



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

**Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una
Máquina de Fabricación Flexible**

AUTOR:

Córdova Fernández, Gerardo Emilio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Vega Ureta, Nino Tello

Guayaquil, Ecuador

14 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Córdova Fernández, Gerardo Emilio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

M. Sc. Vega Ureta, Nino Tello

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Córdova Fernández, Gerardo Emilio**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una Máquina de Fabricación Flexible**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

CORDOVA FERNANDEZ, GERARDO EMILIO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Córdova Fernández, Gerardo Emilio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una Máquina de Fabricación Flexible**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

CORDOVA FERNANDEZ, GERARDO EMILIO

REPORTE DE URKUND

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TÍTULO: “Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una Máquina de Fabricación Flexible”.

AUTOR: CORDOVA FERNANDEZ GERARDO EMILIO

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a metadata panel shows: Documento: Tesis FINAL - Gerardo Cordova.docx (D78733143); Presentado: 2020-09-07 12:05 (-04:00); Presentado por: Gerardo-Cordova@hotmail.com; Recibido: edwin.palacios.ucsg@analysis.urkund.com; Mensaje: Tesis Final 9.07.2020. A green box indicates 0% similarity. On the right, a 'Lista de fuentes' (Sources List) shows several entries with checkboxes, including 'TESIS.docx', 'TRABAJO DE TITULACIÓN FELIX TUMBACO.docx', and various PDF links. The bottom toolbar includes icons for navigation and actions like 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **CORDOVA FERNANDEZ GERARDO EMILIO**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.


Ing. Nino Vega Ureta,
Mgs DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis primero a Dios quien me ha guiado a lo largo del trayecto en la vida y me ha brindado su apoyo a diario, me ha brindado sabiduría para tomar buenas decisiones en la vida y en los malos momentos los cuales me han formado como persona

A mis padres quienes me apoyaron a diario y me llenaron de amor y principios los cuales me sirven de apoyo y sustento en la vida en los momentos más difíciles.

A mis amistades y seres queridos que me ayudaron a salir adelante en la vida y en este proyecto motivándome a construir un mundo mejor.

Al ING. Nino Vega por guiarme en este proyecto de tesis y ser uno de los mejores docentes de la UCSG quien me brindo sus conocimientos y experiencias en la vida de la automatización a quien agradezco y respeto con sinceridad.

Gerardo Córdova

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme fortaleza, sabiduría, valores y principios los cuales me forjan como persona en la vida diaria y por darme la oportunidad de vivir cada día, por cuidar de mi en los momentos más difíciles y enseñarme a tomar buenas decisiones.

Agradezco a mis padres quienes me criaron con amor y me dieron un apoyo incondicional y me llenaron con sus valores y enseñanzas para convertirme en un hombre de bien.

Agradezco a mis profesores de la UCSG quienes me formaron en conocimiento y me enseñaron con sus experiencias de la vida diaria.

Gerardo Cordova



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

M. Sc. CORDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

Índice General

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	4
1.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.2. Justificación.....	5
1.3. Delimitación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. Metodología de Investigación.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Estado de Arte.....	8
2.2. Diagrama de Estados.....	11
2.2.1. Método Máquina de Moore.....	12
2.2.2. Método Máquina de Mealy.....	13
2.3. Sensores.....	13
2.3.1. Definición de Sensor.....	13
2.3.2. Definición de Final de Carrera.....	14
2.3.3. Definición de Sensor de Presión.....	14
2.4. Sistemas de Fabricación Flexible.....	15
2.4.1. Campo de Acción del sistema FMS.....	16
2.4.2. Ventajas y Desventajas de los FMS.....	16
2.4.2.1 Ventajas de los FMS.....	16
2.4.2.2 Desventajas de los FMS.....	16
2.4.3. Flexibilidad de un Sistema FMS.....	17
2.5. Introducción a las RdP (Redes de Petri).....	17
2.5.1 Componentes de las RdP.....	18
2.5.2 Reglas de elaboración de las Redes de Petri.....	19
2.5.3 Condiciones para la elaboración de las RdP.....	19
2.6 Motores.....	20

2.6.1	Definición de Motores.....	20
2.6.2	Partes del Motor.....	20
2.6.3	Clasificación de los Motores	21
2.6.4	Motores de un Sistema FMS (Segunda Etapa).....	22
2.7	La ingeniería en control y los sistemas de control industrial.....	24
2.8	La industria a nivel empresarial y el control	24
CAPÍTULO III: Análisis de la segunda etapa de la máquina de fabricación flexible		25
3.1.	Consideraciones principales del Sistema de fabricación flexible	25
3.1.1	Definición del Sistema.....	25
3.1.2	Propiedades del Sistema.....	27
3.1.3	Funciones del Sistema.....	27
3.2.	Selección del proceso industrial	28
3.3.	Diseño del Diagrama de Estados del Sistema.....	30
3.4.	Variables de Control del Sistema de Fabricación Flexible.....	34
3.3.1	Diseño del Diagrama de control	36
3.3.2	Diseño del Diagrama de Fuerza.....	37
3.5.	Diseño del diagrama del PLC (Variables)	38
3.4.1	Variables del PLC	38
3.4.2	Modelado del Funcionamiento del PLC	39
3.6.	Diseño de la RdP del Sistema.....	39
3.5.1	Diseño de la RdP del Sistema de Fabricación Flexible.....	40
3.5.2	Invariantes de las RdP.....	41
3.5.2.1	Invariantes de Transición de la RdP.....	41
3.5.2.2	Invariantes de Lugares de la RdP.....	42
3.7.	Pruebas de Simulación	43
3.6.1	Simulación del Diagrama de Control.....	43
3.6.2	Simulación del Diagrama de Fuerza.....	47
3.6.3	Simulación del Programa del PLC.....	49
3.6.4	Simulación De la Red de Petri General.....	53
CAPÍTULO IV: EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....		55

4.1	Presentación de Resultados	55
4.1.1	Resultados obtenidos del Estado de Arte	55
4.1.2	Resultados brindados por los softwares.....	56
4.1.3	Resultados obtenidos en las Simulaciones	56
4.2	Análisis de Resultados	57
4.2.1	Estudio de las propiedades y funciones del sistema.....	57
4.2.2	Alcance de los Objetivos	58
4.2.2.1	Análisis del Objetivo General	58
4.2.2.2	Objetivos Específicos.....	59
4.2.3	Análisis de la Metodología.....	59
4.2.4	Análisis de la Solución del Problema de Investigación	59
4.2.5	Análisis final del sistema	60
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones.....	62
Bibliografía		63

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Ejemplo de un diagrama de estados de un sistema automático	12
Figura 2. 2: Ejemplo del Sumador de Binario de Moore	12
Figura 2. 3: Ejemplo del Sumador de Binario de Mealy	13
Figura 2. 4: Sensor Ultrasónico HC-SR04	14
Figura 2. 5: Ejemplo de un Final de Carrera	14
Figura 2. 6: Clasificación del Sensor de Presión	15
Figura 2. 7: Célula de Fabricación Flexible	15
Figura 2. 8: Campo de Acción del Sistema FMS	16
Figura 2. 9: Flexibilidad de un FMS	17
Figura 2. 10: Creador de las RdP	18
Figura 2. 11: Componentes de la RdP	18
Figura 2. 13: Partes de un Motor	20
Figura 2. 14: Partes de un Motor	21
Figura 2. 15: Trabajo del Motor M1 en M1D y M1A	22
Figura 2. 16: Trabajo del Motor M2 en M2D y M2I	23
Figura 2. 17: Trabajo del Motor M3 en M3B y M3A	23

Capítulo 3

Figura 3. 1 : Descripción del Sistema General	26
Figura 3. 2: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 1	29
Figura 3. 3: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 2	29
Figura 3. 4: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 3	30
Figura 3. 5 : Primera Parte del Diagrama de Estados del FMS	32
Figura 3. 6 : Diseño de diagrama de estados Segunda Parte	34
Figura 3. 7 : Diagrama de Control General	37
Figura 3. 8 : Diagrama de Fuerza	38
Figura 3. 9 : Red de Petri General	40
Figura 3. 10 : Primera Etapa del Diagrama de Control	44
Figura 3. 11 : Segunda Etapa del Diagrama de Control	44
Figura 3. 12 : Tercera Etapa del Diagrama de Control	45
Figura 3. 13 : Cuarta Etapa del Diagrama de Control	45
Figura 3. 14 : Quinta Etapa del Diagrama de Control	46
Figura 3. 15 : Sexta Etapa del Diagrama de Control	46
Figura 3. 16 : Séptima Etapa del Diagrama de Control	47
Figura 3. 17 : Inversión de Giro del motor hacia la derecha	48
Figura 3. 18 : Inversión de Giro del motor hacia la izquierda	49
Figura 3. 19 : Activación y desactivación del Contactor M1D en el PLC	50
Figura 3. 20 : Activación y desactivación del Contactor M1A en el PLC	50
Figura 3. 21: Encendido y Apagado del Contactor M2D	51
Figura 3. 22: Encendido y Apagado del Contactor M2I	51
Figura 3. 23: Encendido y Apagado del Contactor M3B	52
Figura 3. 24: Acción del Temporizador y contactor M3A	52
Figura 3. 25 : Estado Final	53

