción	Transición	Descripción
P1	Estación 1 habilitada	T1	Inicio en E1
P2	Estación 1 procesando	T2	Pieza liberada en E1
P3	Estación 2 habilitada	T3	Inicio en E2
P4	Estación 2 procesando	T4	Pieza liberada en E2
P5	Liberar pieza de E1	T5	Inicio en E3
P6	Estación 3 habilitada	T6	Pieza liberada en E3
P7	Estación 3 procesando		
P8	Liberar pieza de E2		

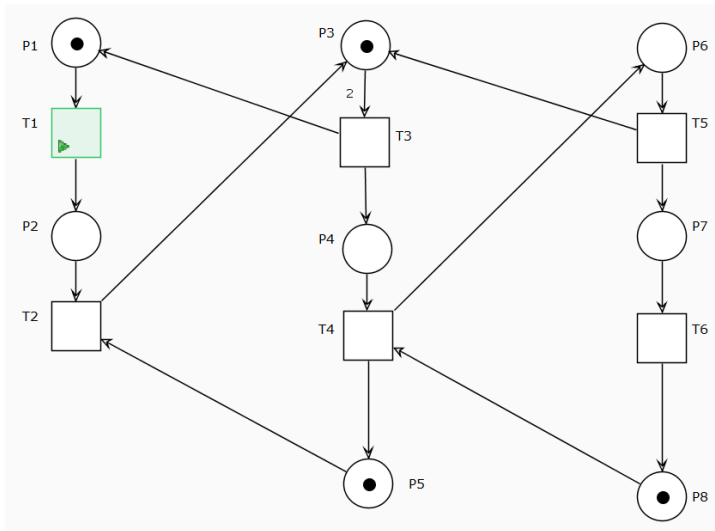


Figura 28.-Red de Petri de OPF con 3 estaciones.

4.3.2 Árbol de alcanzabilidad de modelo de tres estaciones.

Se muestra en la Figura 29 el árbol de alcanzabilidad desarrollado para evaluar el comportamiento de las evoluciones de marcado, se analizan las precondiciones y post condiciones para cada evolución. se observa en color rojo, las evoluciones en donde se repite un estado anterior y que genera la ciclicidad (Figura 29).

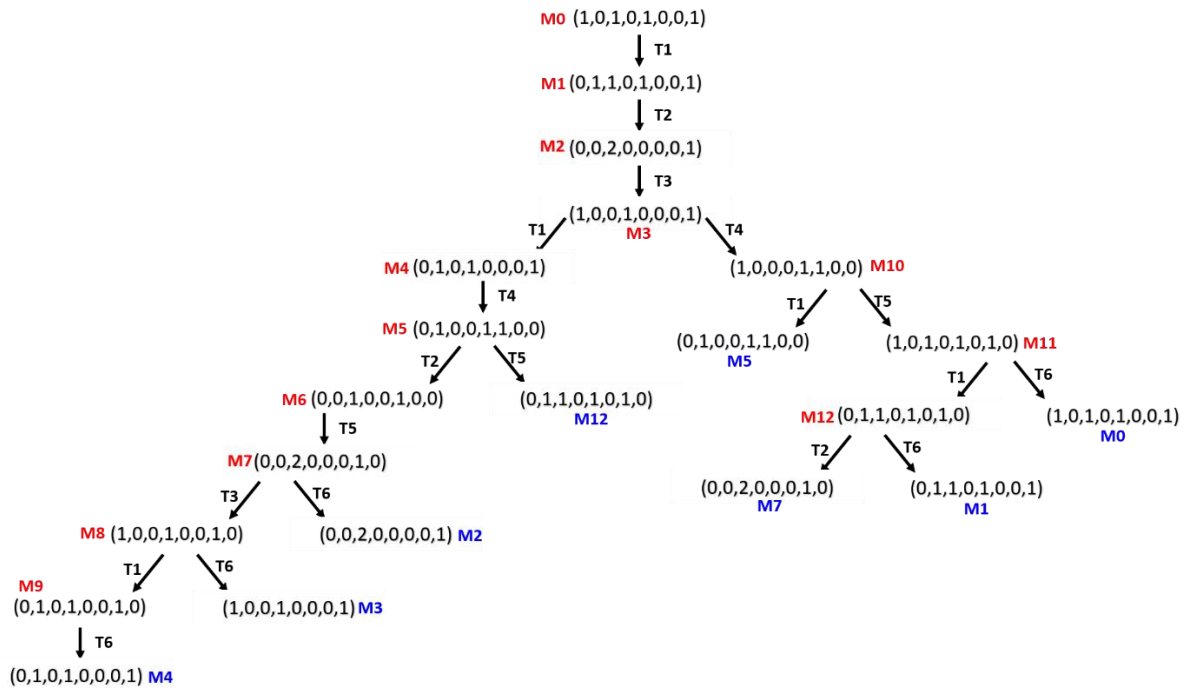


Figura 29.-Árbol de alcanzabilidad caso 2.

4.3.3 Ecuaciones de red de Petri OPF de tres estaciones.

A partir de la red de Petri propuesta se establecen las ecuaciones de lugares y transiciones de acuerdo con las ecuaciones (10) y (11).

$$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8\}$$

$$T = \{T1, T2, T3, T4, T5, T6\}$$

$$E = \{(P1, T1), (P2, T2), (P3, T3), (P4, T4), (P5, T2), (P6, T5), (P7, T6), (P8, T4)\}$$

$$S = \{(T1, P2), (T2, P3), (T3, P1), (T4, P5), (T4, P6), (T5, P3), (T5, P7), (T6, P8)\}$$

4.3.4 Ecuaciones de inscripción.

Las ecuaciones de inscripción y borrado se obtienen conforme a las ecuaciones (16) y (17) y se describen en la Tabla 17 y Tabla 18.

Tabla 17.- Inscripción y borrado de memorias.

Inscripción de memoria Kn	Inscripción de borrado Jn
K1= Q3 & T3	J1= Q2
K2= Q1 & T1	J2= Q3
K3= Q2 & T2 & Q6 & T5	J3= Q4
K4= Q3 & T3	J4= Q5
K5= Q4 & T4	J5= Q3
K6= Q4 & T4	J6= Q7
K7= Q6 & T5	J7= Q8
K8= Q7 & T6	J8= Q6

Tabla 18.- Ecuaciones de salida.

Ecuaciones de salida
HAB_E1 = Q1
HAB_E2 = Q3
LIB_E1 = Q5
LIB_E2 = Q8

4.3.5 Análisis de caso 2 con detección de error.

Con la información de las Tablas 17 y 18 se define una representación en diagrama de Petri (Figura 30) que representa una de las estaciones en la cual se ingresa una pieza a proceso iniciando con la transición T1 y siendo P5 la habilitación necesaria para poder tomar una pieza.

Generando una decisión de pieza correcta por medio de la plaza P3 y la consiguiente salida en T3 y habilitación por medio de P5 (Figura 30-c), en caso de una pieza incorrecta se traslada a la estación P4 liberando por medio de T4 y de igual manera habilitando de nuevo la estación para reiniciar el proceso por medio de P5(Figura 30-f).