Figura 3. 26 : Simulación PIPE54

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1 Tabla de Control de la etapa de Fabricación Flexible (Autor)	35
Tabla 3. 2 Tabla del PLC (Autor)	39
Tabla 3. 3 Tabla de las Invariantes de Transición del Sistema (Autor)	41
Tabla 3. 4 Tabla de las Invariantes de Lugar del Sistema (Autor)	42

RESUMEN

El uso de técnicas de automatización en sistemas de fabricación flexible para procesos industriales, son de diferentes tipos, permiten obtener una descripción del sistema más detallada en el cual se identifican las variables del proceso a manejar por el usuario. El actual trabajo de tesis sugiere la elaboración de las Redes de Petri mediante una serie de pasos para el control del segundo estado de un sistema de fabricación flexible donde las actividades principales son recoger las piezas y taladrarlas. En este proceso actúan tres motores, sensores de presión, sensores finales de carrera, sensores de posición, temporizadores los cuales permiten el movimiento de la pieza a trabajar y su perforación adecuada. Por lo que se investiga simuladores que permitan verificar el proceso y describirlo de una manera practica debido a que atraviesa diferentes etapas previamente a la construcción de la RdP general, donde se podrá ver el funcionamiento del proceso en su parte de control y fuerza a través de un diagrama de estados en donde se establecen las variables que posee el sistema, mediante los cuales se va a poder confirmar que el proceso cumple sus etapas. Este trabajo de investigación tiene como resultados la descripción y análisis de la segunda etapa de una célula de manufactura flexible en la cual se detallan las etapas previas en la elaboración de la Red de Petri general del sistema con el fin de simularla y verificar su correcto funcionamiento.

Palabras Claves: FABRICACION FLEXIBLE, DIAGRAMA DE ESTADOS, REDES DE PETRI, DIAGRAMA DE CONTROL, DIAGRAMA DE FUERZAS.

ABSTRACT

In flexible manufacturing systems processes of the industry there are different types of automation techniques, but no one's follows an order that allows a process to be verified prior to the elaboration of the Petri net. This method allows obtaining a more detailed description of the system in which the process variables that the user wishes to use are identified. This research work proposes the elaboration of the Petri nets through a series of steps for the control of the second state of a flexible manufacturing system where the main activities are to collect the pieces and drill them. In this process, three motors, pressure sensors, limit switches, position sensors, and timers act, which allow the movement of the workpiece and its proper drilling. Therefore, different simulators are investigated that allow to verify the process and describe it in a practical way because it goes through different stages prior to the construction of the general RdP, where the operation of the process in its part of control and force can be seen through a state diagram where the variables that the system has are established, with which the architecture and modeling previously proposed can be simulated. The results of this research work are the description and analysis of the second stage of a flexible manufacturing cell in which the previous stages in the elaboration of the general Petri net of the system are detailed in order to simulate it and verify its correct operation.

Keywords: FLEXIBLE MANUFACTURING, STATE DIAGRAM, PETRI NETWORKS, CONTROL DIAGRAM, FORCES DIAGRAM.

INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica ha incrementado en el paso del tiempo con lo que se permite la automatización de las industrias lo que brinda mayor comodidad a los usuarios a momento de realizar algún trabajo con las siguientes ventajas: mayor eficiencia, reducir tiempo de elaboración, costos, entre otros factores. Para poder aprovechar estas ventajas de la automatización se tiene ciertas herramientas que permiten entender el funcionamiento de estas técnicas como por ejemplo los diagramas de estado, los que permiten entender el comportamiento de un proceso, es decir: a donde va dirigido, que acciones tomar, las etapas que tiene la maquinaria para elaborar el producto, los tiempos necesarios para el correcto funcionamiento y el método que utiliza para la elaboración del producto final.

Los diagramas de estados son útiles para diseñar el sistema de automatización de cualquier tipo de maquinaria industrial, los dispositivos que van a intervenir, en qué momento y que estados se generan a partir de la activación y desactivación de cada uno. Para comprobar si el diseño del diagrama de estados este correcto, se utilizan técnicas de simulación e implementación.

Debido a la crisis sanitaria producto de la pandemia por el virus (COVID-19), Las restricciones, el confinamiento han provocado que las actividades, productivas, comerciales y educativas se vean obligadas a que la población se reinvente y tenga diversas formas de llevar a cabo sus actividades. Ante estas limitaciones demostrar la implementación real de un proceso de automatización no es posible físicamente. Por lo que se recurrió a las técnicas de simulación como son las Redes de Petri que demuestran en tiempo real si el sistema está bien diseñado, si los estados no generan conflicto, si la marca inicial es solo una durante todo el proceso ya que está viene a representar la variable que el sistema controla en ese momento, es decir si no se generan estados erróneos dentro de la red. Todas estas ventajas que poseen las RdP se las utiliza para comprobar que el diagrama de estados de la Maquinaria de Fabricación Flexible trabaja adecuadamente conforme a los requisitos del sistema.

Los resultados de simulación se realizaron a través del software Visual Object Net y Pipe donde se comprueba si el modelado estuvo bien realizado, mediante la simulación de la Red de Petri general del sistema, es decir si la red se elaboró de manera correcta y no existe algún error dentro del proceso que en la práctica puede afectar el sistema en caso de no funcionar correctamente.

Este trabajo de investigación parte de un análisis del estado del arte sobre las redes de Petri que se encuentra en el capítulo II, definiciones de diagrama de estado, sensores implementados en el sistema de automatización, simuladores de control y de redes de Petri con sus respectivas propiedades. En el capítulo III se encuentra la descripción del diagrama de estados de la segunda etapa de una máquina de fabricación flexible, los diagramas de control y fuerza del sistema, la implementación de este en el PLC, el análisis de las redes de Petri dentro de este sistema. En El capítulo IV se encuentra los resultados obtenidos del capítulo III. En el capítulo V se encuentra las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento del Problema

Existen pocos desarrollos de una máquina de fabricación flexible en donde se muestre con detalle el comportamiento de este sistema industrial. Por lo cual se busca implementar una estrategia en la que se describa cada una de las etapas básicas en las que se usen herramientas virtuales en donde se describa todas las etapas involucradas en un proceso de automatización y que permita a los alumnos prepararse de manera remota, en este trabajo de investigación se utilizarán las redes de Petri como herramienta de diseño del proceso seleccionado, para el fácil aprendizaje de los estudiantes. Para los estudiantes existen escasos documentos del desarrollo completo de un proceso de automatización y existen pocos libros que permitan a los alumnos aprender todo el proceso por lo tanto es importante desarrollar un sistema que sea de fácil aprendizaje para el alumno donde pueda entender de mejor manera un proceso de automatización industrial.

Entre los meses de febrero hasta la presente fecha agosto de 2020 los estudiantes de las diferentes unidades educativas como las escuelas, colegios, universidades se han visto obligados a no asistir a los laboratorios para realizar prácticas debido a la presencia de un virus que está afectando toda la humanidad (COVID-19) donde se está limitado a acceder a las clases presenciales por lo cual no es posible la utilización de los elementos prácticos de los laboratorios lo que dificulta el aprendizaje a los estudiantes ya que no pueden trabajar con las maquinarias para implementar un proceso de automatización, por ende en este proyecto de tesis busca trabajar en una maquinaria de fabricación flexible utilizando herramientas de diseño como lo diagramas de estado y herramientas de simulación como las redes de Petri para permitir al estudiante entender una parte de la automatización de una manera virtual, asegurando su aprendizaje como si estuviesen trabajando de forma presencial.

Basándose en lo anterior redactado se propone la siguiente incógnita de investigación:

“¿Cómo influye el uso de métodos de diseño y simulación en la certeza del funcionamiento de la segunda etapa del sistema de manufactura flexible?”.

1.2. Justificación

En el año 2020 el mundo ha sido afectado por la presencia del (COVID-19) por lo que actualmente se requieren de herramientas para continuar con la enseñanza a los estudiantes por ende se utilizan las redes de Petri para el desarrollo de un proceso de automatización industrial de una máquina de fabricación flexible donde los estudiantes podrán aprender acerca de las etapas de este sistema desde casa mediante el uso de simuladores.

En la actualidad existe poca información de manera detallada acerca de un proceso de automatización industrial por ende se busca facilitar la enseñanza mediante el uso de técnicas de simulación en tiempo real como son las redes de Petri. Existe una mayor dificultad para el estudiante a momento de aprender automatización industrial por ende se buscará desarrollar un proceso industrial de una máquina de fabricación flexible, el cual va a ser detallado paso a paso, conforme a cada una de sus etapas.

Existe una mayor dificultad para el estudiante a momento de aprender la automatización industrial por ende se buscará desarrollar el entendimiento de un proceso industrial de máquina de fabricación flexible utilizando las redes de Petri. Se investigará los distintos simuladores y procesos de las redes de Petri para llevar a cabo la automatización industrial del proceso de fabricación flexible utilizando estas metodologías dinámicas donde el estudiante puede aprender con mayor facilidad utilizando las redes de Petri junto con simulación para el desarrollo de la máquina de fabricación flexible.

1.3. Delimitación

Los resultados del estudio se orientan a obtener una simulación de un sistema de Fabricación, el cual será modelado utilizando herramientas tales como Diagrama de Estados y Redes de Petri. Este sistema será simulado para describir su conducta y el rendimiento en términos de métricas, que luego permitirán realizar comparativas con trabajos de otros investigadores.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el proceso de un proceso de automatización industrial basado en un video de una máquina de fabricación flexible, en el que se aplique redes de Petri, y que permita mostrar toda la didáctica involucrada en esta tarea para estudiantes de automática.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el estado de arte sobre la aplicación de las redes de Petri en el funcionamiento de un proceso de célula de fabricación flexible
- Elaborar un diagrama de estados que permita conocer el funcionamiento de una etapa que compone al sistema de Fabricación Flexible.
- Describir mediante simuladores el proceso de automatización de la segunda etapa de un sistema de fabricación flexible.
- Interpretar el proceso de automatización mediante las ecuaciones que otorgan las redes de Petri.
- Verificar el proceso de automatización mediante el diagrama de estado y los simuladores Festo, CADe_SIMU, Tia Portal .

1.5. Metodología de Investigación.

El estudio de los sistemas de Fabricación Flexible contiene diversas etapas por lo que es necesario ejemplificar mediante el diseño de un diagrama de estados para saber en qué momento va a intervenir cada dispositivo y a que estado va a dar paso la activación o desactivación de este. Por otro lado, para comprobar si todo es correcto es necesario utilizar un sistema de simulación como son las RdP, por lo que esto lleva a que esta investigación es de carácter descriptivo tiene un enfoque cuantitativo que se expresa en la obtención de los datos de las invariantes de las redes de Petri que se obtuvieron mediante la simulación en el programa pipe para obtener los valores respectivos, en el cual pudimos visualizar el funcionamiento de una

etapa de la célula de fabricación flexible que se utiliza en la maquinaria industrial.

Por otra parte, se va a usar como referencia información de artículos científicos y libros que se encuentran en repositorios de alto impacto. La primera parte se basa en todo lo recopilado de las referencias bibliográficas. La segunda parte se obtuvo en el diseño del diagrama de estados del sistema y realizada las simulaciones respectivas para verificar el proceso de la segunda etapa de fabricación flexible con el uso del diagrama de control, fuerza y PLC previamente a la construcción de la simulación de la RdP.

En base a lo anteriormente descrito, se muestran los pasos necesarios para llevar a cabo este proyecto de tesis:

- 1- Caracterizar desde lo teórico, histórico y contextual sobre los sistemas de Fabricación Flexible.
- 2- Describir las ventajas de tener un sistema de automatización diseñado en base a diagramas de estados, control, fuerza y simularlo con Redes de Petri.
- 3- Proponer método diferente para describir y detallar el funcionamiento de la segunda etapa de un sistema de Fabricación Flexible.
- 4- Realizar una descripción teórico-simulada de la forma de cómo trabaja la segunda etapa de un sistema de Fabricación Flexible.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Estado de Arte

En esta sección se presentan los últimos avances científicos en cuanto a Redes de Petri en diferentes aplicaciones desarrollados por distintos autores en los años más recientes, los cuales ofrecen una base científica en el trabajo presentado.

Las redes de Petri son una representación gráfica y matemática de un sistema industrial, estas redes se componen de lugares, plazas, transiciones y tokens los que permiten entender el funcionamiento de un proceso automatizado. Según (Mata, Guelvis; Méndez, Arnaldo; Cardillo, Juan; Chacón, Edgar) establece ciertas caracterizaciones para el análisis de una clase de SED. Los resultados más resaltantes indican que bajo ciertas condiciones, la relación entre la ausencia de conflicto y la independencia de la ocurrencia de eventos establecen desde un punto de vista teórico algunas caracterizaciones bajo estructuras de libre decisión, de libre escogencia, seguras y no bloqueadas. (Mata et al., 2016)

Los diagramas de estados permiten comprender el flujo de un proceso industrial y como se va a comportar cada estado Según (Aritra Bandyopadhyay: Sudipto Ghosh) presenta un artículo en el que combina la información de modelos de secuencia del lenguaje modificado unificado y modelos del estado de la máquina. Usa los modelos en secuencia para extraer mensajes que juegan un rol crítico en escenarios usados de un sistema y los estados de máquina para generar una ejecución múltiple de caminos de escenarios de un sistema. Para cubrir estos pasos ejecutados, se genera más casos probados que el acercamiento que solo cubre caminos de mensajes. La aproximación también reduce el número de estados de transición para ser probados al seleccionar solo aquellos que son no validos en escenarios críticos.(Bandyopadhyay & Ghosh, 2008)

Según (Reggie Davidrajuh) presenta un nuevo enfoque basado en redes de Petri para modelar sistemas de eventos discretos en el que las actividades compiten por recursos comunes. Este nuevo enfoque se conoce como Red de Petri orientada a la actividad (AOPN). AOPN permite que los modeladores se

concentren en el diseño, y no en los recursos debido a que esos quedan para que sean administrados por el sistema; este enfoque permite modelos compactos y mucho más simples incluso para sistemas grandes y complejos que involucran muchos recursos. El Simulador de Red de Petri general (GPenSIM) es una caja de herramientas que realizan el enfoque de AOPN en la plataforma MATLAB. En este artículo, presentan un ejemplo de aplicación para demostrar cuán eficientemente es el modelado y simulación de un problema de programación de recursos con el enfoque AOPN. (Davidrajuh, 2013)

En el siguiente trabajo de investigación (Wenjing Li ; Wen Yang ; Weizhi Liao ; Shuang Li) proponen varios métodos para transformar los sistemas de Redes de Petri superiores, como el color y el predicado / transición, etc. en las redes de lugar / transición, para simularlos y ejecutarlos al mismo tiempo, con el fin de resolver los problemas de paralelización y ejecución de simulación de sistemas complejos de redes de Petri. De acuerdo con las características y las relaciones internas de las redes de Petri de color y predicado / transición, junto con los sistemas de redes P / T, se estudia el modelo estructural y el modelo algebraico, y se verifica la validez de los métodos de transformación mediante el estudio de casos de programación. Los resultados experimentales muestran que los métodos propuestos son viables y eficaces. (Li et al., 2012)

Según (Wenjing Li ; Zhong-Ming Lin ; Ying Pan ; Ze-Yu Tang) el algoritmo paralelo de la red de Petri basado en clústeres de múltiples núcleos es necesario para hacer que las RdP con función síncrona concurrente realice el control y la ejecución en paralelo. Funciona de la siguiente manera: primero, selecciona diferentes estructuras y realiza la transformación, luego proporciona el método de partición de las subredes del sistema general basado en invariantes de lugar. A continuación, se plantea el algoritmo paralelo basado en clusters multi-core según el modelo de programación paralela de tres niveles MPI + OpenMP + STM (STM, Software Transactional Memory y Transactional Memory) y combinándolo con el análisis paralelizado de los cambios de subredes internas y entre las subredes. Los resultados de las pruebas experimentales muestran que el algoritmo puede reflejar mejor el proceso de ejecución real del sistema, y es un método factible y eficaz para

realizar el control paralelo en la ejecución del sistema de Redes de Petri. (Li et al., 2015)

En el siguiente trabajo de investigación ([Tatiana R. Shmeleva](#)) se indica los principales parámetros y comportamiento de los sistemas complejos, como las redes de telecomunicaciones, comunicaciones en general y computación, por lo que propone dos vías básicas. La primera es una expresión paramétrica y la segunda es una Red de Petri coloreada, ambos representan una especificación finita de un número infinito de instancias en las RdP. Se construyó un modelo de dispositivo de comunicación para cuadrículas de dimensión "D" para ambas formas. También se muestra el modelo CPN de una cuadrícula bidimensional. Los modelos de las RdP de rejillas rectangulares se utilizan para una rejilla abierta auxiliar y para una rejilla con bordes conectados. Los resultados que arrojan estos métodos demuestran que son eficientes y viables en la implementación de dichas redes ya mencionadas. (Shmeleva, 2018).

Según (Reggie Davidrajuh ; Chunming Rong) encontrar los elementos fundamentales es un tema importante en los grandes modelos de Redes de Petri de sistemas de eventos discretos de la vida real. Si se utiliza los elementos pivotantes, una Red de Petri grande se puede diseccionar en módulos compactos, donde cada módulo encierra uno o más de los elementos pivotantes. Una vez que una red de Petri grande se modulariza, aporta todos los beneficios asociados a la construcción de modulares, por ejemplo, la verificación automática de modelos. Sin embargo, encontrar los elementos fundamentales para modelar una red de Petri grande no es algo sencillo, especialmente si se trata de un modelo heredado (los componentes internos del modelo son difíciles de entender). Este trabajo de investigación presenta un enfoque novedoso para detectar automáticamente dichos elementos con la aplicación de un algoritmo de agrupamiento. La introducción del parámetro "fuerza de auto bucle", permite conocer el número de módulos que se establece al comienzo de las iteraciones y si las iteraciones convergen, el modelo de la red de Petri se disecciona claramente en módulos, y cada uno de estos módulos muestra los elementos internos entre los que se encuentran los fundamentales.