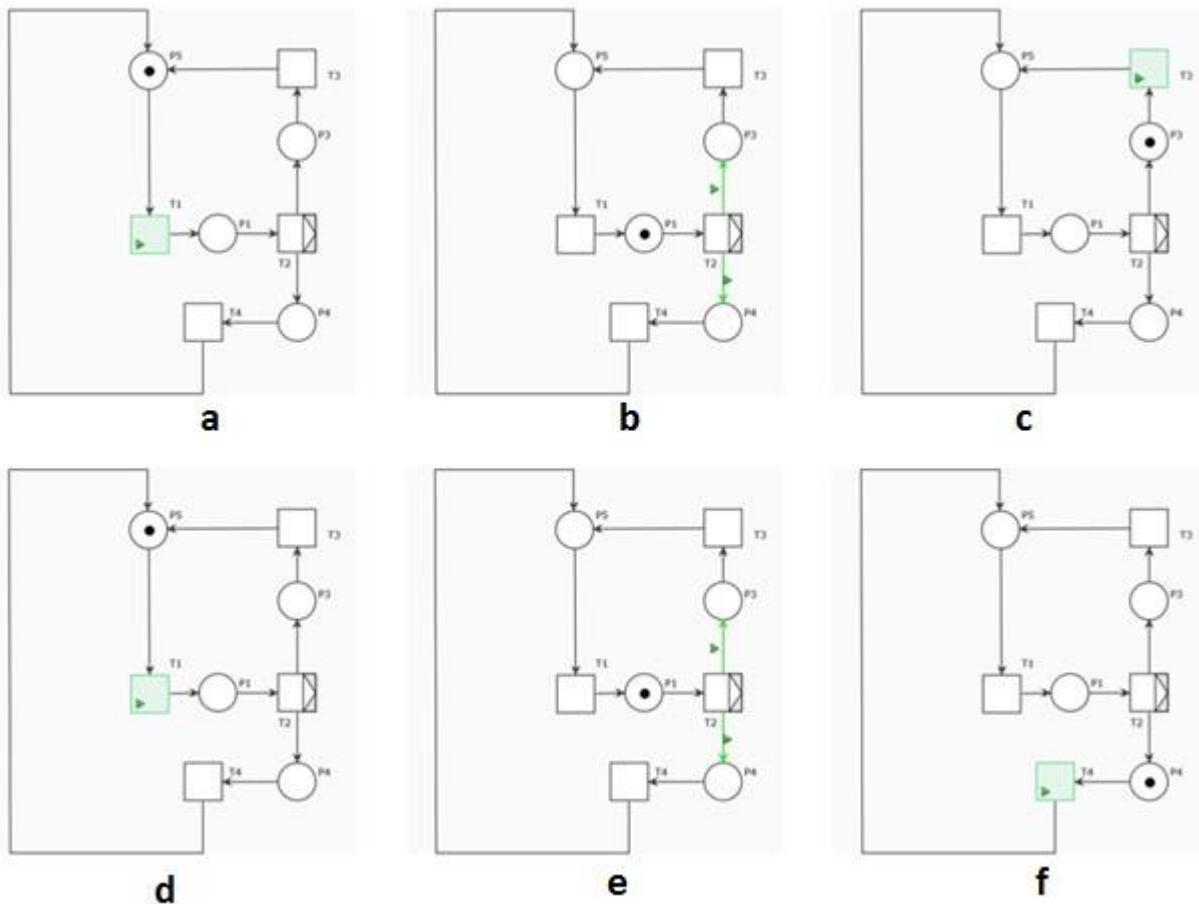


Figura 30.-Evolución de marcado para red de Petri de 1 modulo.

Al analizar la red de Petri modificada se define que cumple con las características de ser cíclica, segura, conservativa y que no presenta conflictos estructurales.

Una vez especificada la unidad de estación que se pretende evaluar en la cual se ingresa una pieza a proceso y se evalúa si es correcta o tiene error se acoplan otras dos estaciones más para observar su comportamiento en interacción y evaluar las señales que se proponen para coordinar las acciones de habilitación (Figura 31), el modelado de la Figura 31 se diseñó para evaluar el comportamiento del caso 2.

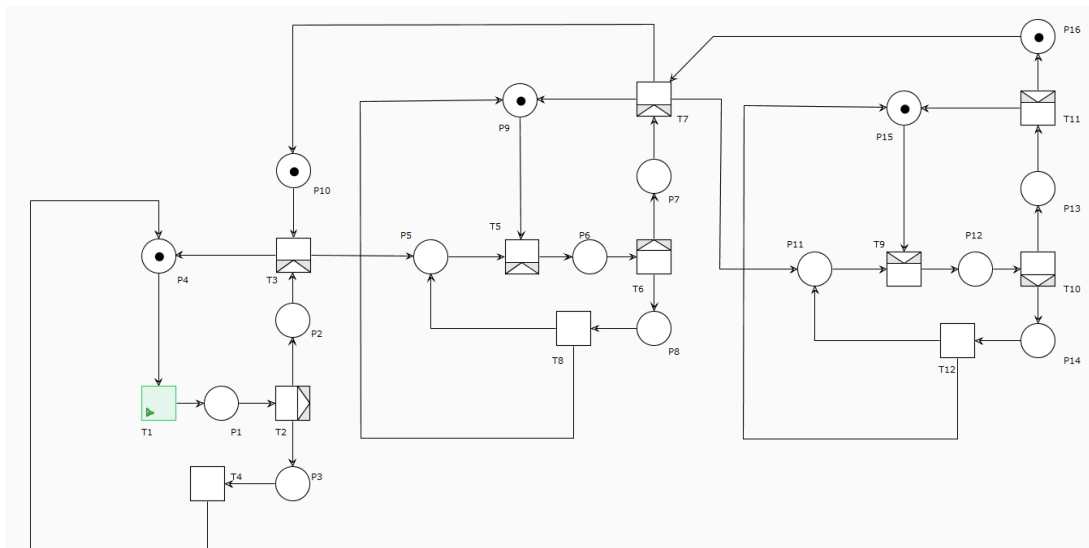


Figura 31.-Interacción entre tres módulos de OPF.

Se calculan los conjuntos **P**, **T**, **E** y **S**, se generan los conjuntos de precondiciones y post condiciones requeridas para cada estado y analizar la interacción entre las tres estaciones. Se utilizan las ecuaciones (10), (11) (12) y (13).

$$\mathbf{P} = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16\}$$

$$\mathbf{T} = \{T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12\}$$

$$\mathbf{E} = \{(P1, T2), (P2, T3), (P3, T4), (P4, T1), (P5, T5), (P6, T6), (P7, T7), (P8, T8), (P9, T5), (P10, T3), (P11, T9), (P12, T10), (P13, T11), (P14, T12), (P15, T9), (P16, T7)\}$$

$S = \{ (T1, P1), (T2, P2), (T2, P3), (T3, P4), (T3, P5), (T4, P4), (T5, P6), (T6, P7), (T6, P8), (T7, P9), (T7, P10), (T7, P11), (T8, P9), (T9, P12), (T10, P13), (T10, P14), (T11, P16), (T11, P15), (T12, P15) \}$

4.4 BLOQUES DE PROGRAMACIÓN EN PLC DEL PROCESO DE INSPECCIÓN.

4.4.1 Programación del OPF en TIA PORTAL.

Se interpreta la red de Petri individual para generar el lenguaje de escalera, se anexa el lenguaje de escalera programado en la estación de inspección final. Se realiza al arranque una secuencia de escritura en las variables que inician con marcado de acuerdo con la red de Petri descrita con anterioridad (Figura 32 y 33).

Symbol	Address	Type
"P1"	%M0.0	Bool
"P3"	%M0.2	Bool
"P5"	%M0.4	Bool
"P8"	%M0.7	Bool

Figura 32.-Declaración de variables de arranque.

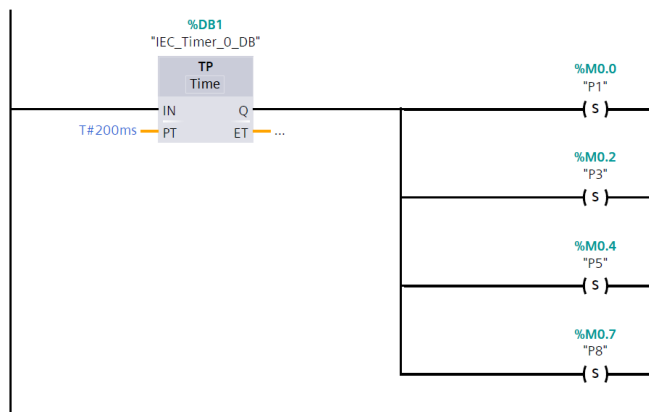


Figura 33.-Bloque programa arranque.