La detección de elementos pivotantes es la primera fase del proceso de modularización de una gran red de Petri y luego se realiza una verificación automática del modelo de la Red de Petri. Sin embargo, este artículo se centra únicamente en la detección de elementos fundamentales para la modularización; la extracción automática de los módulos y luego realizar la verificación del modelo. (Davidrajuh & Rong, 2019)

2.2. Diagrama de Estados

En esta sección se describe acerca de los diagramas de estado, su historia, la concepción entre métodos, y para que se los utiliza.

El desarrollo de las diferentes tecnologías a lo largo de la primera mitad del siglo XX dio lugar a una elevación de la complejidad de los sistemas e hizo que fuesen muchas las variables físicas que tienen que ser vigiladas y controladas. Dentro de la automatización es muy importante comprender el flujo de un proceso y por ese motivo se utilizan los diagramas de estados donde la persona puede comprender de una manera gráfica el comportamiento de un proceso de automatización. Un diagrama de estado permite conocer como está trabajando el proceso y sus respectivos estados. En la Figura 2.1 podemos apreciar un ejemplo de un pequeño proceso de automatización (Pérez et al., 2009).

En el momento en el que empieza a trabajar un proceso se enciende mediante la botonera Marcha y va acompañado del Paro por si llega a ser necesario detener el proceso por alguna emergencia, este diagrama permite ver el encendido/apagado (ON/OFF) de las maquinarias, los sensores que se usan ,los tiempos en los cambios del proceso el cual será asignado algún contador o temporizador según sea el caso para el permitir el cambio al siguiente estado esto se representa mediante una flecha indicando el sentido del proceso , así es posible interpretar un proceso de automatización mediante un diagrama donde entenderemos como funciona nuestra maquina y su proceso automatizado. (Pérez et al., 2009)

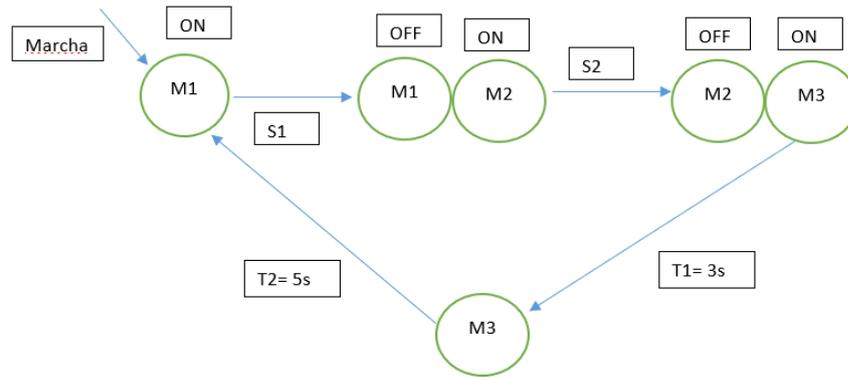


Figura 2. 1: Ejemplo de un diagrama de estados de un sistema automático
Fuente: Autor

2.2.1. Método Máquina de Moore

La máquina de Moore se utiliza siempre y cuando las salidas del sistema dependan de un único estado, por esto en el diagrama de estados de este método se dibuja el valor de las salidas dentro de los estados, en los que se indican la relación de dependencia respectivamente. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de este método, el cual corresponde a un sumador binario. Para los vértices o estados se emplea la siguiente notación: <estado>/<salidas>. (Herrero, 2020)

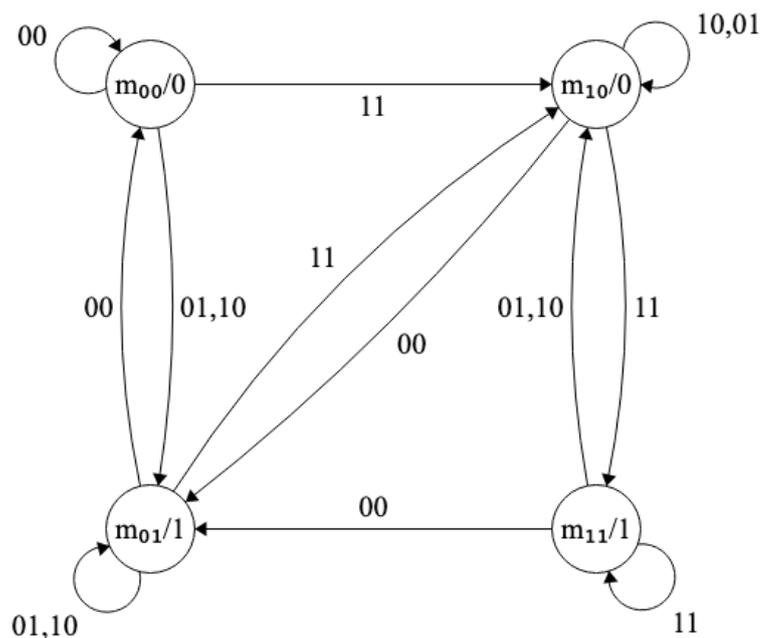


Figura 2. 2: Ejemplo del Sumador de Binario de Moore
Fuente: (Alberto Brunete, Pablo San Segundo y Rebeca Herrero)

2.2.2. Método Máquina de Mealy

Para este método se muestran los valores de las salidas en los arcos, junto con los de la entrada, es decir se representan de la siguiente manera: <entradas>/<salidas>. Esto se debe a que las salidas van a depender del estado en el que se encuentre la entrada a la que pertenece. En la figura 2.3 se muestra el ejemplo de un contador binario pero esta vez implementado utilizando el método de Mealy con dos entradas y una sola salida. (Alberto Brunete, Pablo San Segundo y Rebeca Herrero)

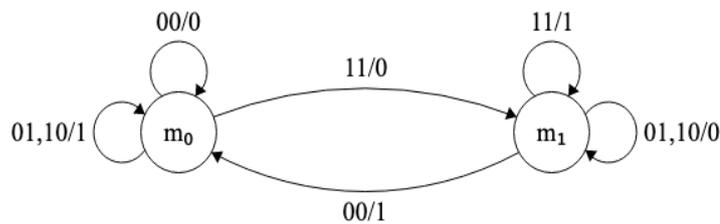


Figura 2. 3: Ejemplo del Sumador de Binario de Mealy
Fuente: (Alberto Brunete, Pablo San Segundo y Rebeca Herrero)

2.3. Sensores

En esta sección se describe la definición de sensor, las clases de sensores que serán el objeto de estudio en este trabajo de investigación.

2.3.1. Definición de Sensor

Es un dispositivo que transforma las magnitudes físicas en valores que son cuantificables para la magnitud que muestren como son: caudal, presión, nivel, entre otros. Los sensores pueden ser eléctricos o mecánicos. En la figura 2.4 se muestra un sensor de caudal industrial. (Andramuño, 2020)

Un Sensor es un dispositivo que detecta diferentes tipos de materiales, esto permite a la maquina tomar una decisión según las configuraciones que se hayan realizado en el PLC, tiene como objetivo mandar una señal la cual será interpretada por la maquina tomando acción dentro de un sistema, permite que continúe un proceso. En un sistema de manufactura flexible, es importante que los dispositivos que actúan dentro del sistema, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo completo del proceso en ejecución (Escalona, 2007).

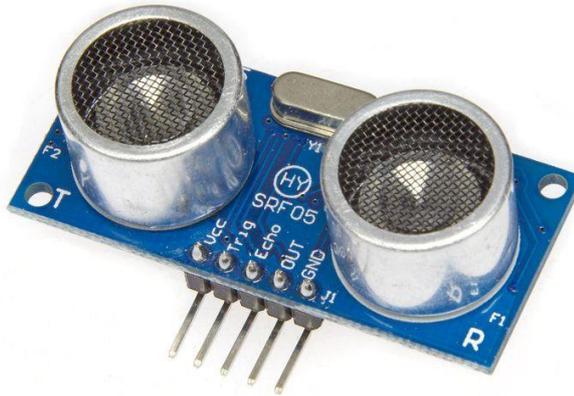


Figura 2. 4: Sensor Ultrasónico HC-SR04
Fuente: (PlayByte, 2020)

2.3.2. Definición de Final de Carrera

Los finales de carrera son sensores de contacto que Son interruptores que se abren o cierran debido al contacto físico del objeto a detectar. Pueden tener un solo contacto, o varios de ellos. Es habitual que tengan un contacto con normalidad cerrado y otro normalmente abierto. Estos contactos suelen tener una tensión nominal de 240V, y una corriente de varios amperios. Se pueden conectar entre la alimentación y la carga, o entre la carga y masa. La carga puede ser la bobina de un contactor o relé, o cualquier elemento que se active al conectar sus bornes a una diferencia de tensión.(Sanchis Llopis et al., 2010) , En la Figura 2.5 se muestra el ejemplo de un Final de Carrera en un sistema automatizado industrial.

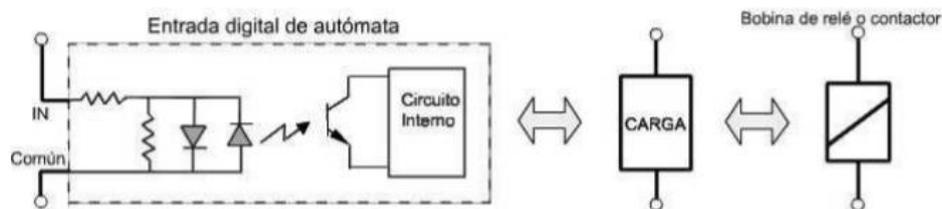


Figura 2. 5: Ejemplo de un Final de Carrera
Fuente:(Sanchis Llopis et al., 2010)

2.3.3. Definición de Sensor de Presión

Un sensor de presión es un transductor, en general de voltaje, entre la fuerza aplicada en un área determinada y una señal eléctrica. Por esta razón, es importante especificar que un sensor de presión es una aplicación específica de sensores de fuerza; asimismo, lo que distingue a los sensores

de fuerza convencionales de los sensores de presión es que los sensores de presión, en general, cuentan con diafragma, el cual es el área efectiva en la que se mide la fuerza ejercida. De esta manera, es posible determinar la fuerza por unidad de área. Están clasificados en diferenciales o absolutos y sirven para medir la presión estática, presión dinámica o presión total. En la figura 6 se muestra la clasificación de los sensores de Presión. (Ramírez et al., 2014)

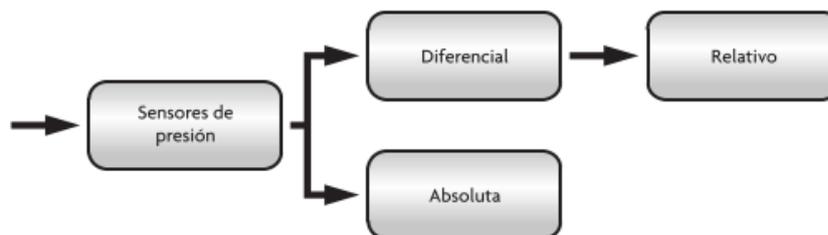


Figura 2. 6: Clasificación del Sensor de Presión

Fuente:(Ramírez et al., 2014)

2.4. Sistemas de Fabricación Flexible

Un sistema de Fabricación flexible es la mezcla entre tecnología e intervención humana, en el que se integra equipos seleccionados, con la finalidad de responder a varios cambios que se presenten mientras el sistema esté operando, por esto se llama “forma flexible”, lo que nos indica que es un sistema que se adapta a los cambios de forma eficiente y rápida. (Ing. Carlos E. Flores R). En la figura 2.7 se muestra un ejemplo de una célula de fabricación flexible.

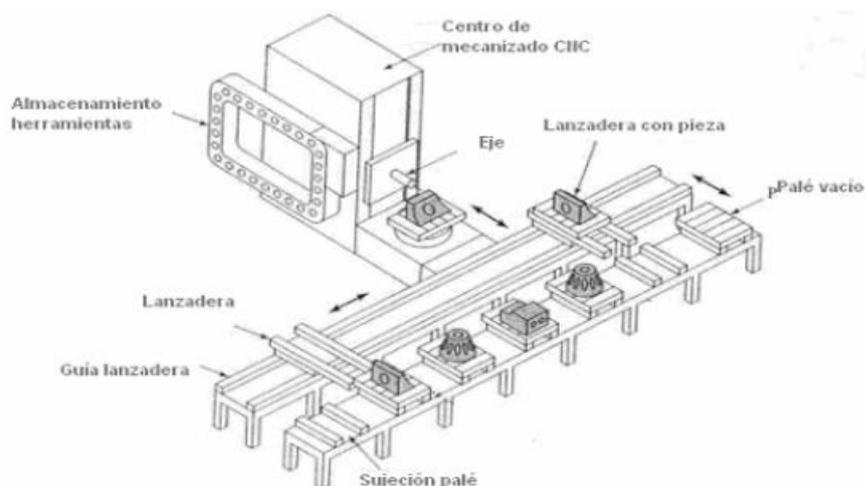


Figura 2. 7: Célula de Fabricación Flexible

Fuente:(Ramírez et al., 2014)

2.4.1. Campo de Acción del sistema FMS

Los sistemas FMS cubren el espacio entre la producción de unidades o de piezas diferentes de menor cantidad, versus a la producción masiva de piezas similares. En la figura 2.8 se muestra una gráfica que ejemplifica el uso de estos sistemas en la industria.(Ingeniaritza, 2015)

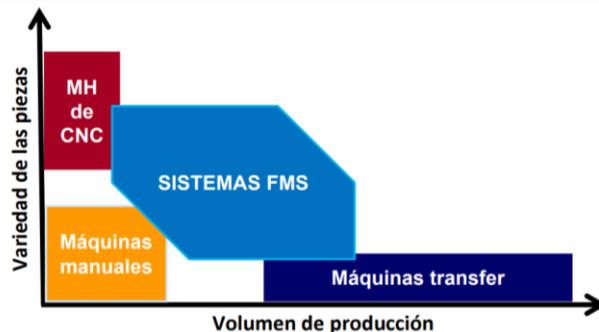


Figura 2. 8: Campo de Acción del Sistema FMS
Fuente:(Ingeniaritza, 2015)

2.4.2. Ventajas y Desventajas de los FMS

En esta sección se describen las ventajas y desventajas que poseen los sistemas de Manufactura Flexible.

2.4.2.1 Ventajas de los FMS

- Optimización de la fabricación por secciones o masiva
- Optimización en el empleo de amarres de piezas, herramientas y tiempos de puesta a punto.
- Reducción en el uso de la materia prima
- Fabricación eficiente debido a que solo realiza lo necesario o requerido por el cliente.
- Excelente gestión de producción

2.4.2.2 Desventajas de los FMS

- Costo Inicial, considerablemente alto debido a los equipos que se requieren para este sistema.
- Se requiere una restructuración general de la producción por cada familia de piezas que componen las maquinarias del sistema FMS.

2.4.3. Flexibilidad de un Sistema FMS

La flexibilidad en la fabricación surge de la necesidad de respuesta de la industria a los cambios y perturbaciones que se están produciendo en el mercado y de los medios facilitados por el avance de la automatización industrial para generar dicha respuesta. Así pues, dos son los elementos a tener en consideración al referirnos a la flexibilidad en la fabricación o fabricación flexible: un mercado cambiante y una tecnología en rápido y creciente desarrollo. (Gil, 1993)

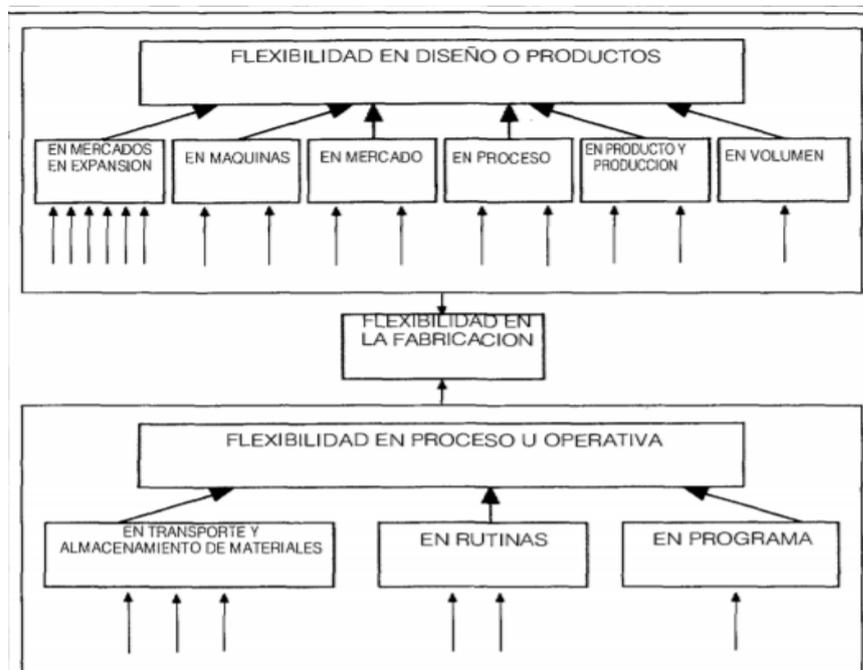


Figura 2. 9: Flexibilidad de un FMS
Fuente: (Gil, 1993)

2.5 Introducción a las RdP (Redes de Petri)

Las Redes de Petri fueron creadas por Carl Adam Petri, y son una herramienta gráfica, por lo que su campo de acción es la representación de dinámica de eventos dinámicos, la sincronización, entre otros. Son utilizadas con repetición en sistemas industriales, en reglamentos de comunicación, computadoras y softwares de tiempo real, principalmente dentro de la automatización. De las cuales se obtienen resultados en base a la simulación que otorgan las invariantes. En la figura 2.10 se muestra al creador de las Redes de Petri.(Andramuño, 2020)



Figura 2. 10: Creador de las RdP
Fuente: (Academy of Europe, 2020)

2.5.1 Componentes de las RdP

Estas redes se componen de dos elementos fundamentales:

- Elementos estáticos: son los lugares representados por una circunferencia, y los arcos del sistema que se representan por líneas con una flecha que al unirse construyen la red. Las transiciones que se representan por rectángulos, no es posible que unan dos elementos que sean iguales, tienen un número donde representa el peso, y en caso de no tenerlo es la unidad.
- Elementos dinámicos: son los tokens representados por un punto de color negro, la Red de Petri puede tener varios de estos, siempre y cuando lo requiera o sea necesario.(Andramuño, 2020; Torres, 2007)

En la figura 2.10 se muestra un diagrama con los de las redes de Petri.