Esta secuencia utiliza el bloque "TP" el cual genera un pulso único con la duración especificada en su entrada "PT" al iniciar el proceso este pulso permite aplicar el "set" a las variables de arranque.

En la siguiente línea se definen las señales físicas de entrada y su asignación a las variables equivalentes en la red de Petri. Se define que variables son entradas externas y que señales son variables internas.

Las señales de la Estación 3 corresponden a la estación de inspección final en la cual se centraliza la operación del OPF es por eso por lo que las variables relacionadas a la estación 3 son memorias internas "M" (Figura 34 y 35).

Symbol	Address	Type
"Fin_Ciclo_E1"	%I0.1	Bool
"Fin_Ciclo_E2"	%I0.3	Bool
"Fin_Ciclo_E3"	%M2.1	Bool
"Inicio_Ciclo_E1"	%I0.0	Bool
"Inicio_Ciclo_E2"	%I0.2	Bool
"Inicio_Ciclo_E3"	%M2.0	Bool
"T1"	%M1.0	Bool
"T2"	%M1.1	Bool
"T3"	%M1.2	Bool
"T4"	%M1.3	Bool
"T5"	%M1.4	Bool
"T6"	%M1.5	Bool

Figura 34.-Declaración de variables de señales de entrada.



Figura 35.-Bloque de programa señales de entrada.

EL bloque de programación para las memorias de inscripción se muestra en las Figuras 36 y 37.

Symbol	Address	Type
"P1"	%M0.0	Bool
"P2"	%M0.1	Bool
"P3"	%M0.2	Bool
"P4"	%M0.3	Bool
"P5"	%M0.4	Bool
"P6"	%M0.5	Bool
"P7"	%M0.6	Bool
"P8"	%M0.7	Bool
"T1"	%M1.0	Bool
"T2"	%M1.1	Bool
"T3"	%M1.2	Bool
"T4"	%M1.3	Bool
"T5"	%M1.4	Bool
"T6"	%M1.5	Bool

Figura 36.-Bloque de variables de memorias de inscripción.

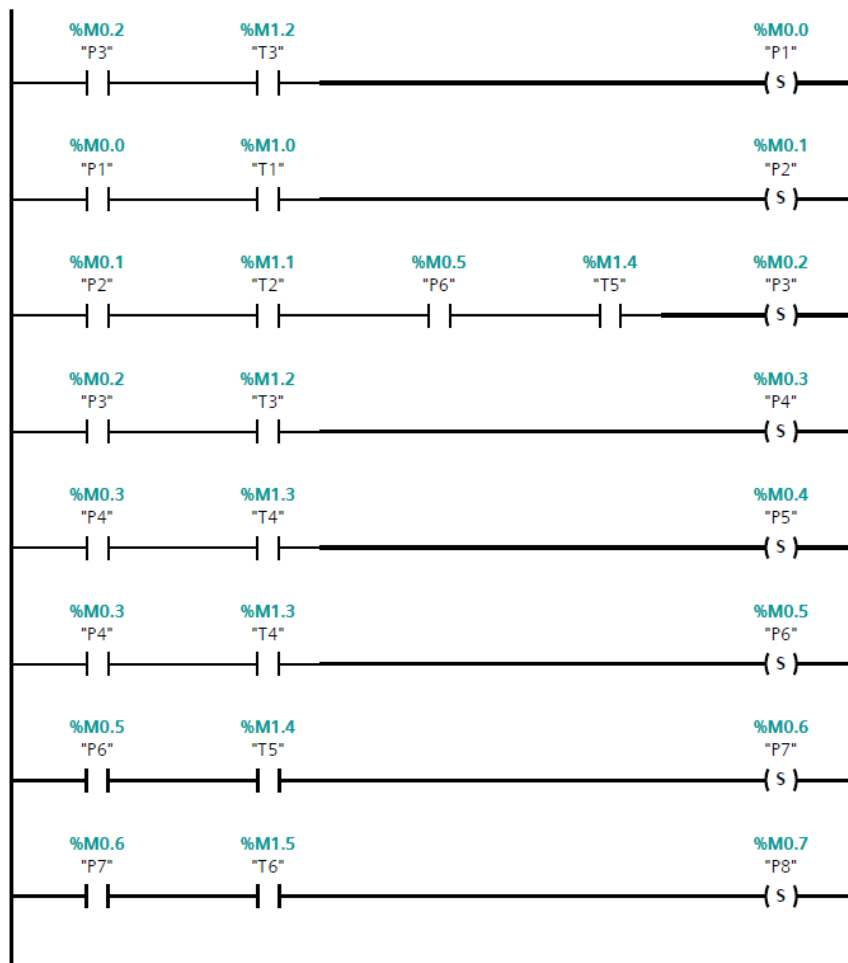


Figura 37.-Bloque de programación de memorias de inscripción.

El bloque de programación del borrado de las memorias se muestra en las Figura 38 y 39.

Symbol	Address	Type
"P1"	%M0.0	Bool
"P2"	%M0.1	Bool
"P3"	%M0.2	Bool
"P4"	%M0.3	Bool
"P5"	%M0.4	Bool
"P6"	%M0.5	Bool
"P7"	%M0.6	Bool
"P8"	%M0.7	Bool

Figura 38.-Bloque de variables de borrado.

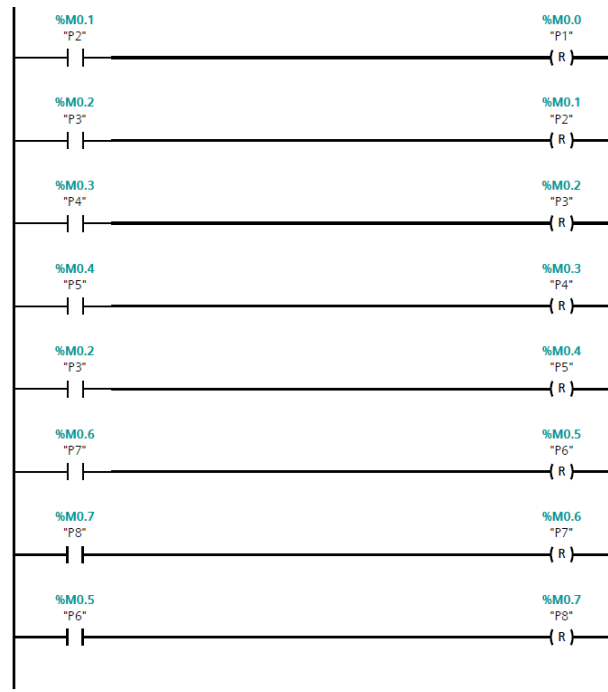


Figura 39.-Bloque de programación de variables de borrado.

El bloque de programación de las señales de salida se muestra en la Figura 40 y 41.

Symbol	Address	Type
"HAB_E1"	%Q0.0	Bool
"HAB_E2"	%Q0.1	Bool
"LIB_E1"	%Q0.2	Bool
"LIB_E2"	%Q0.3	Bool
"P1"	%M0.0	Bool
"P3"	%M0.2	Bool
"P5"	%M0.4	Bool
"P8"	%M0.7	Bool

Figura 40.- Declaración de variables de las señales de salida.



Figura 41.-Bloque de variables y de programación de señales de salida.

Se asignan las señales de entrada y salida a los pines de un conector eléctrico. Los conectores se encuentran instalados en la parte posterior de la estación de inspección final. Se describe la asignación de pines con las variables utilizadas en el programa de escalera, se agrega el programa de escalera completo en el anexo C.

Conector 1

- Conector Weidmuller HDC-KIT-HA 04.400 M.
- Pin 1: HAB_E1.
- Pin 2: LIB_E1.
- Pin 3: Inicio_Ciclo_E1.
- Pin 4: Fin_Ciclo_E1.

Conector 2

- Conector Weidmuller HDC-KIT-HA 04.400 M.
- Pin 1: HAB_E2.
- Pin 2: LIB_E2.
- Pin 3: Inicio_Ciclo_E2.
- Pin 4: Fin_Ciclo_E2.

4.4.2 Lectura de RFID.

La identificación del personal operativo se realiza por medio de una antena RFID y por medio de tarjetas asignadas a cada trabajador. Se programa un bloque para la administración de las tarjetas permitiendo realizar operaciones de baja, alta y lectura.

- El modelo del lector es ProxPro 5355 de HID.

La comunicación entre el lector y el PLC se realiza por medio de comunicación serial RS232.

El programa realiza la lectura por medio de un bloque de programación en el cual se recibe el código contenido en la tarjeta presentada frente al lector. El código es seccionado para obtener únicamente los diez dígitos de la derecha los cuales contienen el código numérico asociado a la tarjeta (Figura 42).

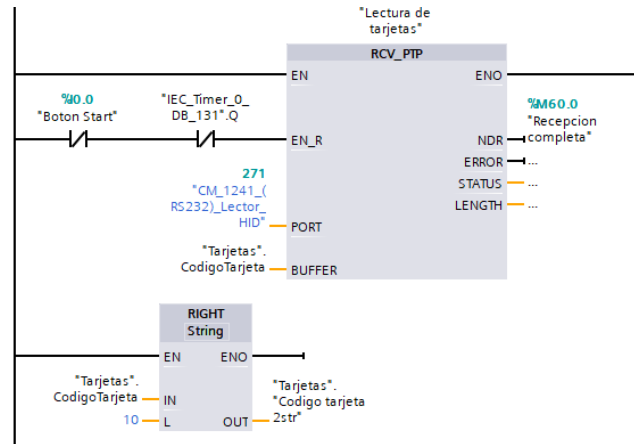


Figura 42.-Bloque de programación de lectura de tarjetas RFID.

Cuando se detecta la recepción completa, se compara el código obtenido con la base de datos cargada en la memoria para identificar los datos asociados con el número de tarjeta, de esta manera se identifica al operador (Figura 43).

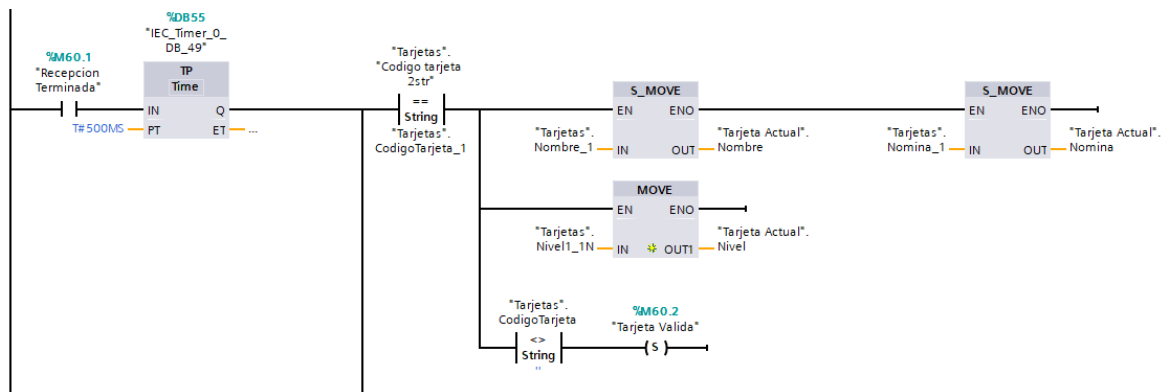


Figura 43.-Bloque de programación de búsqueda de registro de tarjeta.

4.4.3 Impresión de etiquetas.

Cada producto terminado de manera adecuada genera una etiqueta con información relevante del producto, datos como la fecha, el modelo y código de barras.

La impresora seleccionada cuenta con puerto serial RS232 y tiene la capacidad de recibir comandos de programación por este medio. La impresora cuenta con un código de programación propio llamado "Zebra Programming Language" (ZPLII) de la compañía "Zebra Technologies".

Ejemplo de ZPLII:

En el siguiente código se envía una impresión del texto "HOLA MUNDO" por medio de comandos seriales, se inicia con el comando "^XA" el cual indica el inicio del formato a enviar.

```
^XA
^LH30,30
^FO20,10
^ADN,90,50
^AD^FD HOLA MUNDO ^FS
^XZ
```

Para generar la etiqueta completa con la información requerida se concatenan varios segmentos de cadenas de caracteres, en cada cadena de caracteres se inserta la información obtenida por medio de la conversión de datos enteros a caracteres para el caso de fechas y consecutivos.

Los datos numéricos se convierten a variables "String" para ser concatenados con los comandos enviados a la impresora (Figura 44). El programa evalúa si el dígito a convertir es de uno o dos dígitos para poder seccionar los caracteres utilizables.

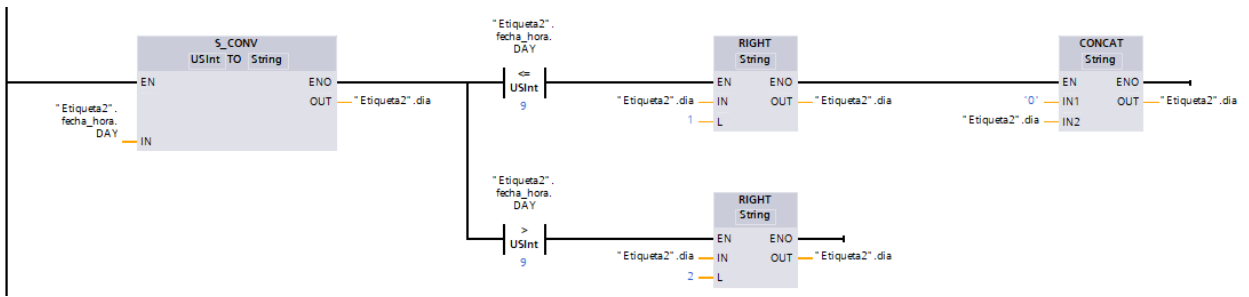


Figura 44.-Bloque de programación de conversión entera a carácter.

Se generan cadenas de texto al concatenar cada uno de los comandos de la impresora junto con las cadenas de caracteres de la información editable para cada etiqueta. Se programa una cadena base para cada variante de etiqueta.

Un identificador es asignado para cada renglón de comandos para la impresora (CADENA 1, CADENA 2 etc.) de esta manera se identifica el renglón que se modifica durante la impresión de la etiqueta (Figura 45).

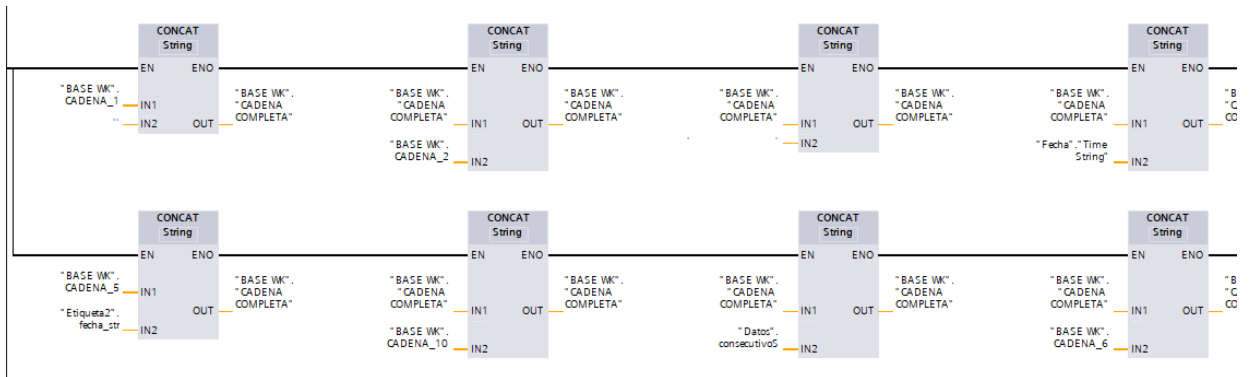


Figura 45.-Bloque de programación de concatenado.