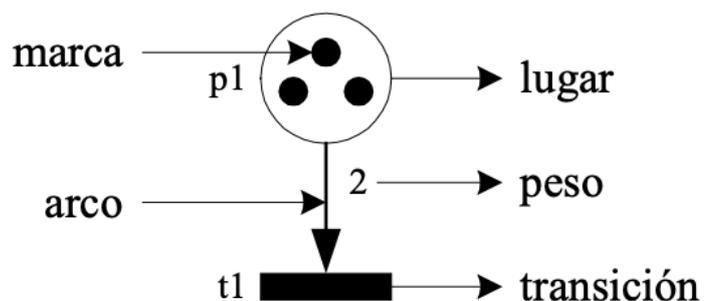


Figura 2. 11: Componentes de la RdP
Fuente: (Andramuño, 2020; Torres, 2007)

2.5.2 Reglas de elaboración de las Redes de Petri

Para realizar las redes de Petri se presentan las siguientes propiedades que estas poseen. (Andramuño, 2020; Torres, 2007)

- La red de Petri va a servir siempre y cuando el inicio sea compatible con todas sus transiciones, en caso de serlo inicia el marcado. Una transición se considera viva solo si el token inicial es alcanza su origen utilizando el botón start en la simulación.
- Una red de Petri contiene propiedades que no aseguran en su totalidad donde la red este elaborada de manera correcta, pero permite verificar que no tenga errores.
- Una RdP siempre debe estar limitada.
- En caso de que la RdP solo contenga marcas de a 1 en cualquier lugar de esta, se dice que la red es binaria.
- Si un conjunto de transiciones de un mismo lugar se intercepta o la lógica de las condiciones asociadas no es válida, se conoce que la red se encuentra en un problema.
- Se genera un problema si se aumenta la capacidad de alguna de las transiciones y cumple con las condiciones indicadas en el inicio, pero no dispone de un de marcas suficientes para dispararlas simultáneamente.

2.5.3 Condiciones para la elaboración de las RdP

Para la creación de redes de Petri de la segunda etapa de un sistema de fabricación flexible industrial es necesario cumplir estos pasos:

1. Determinar las entradas y salidas de la etapa a analizar.
2. Determinar los estados o variables que van a participar en el proceso.
3. Analizar los pasos de cada estado y que relación incide en cada uno.
4. Identificar los places, arcos, tokens, transiciones, input y output a utilizar en la etapa del sistema de fabricación flexible.
5. Establecer el token de marcha.

2.6 Motores

En esta sección se va a describir los motores, clasificación, características, entre otros aspectos, esto se lo realiza con el fin de definir los motores que son utilizados en un sistema de Fabricación Flexible.

2.6.1 Definición de Motores

El motor es la parte de máquina que transforma cualquier tipo de energía en energía mecánica, lo que le permite realizar un trabajo, por ejemplo, en los automóviles a este trabajo se lo denomina “movimiento”. (EcuRed, 2020)

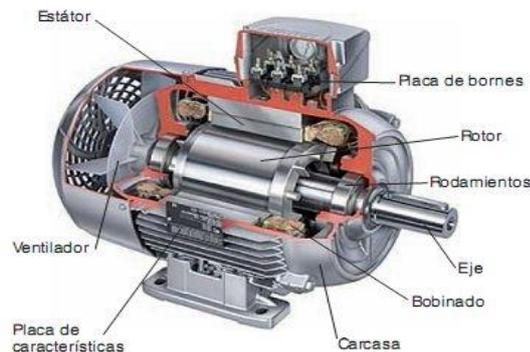


Figura 2. 12: Partes de un Motor
Fuente: (EcuRed, 2020)

2.6.2 Partes del Motor

Todo motor está conformado por un circuito magnético y dos circuitos eléctricos, los que se encuentran tanto en la parte fija del motor denominado “estator” y el otro en el “rotor” o parte móvil del motor.

El circuito magnético está constituido por chapas magnéticas que están apiladas y aisladas entre ellas para eliminar el efecto de magnetismo remanente. El conjunto de chapas apiladas como cilindro dan forma al rotor, y cuando se encuentran en forma de anillo son parte del estator. El cilindro se lo coloca en el interior del anillo, esto es para que el motor gire libremente con un entrehierro constante. Este anillo consta de ranuras en la parte inferior, que es en donde se coloca el bobinado inductor y se lo recubre en el exterior por la carcasa.

El eje del motor se apoya en unos rodamientos generalmente de acero para que evite los diferentes roces que puede tener y tiene acoplado un ventilador para su refrigeración. Por ultimo posee una placa de bornes que sirven para la conexión de alimentación y junto a otros equipos que este motor vaya a trabajar. (Rega, 2011)

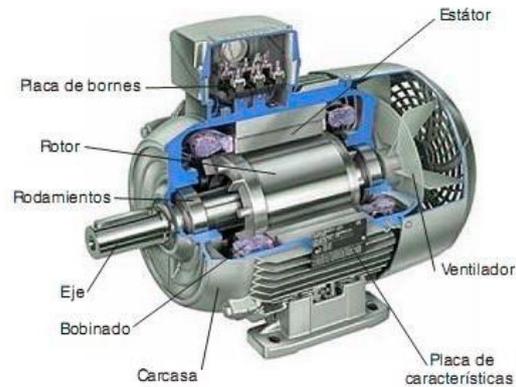


Figura 2. 13: Partes de un Motor
Fuente: (EcuRed, 2020)

2.6.3 Clasificación de los Motores

Los motores tienen diversos tipos, pueden ser según la energía que usan o también por la manera en que la transforman, los más comunes son los siguientes, (EcuRed, 2020):

- Motor Térmico: utilizan energía calórica para realizar su trabajo.
- Motor Eléctrico: utilizan energía eléctrica para realizar su trabajo.
- Motor de Combustión: utilizan energía química que la transforman a térmica y posterior a energía mecánica para realizar el trabajo.
- Motor Aeronáutico: se los utiliza para la propulsión de aeronaves.
- Motor Radial: tiene sus cilindros ubicados de forma radial y es un motor de combustión interna.
- Turbina de gas: es una máquina destinada a la producción de energía eléctrica.
- Turbina de Vapor: utiliza las corrientes de agua, el vapor de agua para generar energía mecánica.

Estos son algunos de los motores más utilizados en la industria, es muy amplia la gama que existen, los cuales se adaptan de forma óptima a los requerimientos de las máquinas industriales o donde el usuario final desee tenerlos.

2.6.4 Motores de un Sistema FMS (Segunda Etapa)

Los motores que se utilizan en un sistema de fabricación flexible son diversos pero el caso de estudio en este trabajo de investigación es la segunda etapa del sistema general FMS, por este motivo se van a analizar cuáles son los que intervienen en este sistema. A estos motores se les ha dado etiquetas o marcas según sea necesario, posteriormente se utilizan estas marcas para definirlos como variables en las RdP.

La segunda etapa de una célula de fabricación flexible trabaja con tres motores, los que se denominan con las siguientes marcas: M1, M2, M3, estos realizan la inversión de giro permitiendo al sistema desplazarse de un punto a otro y retornar desde donde inició, para esto realiza un trabajo en 2 partes, dando paso a las siguientes variables: M1D y M1A.

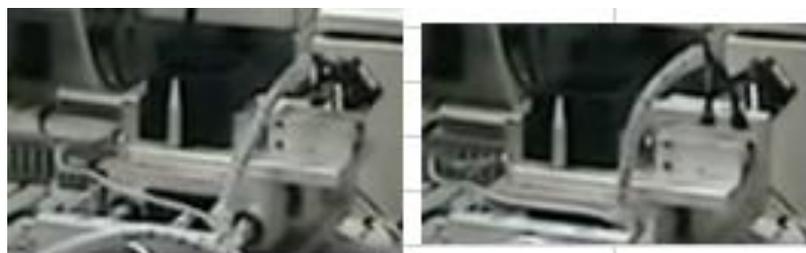


Figura 2. 14: Trabajo del Motor M1 en M1D y M1A
Fuente: H.S., 2010

El motor M2 en la segunda etapa de una célula de fabricación flexible realiza la inversión de giro lo que permite que la bandeja se desplace hacia la derecha y realiza otra inversión de giro para que cambie de dirección según sea el estado del proceso.