Los comandos son almacenados en un bloque de datos, de esta manera es posible modificar los comandos de posición para la etiqueta y el tamaño de los textos impresos, (Figura 46).

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	CADENA COMPLETA	String	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	CADENA_1	String	'^XA^FO220,20^A0N,20^FDBOS Automotive Products'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	CADENA_2	String	'^FS^FO220,40 ^A0N,20^FDIrapuato S.A. de C.V.'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	CADENA_3	String	'^FS^FO220,60 ^A0N,20^FD'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	CADENA_4	String	'^FS^FO220,80 ^A0N,20^FDPN :'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	CADENA_5	String	'^FS^FO468,20 ^A0N,18^FD20'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	CADENA_6	String	'^FS^FO220,100 ^A0N,25^FD'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	CADENA_10	String	'^FS^FO500,170 ^A0N,25^FD'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	CADENA_7	String	'^FS^FO220,125 ^BY2^BCN,50,Y,N^FD'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	CADENA_8	String	'^FS^XZ'	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 46.-Bloque de datos para comandos de impresión.

Es posible editar esta información desde el HMI en caso de que se presenten modificaciones en los campos que se imprimen en la etiqueta como el número de parte, la descripción o el consecutivo (Figura 47).

Figura 47.-Pantalla HMI de edición de etiqueta.

4.5 NAVEGACION EN HMI.

4.5.1 Autodiagnóstico.

El autodiagnóstico se realiza en dos secciones, la primera sección es cuando se reinicia el equipo completo y se procede a seleccionar el modelo a inspeccionar, posteriormente se ingresa a una pantalla llamada "Boundary". La sección de "Boundary" se presenta antes de acceder a la pantalla de "Proceso", en esta sección se busca validar que la máquina sea capaz de detectar los valores de error, esta sección funciona básicamente igual que el proceso de validación sólo que en lugar de esperar

valores dentro de rango se valida que los valores se encuentren fuera de rango (Figura 48).

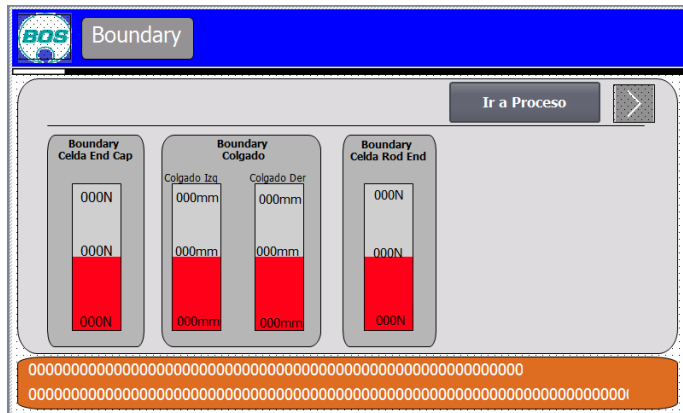


Figura 48.-Pantalla de HMI de validación de "Boundary".

Para validar esta sección se diseñan algunas piezas de producción con fallas intencionales para ser detectadas, estas piezas son debidamente identificadas y numeradas.

Durante el proceso de validación, en la sección de "Proceso" se realiza una revisión de los sensores que intervienen durante la inspección del producto, antes de cada inspección de producto el equipo revisa el estado de cada sensor para evaluar que no se encuentre bloqueado o permanentemente activado y en los sensores analógicos que muestren un valor de cero. Mientras se encuentra validando los sensores se muestra una ventana indicando la entrada física en el PLC y el nombre del sensor, también se muestra un led indicando en gris si se encuentra desactivado o rojo si presenta un estado de error (Figura 49).

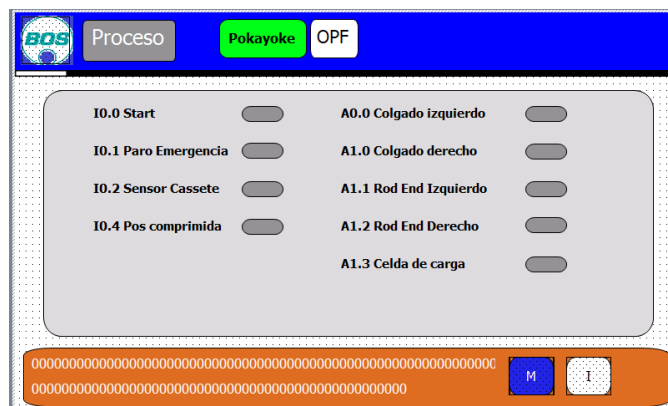


Figura 49.-Pantalla HMI de validación de sensores antes de cada proceso de inspección.

La ventana de validación de sensores se muestra durante dos segundos si todos los sensores se encuentran en su valor inicial correspondiente, si alguno de los sensores no se encuentra en valor inicial, esta ventana permanecerá en pantalla hasta que se verifique la señal indicada en rojo (Figura 50). Para ayudar al operador a identificar visualmente el sensor que presenta el error se tiene un botón de ayuda el cual cambia a una pantalla donde se muestra una imagen de la mesa de inspección y se marca con un círculo rojo el sensor que presenta la falla.

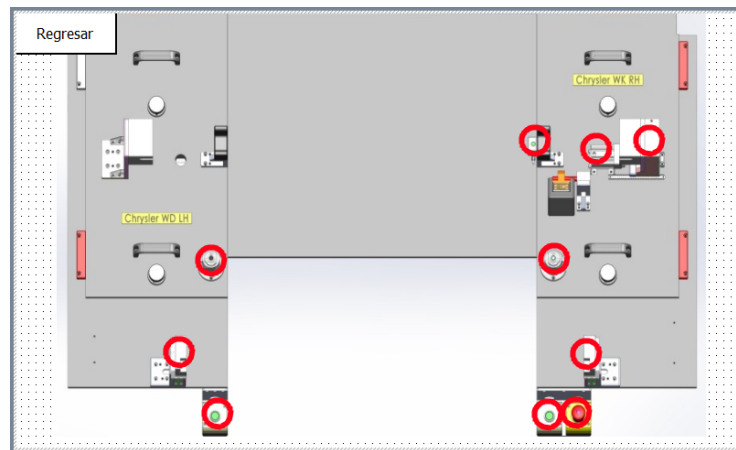


Figura 50.-Pantalla HMI de ayuda de localización de sensores.

Con estas secciones de autodiagnóstico se verifica que el equipo se encuentre en condiciones adecuadas para el proceso de inspección y se previene que el equipo genere o produzca errores durante su operación, y en caso de presentarse alguna anomalía, no permite iniciar el proceso hasta que se solucione el problema identificado para la correcta operación de la máquina.

4.5.2 Niveles de usuario.

Se encuentran programados tres niveles de usuario que pueden acceder a la máquina de inspección final.

- OPERADOR: este nivel puede acceder al equipo para elegir el modelo que se va a inspeccionar, debe ejecutar la sección de "Boundary" y posteriormente utilizar la pantalla de "Proceso" para comenzar su producción. Si durante la inspección de un producto se detecta un error, la pieza se mantiene retenida hasta que una

tarjeta de nivel "Supervisor" libere la máquina y reestablezca los valores para iniciar de nuevo.

- SUPERVISOR: este nivel tiene la capacidad de liberar la máquina en caso de que se haya presentado un error durante la inspección de algún producto, pero no puede iniciar el proceso de inspección.
- MANTENIMIENTO: este nivel tiene la capacidad de acceder al menú de mantenimiento, en el cual es posible dar de alta tarjetas nuevas, modificar parámetros de validación, bloquear sensores, editar los campos de las etiquetas, etc.

4.5.3 Menú de mantenimiento.

El menú de mantenimiento se muestra cuando se accede a la máquina con nivel de "Mantenimiento" (Figura 51). Al presentar la tarjeta de "Mantenimiento" aparece un botón azul con la letra "M" en la parte inferior derecha de la pantalla de "Proceso" y la barra superior de las pantallas cambia su color a azul. Al presionar el botón con la "M" se muestra una pantalla con el menú de mantenimiento, este menú permite modificar valores del proceso, calibrar los sensores analógicos, dar de alta nuevos usuarios y editar las etiquetas que se imprimen. Cuando se selecciona "Reiniciar Equipo" se restablece el acceso y es necesario presentar de nuevo una tarjeta para iniciar el proceso, si se presiona "Iniciar Proceso" se cambia a la pantalla de "Proceso".

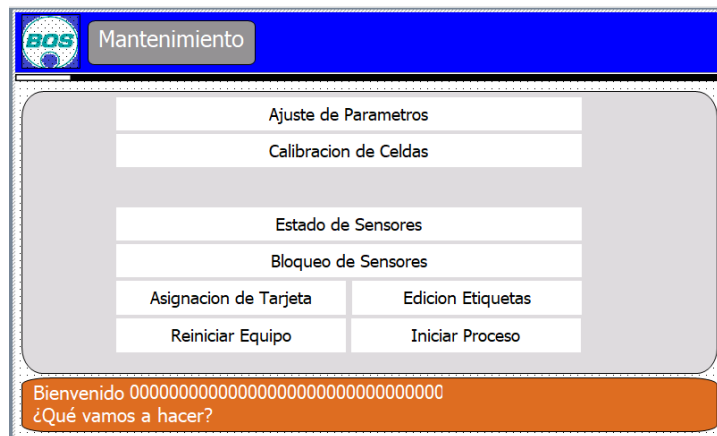


Figura 51.-Pantalla HMI del menú de mantenimiento.

4.5.4 Ajuste de parámetros.

En la pantalla de "Parámetros" se encuentran los valores de rango que pueden ser editados para cada modelo, estos parámetros representan la tolerancia que se tiene sobre el valor esperado para cada una de las magnitudes. Se debe colocar un valor máximo y un valor mínimo, estos valores se reflejan en las barras que se muestran en las pantallas de "Boundary" y en las de "Proceso". Los campos aceptan valores negativos y positivos y se almacenan en la memoria no volátil del PLC (Figura 52).

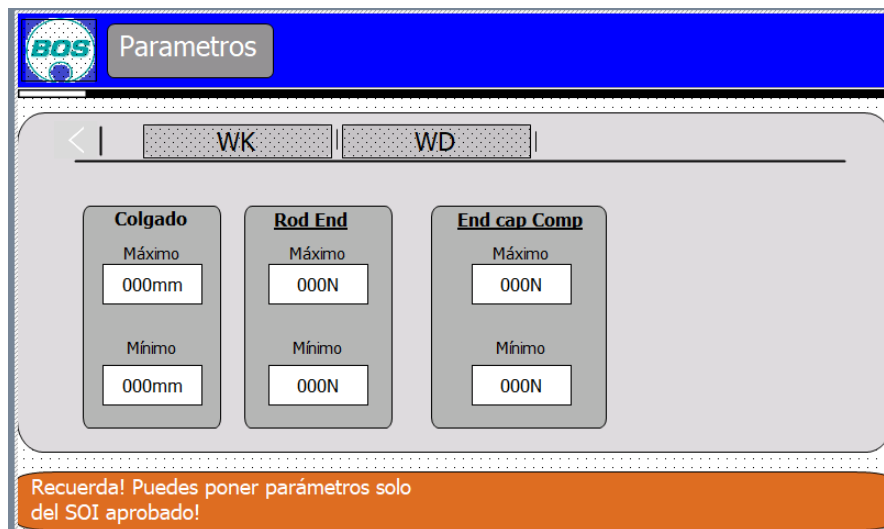


Figura 52.-Pantalla HMI ajuste de parámetros.

4.5.5 Calibración de celdas de carga.

Cada sensor analógico cuenta con un bloque de programación el cual permite normalizar y escalar el valor analógico para obtener un valor numérico representativo de la magnitud a medir. El método que se utiliza es una interpolación lineal en la cual se requieren de 4 valores y su correspondiente valor en la magnitud deseada.

En las pantallas generadas se le llama a este proceso "Calibración" y sigue el siguiente orden:

Primero se selecciona el sensor analógico que se va a calibrar (Figura 53).

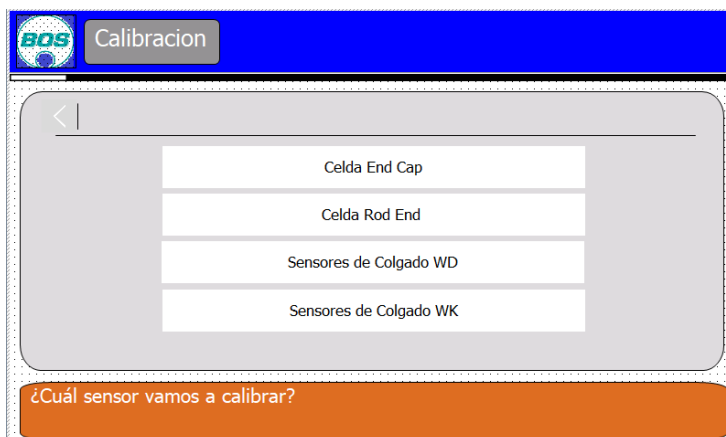


Figura 53.-Pantalla HMI de calibración de sensores analógicos.

Posteriormente se debe seleccionar a qué modelo pertenece la nueva calibración a realizar, debido a que cada modelo puede requerir un cambio físico de placas de modelo y, por lo tanto, un cambio de sensor analógico (Figura 54).

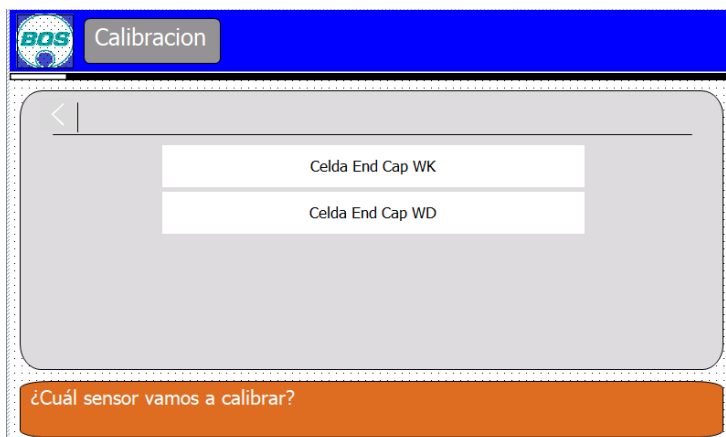


Figura 54.-Pantalla HMI selección de sensor analógico.

En la pantalla de calibración del sensor seleccionado se deben ingresar los datos solicitados, para una interpolación lineal se requiere (x_1, y_1) y (x_2, y_2) .

En este caso los parámetros del área de "Sin Carga" corresponden a (x_1, y_1) y los parámetros del área de "Con Carga" corresponden a (x_2, y_2) . En el área de "Real" se muestra el valor leído analógico y el valor escalado calculado con los parámetros que se ingresaron (Figura 55).