Figura 2. 15: Trabajo del Motor M2 en M2D y M2I
Fuente: (H.S., 2010)

El motor M3 en la segunda etapa de una célula de fabricación flexible realiza la inversión de giro permitiendo que el taladro controlado por el M3 baje realizando su trabajo hacia la derecha donde se da origen a M3B, una vez terminado su trabajo lo apaga realizando la inversión de giro lo cual permite que regrese al punto inicial, donde se origina M3A según sea el estado en el que se encuentre.



Figura 2. 16: Trabajo del Motor M3 en M3B y M3A
Fuente : (H.S., 2010)

2.7 La ingeniería en control y los sistemas de control industrial

La ingeniería de control permite a la sociedad ser más eficientes en la industria revolucionando la zona de producción por ello es importante el desarrollo de esta área. Las universidades que ofertan carreras de ingeniería de control y automatización son las primeras responsables en preparar a los estudiantes para que se puedan desenvolver en este mundo cambiante de tecnologías; estas requieren equipar sus laboratorios con tecnología moderna, para mejorar en sus alumnos las destrezas de tipo práctico, actividad que es importante en su formación profesional.(Vega et al., 2017)

Los sistemas de control industrial demandan del uso de nuevas tecnologías que permitan disminuir costos de implementación y a la vez garantizar el correcto funcionamiento del algoritmo de control. (Vega, Parra, Cordova, et al., 2018)

2.8 La industria a nivel empresarial y el control

Actualmente las industrias realizan el procesamiento de alimentos, tratamiento de efluentes, generación de energía nuclear, procesamiento farmacéutico, purificación de agua, entre otras, estas necesitan un control de nivel óptimo para sus plantas ya que de esto depende su correcto funcionamiento. Es por esto que incluso una pequeña mejora en el rendimiento de un control de nivel le ahorraría a la empresa el costo de producción y tiempo en volumen industrial.(Vega, Parra, Córdova, et al., 2018)

CAPÍTULO III: Análisis de la segunda etapa de la máquina de fabricación flexible

Para cumplir con los objetivos trazados en este proyecto de titulación se inicia con una descripción de las condiciones iniciales que son requeridas para interpretar el comportamiento de la máquina de fabricación flexible y su respectivo análisis en base a las Redes de Petri, luego se procede a elaborar un diagrama de estados permitiendo comprender el funcionamiento de la máquina, una tabla de control para definir las variables y cada movimiento que realiza la maquinaria, un diagrama de control que permite verificar si el sistema funciona correctamente, y con el cual se realizan pruebas en el simulador Festo, un diagrama de fuerza que permitirá visualizar la inversión de giro de los motores de la maquinaria con sus respectivos contactores. Luego se realiza la simulación de la segunda etapa de un sistema de fabricación flexible mediante el uso de PLC. Una vez comprendido el comportamiento de la maquina y sus variables se procede a realizar las RdP del mismo para así describir e interpretar el sistema de forma simulada.

3.1. Consideraciones principales del Sistema de fabricación flexible

En las observaciones del sistema se tiene la descripción, las características y funcionamiento que posee la segunda etapa de un sistema de Fabricación Flexible. Todo esto se lo realiza previo al análisis de las Redes de Petri mediante la obtención de sus ecuaciones.

3.1.1 Definición del Sistema

Los sistemas de Fabricación Flexible se componen de diferentes dispositivos, los cuales se los representa como etapas de fabricación, por esto se va a analizar la segunda etapa de este sistema, considerando sus requerimientos previamente establecidos.

Para realizar un análisis completo de la segunda etapa se realiza un diagrama de estados en el cual se especifica las variables que posee el sistema, los dispositivos que van a intervenir y en que momento lo van a hacer. Después de tener los detalles completos del sistema en estudio, se procede a realizar

una tabla de control en la que se detalla las variables con su respectiva descripción, lo que se utiliza para elaborar el diagrama de control que es simulado en Festo, para comprobar su correcto funcionamiento, y así proceder a realizar el diagrama de fuerza en el que se detalla las conexiones que tiene la segunda etapa de un sistema FMS. Con los detalles obtenidos en base a los diagramas realizados se procede a generar una tabla del contenido del PLC, para plasmarlo en un diagrama que defina a detalle las funciones que este tiene que ejecutar. Los resultados obtenidos en este proceso se los plasma en el diseño de la Red de Petri para la segunda etapa del sistema FMS, que es realizado en el software VisualObject Net y posterior analizado en base a sus invariantes tanto de transición como de lugar en el software PIPE (Platform Independent Petri). De esta forma se comprueba si los diseños tanto de control y fuerza se encuentran bien diseñados conforme a los requerimientos preestablecidos para un sistema FMS. En la figura 3.1 se muestra en un diagrama el proceso a desarrollar en la segunda etapa de un sistema de fabricación flexible.

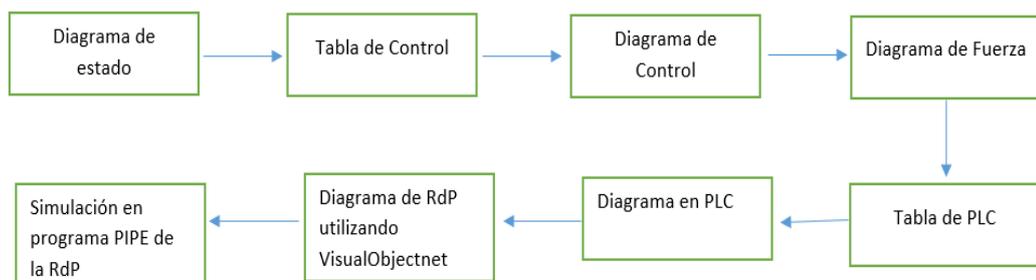


Figura 3. 1 : Descripción del Sistema General
Fuente: Autor

Una de las ventajas que posee realizar este tipo de sistemas de forma simulada es la capacidad de analizar con más detalle las variables, los dispositivos, las funciones y las características que posee. Utilizar la técnica de RdP para el diseño general del sistema, tiene como resultado el análisis de las invariantes tanto de transición como de lugar, lo que sirve para el modelamiento matemático a través de la ecuación que se tiene después de comprobar su correcto funcionamiento de manera simulada.

El sistema de fabricación flexible permite realizar diversas funciones, de las cuales solo se estudia dos, consideradas las más importantes, que es

la identificación y trabajo de las piezas, mediante el uso de un robot que se encuentra en el centro de mecanizado, en donde es trabajada la pieza para su posterior transporte a las demás estaciones del sistema general.

3.1.2 Propiedades del Sistema

En esta sección se describen las propiedades que contiene la segunda etapa del sistema de fabricación flexible las cuales se ve reflejado en los dispositivos que intervienen en la producción, los cambios de piezas, herramientas, en la identificación y verificación de piezas.

- Se trabaja con un autómata Siemens S7-1500 con CPU 1518-4 PN/DP.
- 3 motores monofásicos de 240V con inversión de giro.
- Sensores finales de carrera tipo L52K13MIM311 que posee dos polos y un contacto abierto y otro cerrado.
- Temporizador a la desconexión.
- Sensor de posición, para detectar la pieza y poder trabajarla de manera óptima.
- Sensor de presión, este sensor es utilizado en el momento en el que el Motor M3 necesita bajar para realizar las funciones requeridas.

3.1.3 Funciones del Sistema

En la segunda etapa que es analizada del sistema de Fabricación Flexible cuenta con las siguientes funciones:

- Digitaliza la señal, los sensores inteligentes envían la señal al PLC donde el dispositivo programable toma acciones en el proceso según el área requerida a controlar.
- Cambio automático en las piezas, permitiendo ingreso de la materia prima y aumentando su producción.
- Transporte automático de las piezas entre el sistema, donde la pieza a trabajada se trasladará entre 3 motores donde su movimiento estará dado por la inversión de giro de estos motores.
- Identificación de piezas, los sensores utilizados en el sistema deben detectar que la pieza ingresada se traslade de acuerdo al diagrama de estado.

- Autocorrección de desviaciones, los sensores de posición deben comprobar que las piezas estén en la posición adecuada para realizar el proceso de manera correcta.
- Gestión de las maquinas, materiales y herramientas que trabajaran en el proceso de célula de fabricación flexible.

3.2. Selección del proceso industrial

Previamente a la elaboración de un diagrama de estados, control, fuerza, la programación del PLC del sistema es necesario la selección de un proceso en el cual se podrá analizar todas estas etapas de este. En vista de la pandemia no es posible utilizar los laboratorios de automatización y realizar esta práctica. Por lo cual se ha seleccionado la segunda etapa de una célula de fabricación flexible la cual consiste en mover la pieza y taladrarla en el cual se analiza el proceso y se describe este mediante un diagrama de estados donde se simulará su diagrama de control respectivo, el funcionamiento de los motores en un diagrama de fuerza y la programación del sistema en el PLC donde se procede a construir la Red de Petri de este una vez verificado el funcionamiento del proceso.