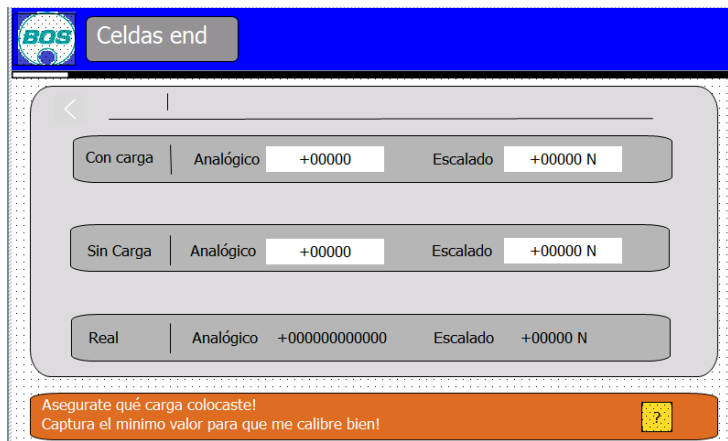


Figura 55.-Pantalla HMI calibración de celda de carga.

Se utilizan los bloques de programación de "NORM_X" y "SCALE_X" de las librerías de programación para realizar esta interpolación lineal. Este esquema de programación se realiza para cada uno de los sensores analógicos en cada uno de los modelos que requieran cambio físico de sensores (Figura 56).

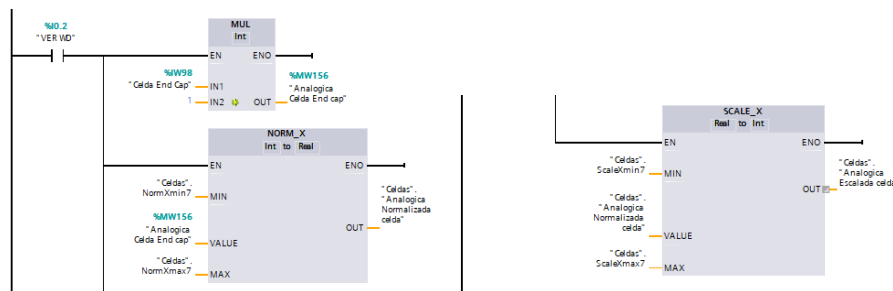


Figura 56.-Bloque de programación de escalamiento.

4.5.6 Estado de sensores.

En la pantalla de "Sensores" se muestran las activaciones manuales y las lecturas de los sensores analógicos, esta pantalla sirve para manipular manualmente los actuadores y observar si la señal de los sensores efectivamente llega al PLC, también permite observar si los valores analógicos han sido correctamente escalados, las activaciones que se realizan en esta pantalla son ignoradas y reestablecidas en el momento en que se abandona esta pantalla y se regresa al menú de "mantenimiento" (Figura 57).

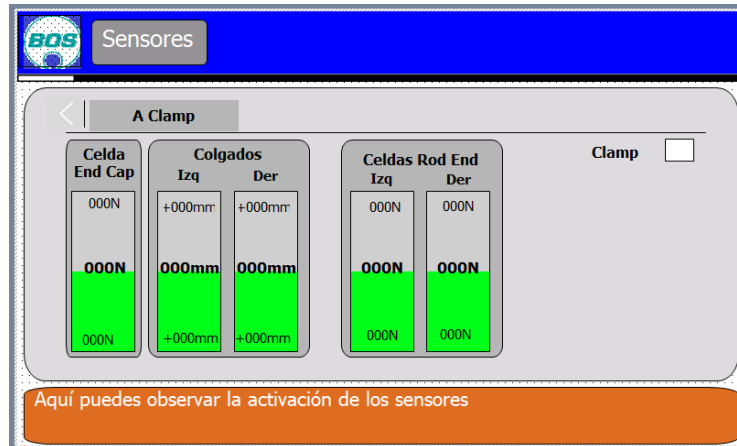


Figura 57.-Pantalla HMI estado de sensores.

4.5.7 Bloqueo de sensores.

Al acceder con una tarjeta con nivel de "mantenimiento" es posible "Bloquear" algunos sensores que presenten problemas, esta lista de sensores es definida por el cliente, al "bloquear" algún sensor, éste es ignorado por el programa permitiendo al equipo trabajar sin considerar su estado, en el caso de ser sensores de actuadores se considera utilizar temporizadores para sustituir la presencia del sensor.

La condición de bloqueo no debe ser utilizada de manera permanente, la intención es permitir realizar pruebas o algún lote de producción supervisado teniendo en cuenta el bloqueo del sensor. Durante el autodiagnóstico el sensor que se encuentre "bloqueado" será ignorado también permitiendo la operación normal (Figura 58).



Figura 58.-Pantalla HMI bloqueo de sensores.

El indicador de "Pokayoke" cambia su color, será verde cuando ningún sensor se encuentre "bloqueado" y rojo en caso de que cualquier sensor haya sido "bloqueado" (Figura 59).

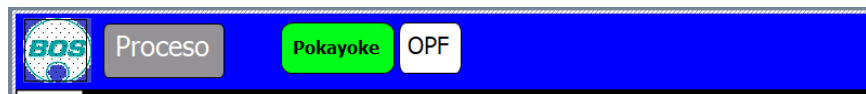


Figura 59.-Pantalla HMI indicador Pokayoke.

4.5.8 Asignación de tarjetas RFID.

En la pantalla de asignación de tarjeta se muestran los campos requerido para dar de alta una nueva tarjeta de usuario, en el campo de "tarjeta" se selecciona el registro en el cual se escribirá la nueva tarjeta, si ese registro ya se encuentra ocupado se muestran los datos en los campos. Para escribir en un registro es necesario presionar "borrar" primero, para "limpiar" el registro de la información que contenga, después presionar editar. Al editar se habilita la lectura del receptor RFID y se muestra en el campo "Código Tarjeta" el número asociado a la tarjeta que se presente en ese momento, los demás campos también pueden ser modificados, al terminar se presiona de nuevo el botón de "Editar" y los datos quedan almacenados (Figura 60).

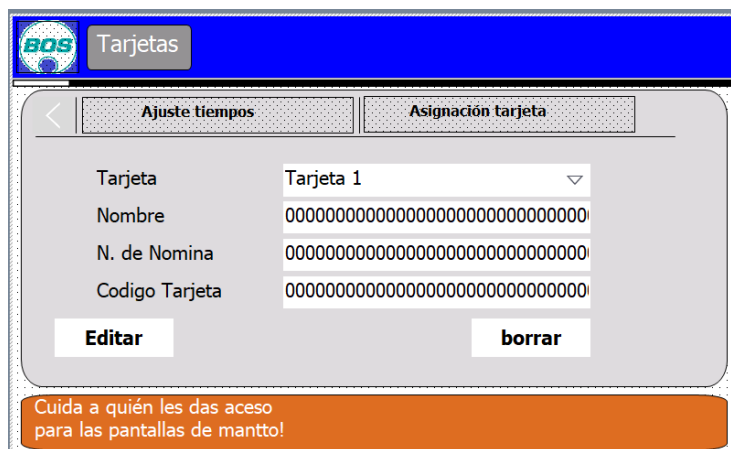


Figura 60.-Pantalla HMI asignación de tarjetas.

4.6. COMPARATIVA DE MEJORAS EN EL PROCESO DE INSPECCIÓN.

Se muestra una tabla comparativa resumiendo las características de mejora que se obtuvieron durante el desarrollo presentado en la automatización del dispositivo de inspección final, en comparación con el equipo inicial.

Tabla 19.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección.

Tabla comparativa	
Estación de inspección final Inicial	Estación de inspección final ESTI
Sistema neumático fijo y en mal estado	Sistema neumático nuevo, con electroválvula de corte de aire para economía, módulos de conexión rápida para cambio de modelos, equipos estandarizados.
Sistema eléctrico en mal estado, sin identificar, sin diagramas, conectores discontinuados.	Sistema eléctrico renovado, diagramas eléctricos, conectores rápidos estandarizados, intercambio rápido de sensores, sistema de corte temporizado.
Cambio de modelo con placas grandes y adecuaciones hechas en sitio, no permite añadir modelos nuevos.	Cambios de modelo rápido, placas intercambiables con localizadores y conectores rápidos, flexibilidad de modificaciones posteriores
Se requiere al programador para calibrar sensores analógicos.	Se cuenta con calibración de sensores analógicos directamente en HMI para cada placa de modelos.

Tabla 20.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).

Tabla comparativa	
Estación de inspección final Inicial	Estación de inspección final ESTI
Se requiere al programador para editar etiquetas.	Se cuenta con edición de etiquetas para cada modelo directamente en HMI.
Cualquier persona podía operar el equipo y acceder a la pantalla de configuración.	Se cuenta con identificación de usuario para acceso a pantallas de configuración u operación.
Al presionar paro de emergencia se liberaban los actuadores y se reestablecían los valores.	Se cuenta con paro de emergencia controlado, permitiendo liberar la presión neumática de los actuadores y solicitando validación de nivel supervisor para reiniciar el equipo.
Se requiere al programador para editar etiquetas.	Se cuenta con edición de etiquetas para cada modelo directamente en HMI.
Impresión libre en impresora por medio de botón manual.	Impresión controlada por programa de PLC.

Tabla 21.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).

Tabla comparativa	
Estación de inspección final Inicial	Estación de inspección final ESTI
Producción por lotes generando acumulaciones entre estaciones y errores propagados entre líneas.	Producción OPF que permite controlar e identificar errores de producto o errores generados en equipo antes de pasarlos a las siguientes estaciones.
Producción de productos sin restricción.	Producción controlada por HU (código de barras interno del productor) y lector de código de barras.
Difícil detección de errores en sensores con fallas.	Ayuda visual de detección de sensores con fallas con ayuda visual de localización dentro del equipo.
Activaciones manuales directamente en las electroválvulas.	Se cuenta con pantalla de activaciones manuales y ayudas visuales de activación de sensores para validación de funcionamiento.
Detección de errores en la maquina después de horas de producción.	Se cuenta con dos etapas de autodiagnóstico para evaluar el equipo al encendido y antes de cada validación de producto.

Tabla 22.- Comparativa de mejoras en el proceso de inspección (Continuación).

Tabla comparativa	
Estación de inspección final Inicial	Estación de inspección final Inicial
No se tiene respaldo del programa.	Se entrega respaldo de programación en físico y por medio electrónico.
No se tiene accesorios para el operador.	Se agregaron accesorios como iluminación local, ventilador, soporte para botella de agua.

CONCLUSIONES

Se cumple con el objetivo de evaluación de los parámetros críticos de calidad indicando si el producto cumple o no cada uno de éstos de manera numérica y gráfica, esto se realiza por medio del proceso de inspección en la cual se miden y se muestran en pantalla todos los valores medidos visualmente con barras de color e identificación numérica permitiendo evaluar de manera rápida y visual si el producto inspeccionado cumple o no con los parámetros de calidad definidos.

Se cumple con el objetivo de incluir el concepto OPF en la filosofía de programación y por medio de conectores externos coordinar dos estaciones de trabajo de ensamble de la cortinilla inspeccionada. Se genera además una secuencia lógica de operación OPF que puede ser utilizada y adaptada para coordinar tres equipos, proporcionando la lógica en redes de Petri y en lenguaje escalera.

Se cumple con el objetivo de incluir el concepto "Estación de Trabajo Inteligente" Jidoka en la programación de la estación de inspección final, al programar secuencias de autodiagnóstico, identificación de usuario, calibración de sensores en pantalla, monitoreo de sensores y actuadores, ayudas visuales, saludos y mensajes al operador con lenguaje amigable, modificaciones de parámetros y de etiquetas sin requerir reprogramar y con cambios rápidos accesibles al presionar un botón del HMI y cambiando placas de versión identificables por medio de señal eléctrica. Se anexa una tabla comparativa enlistando el contraste de mejoras en la estación de inspección final en comparación con el equipo que se tenía originalmente.

APORTACION DE LA TESIS.

El desarrollo aquí planteado propone un método de implementación de la filosofía "Lean Manufacturing" incorporando de manera técnica los conceptos de mejora en la programación y automatización de un equipo de inspección, aunque en este caso particular se aplica a la inspección de una cortinilla automotriz, la aplicación de los conceptos es adaptable a cualquier producto que requiera de un sistema de inspección de parámetros de calidad. El modelado del proceso de OPF aporta una forma de implementar este tipo de flujo de trabajo con 3 estaciones por medio de conectores eléctricos, sin importar el tipo de proceso que las estaciones lleven a cabo, esto permite su implementación de manera sencilla sin que se requiera de un PLC de alto nivel o de un protocolo de comunicación especial y es de particular utilidad en las empresas que buscan probar este flujo de trabajo de manera local en las celdas de producción que no están interconectadas por "conveyors" y que, como se plantea en la introducción son desarrollados por diferentes integradores .

RECOMENDACIONES

Se recomienda para continuación del trabajo presentado desarrollar información estadística del tiempo efectivo de producción e identificar las principales razones de los paros en el equipo ya que esta información complementara de manera significativa los datos de producción ya calculados para el monitoreo de líneas.

Con la parte de la red de Petri para OPF el siguiente paso sería programar la misma secuencia de coordinación a través de una red ethernet o profinet para incluir equipos de mayor requerimiento o equipos con procesos más complejos de coordinación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Sistemas De Centros Públicos De Investigación Conacyt [En línea] [consulta: 12 noviembre 2018]. Disponible en: "<https://centrosconacyt.mx/?objeto=robotica>".

[2] GRASA L., EROSSA V. Los retos tecnológicos de la pequeña y mediana empresa en México. México: Centro de estudios mexicanos y centroamericanos. 1995.

[3] RAJADELL M., SANCHEZ J. Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. España. Editorial Diaz de santos, 2010.

[4] CLEXTRAL [En línea] [consulta: 15 noviembre 2018] Disponible en: "<https://www.clextral.com/es/tecnologias-lineas/tecnologias-y-procesos/automatizacion/>".

[5] Gestión Empresarial BI [En línea] [consulta: 15 noviembre 2018] Disponible en: "<https://empresaygestionbi.weebly.com/51-meacutetodos-de-produccioacuten.html>".

[6] PINEDA M., MMS México [En línea] [consulta: 12 noviembre 2018]. Disponible en: "<https://www.mms-mexico.com/art%C3%ADculos/la-industria-automotriz-mexicana-y-sus-desaf%C3%ADos-para-2017>".

[7] MAYORGA P. Fundamentos de las Redes de Petri, CIMAT [En línea] [Consulta 18 noviembre 2018] Disponible en "http://personal.cimat.mx:8181/~mayorga/cursos/docs/POO_U13.pdf".

[8] NUABER W. Design and Analysis with Petri Nets. Technische Universität Dresden, Notas: Sumer Semester 2012.

[9] GRANDA M. Redes de Petri: Definición, Formalización y Ejecución. Universidad de Cantabria Curso 2013. UC.

[10] BARRAZA F. Diseño de Automatismos Métodos y Aplicaciones. México, Registro público del derecho de autor. Registro: 03-2004-02310264000-01. 2004.

[11] PEIRON M., SÁNCHEZ F. Los circuitos lógicos combinacionales. España: Universitat Oberta de Catalunya. PID_00163599. 2002 UOC/Digitalia 2009 ASIN: B00260GLGY.

[12] BRYAN L., BRYAN E. Programmable Controllers: Theory and Implementation. EUA. 2da Edición. Industrial Text Company. 1997.