Por lo tanto se analizara el proceso del minuto 2:05 a 3:20 de un video del Centro de formación ocupacional Leganés en el cual se aprecia el proceso industrial de un sistema de fabricación flexible (H.S., 2010)

El proceso de la segunda etapa de fabricación flexible cuenta con 3 motores los cuales se describirán en las figuras donde en la figura 3.2 podemos apreciar el desplazamiento que hará la bandeja 1 con la ayuda de los contactores M1D y M1A dependiendo en el estado en que se encuentren se desplaza hacia la izquierda o la derecha. Cuando el motor 1 invierte el giro a la derecha trabaja el contactor M1D y cuando el motor 1 invierte el giro a la izquierda trabaja el contactor M1A.

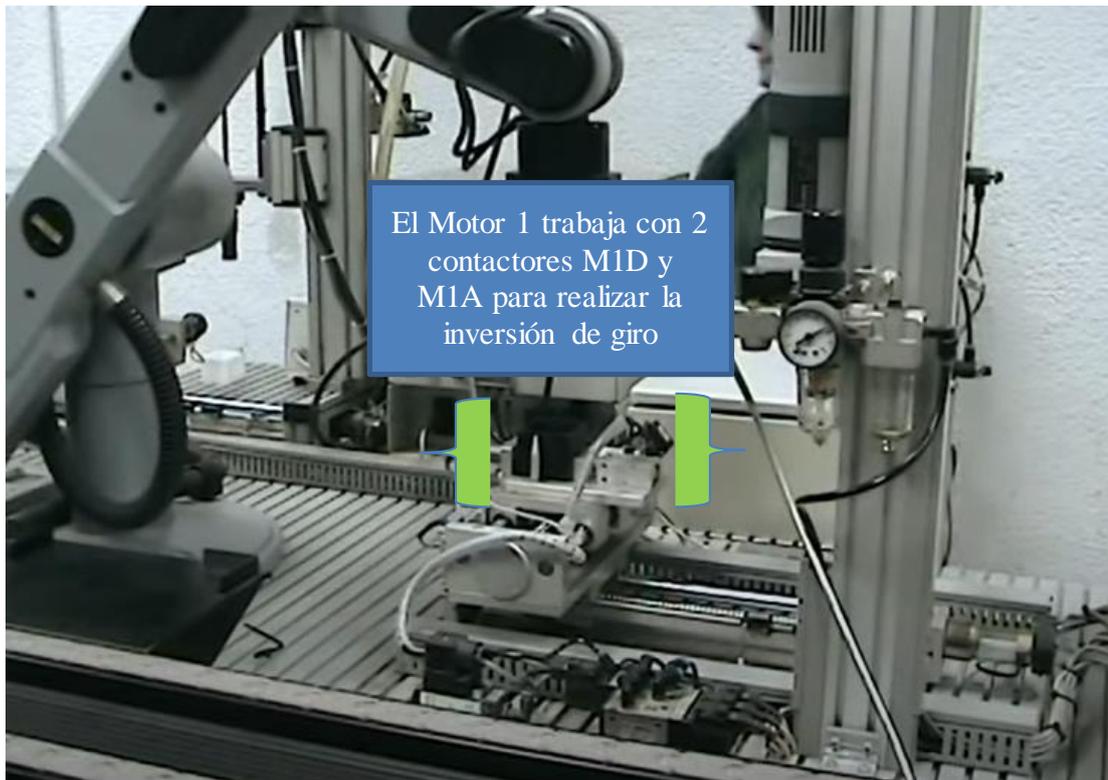


Figura 3. 2: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 1
Fuente: (H.S., 2010)

En la Figura 3.3 podemos apreciar el desplazamiento que hará la bandeja 2 con la ayuda de los contactores M2D y M2I dependiendo en el estado en que se encuentren se desplaza hacia la izquierda o la derecha. Cuando el motor 1 invierte el giro a la derecha trabaja el contactor M2D y cuando el motor 1 invierte el giro a la izquierda trabaja el contactor M2I.

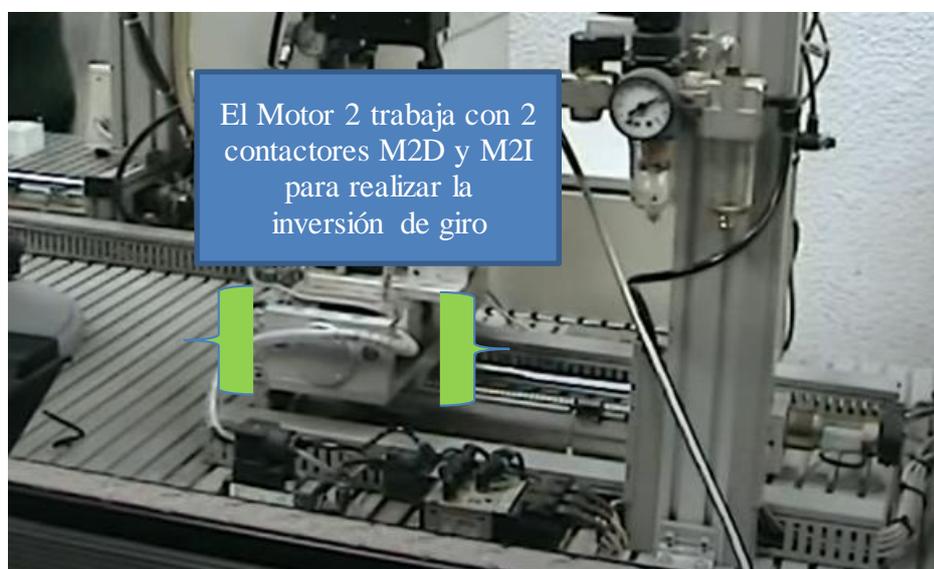


Figura 3. 3: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 2
Fuente: (H.S., 2010)

En la Figura 3.4 podemos apreciar el desplazamiento que hará el taladro con la ayuda de los contactores M3B y M3A dependiendo en el estado en que se encuentren se desplaza hacia la arriba o abajo para realizar las perforaciones al objeto. Cuando el motor 3 invierte el giro a la derecha trabaja el contactor M3B y cuando el motor 1 invierte el giro a la izquierda trabaja el contactor M3A.

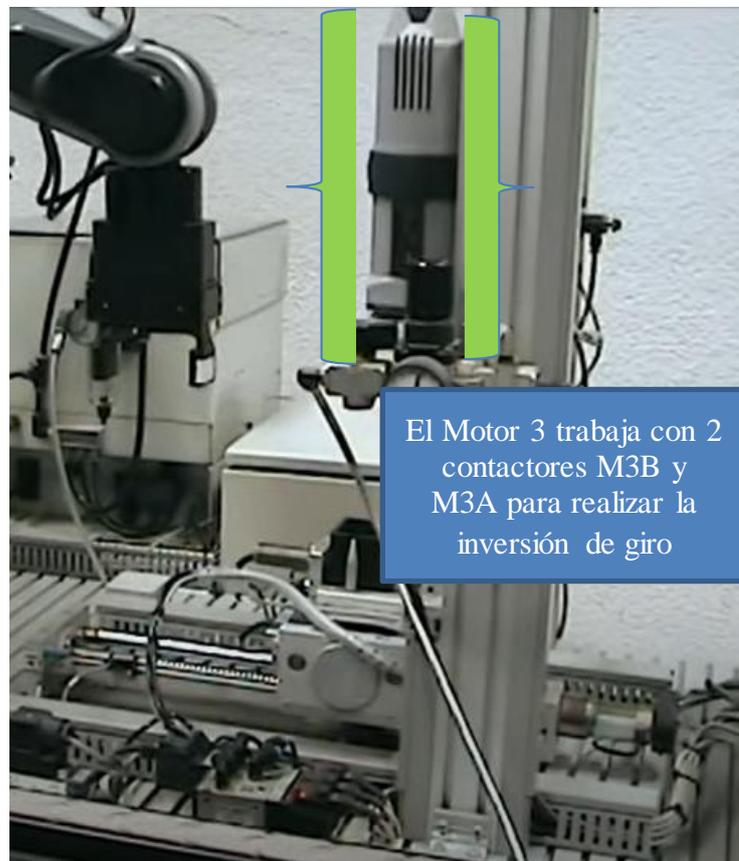


Figura 3. 4: Proceso de fabricación flexible Etapa 2, Motor 3
Fuente: (H.S., 2010)

3.3. Diseño del Diagrama de Estados del Sistema

El diagrama de estados está dividido en dos partes las cuales se muestran en las figuras 3.2 y 3.3, éstas describen todo el proceso que se realizan en la segunda etapa de una célula de fabricación flexible dentro del cual trabajan sensores de presión, fines de carrera, sensores de posición, temporizadores y los 3 motores M1, M2 , M3 los que tienen un rol importante en todo el sistema, debido a que estos poseen la inversión de giro, lo que permite el movimiento de las bandejas de un lado a otro.

En el diagrama que se muestra en la Figura 3.5 se observa los diferentes estados que genera el comportamiento de la maquinaria de fabricación flexible donde en el estado 1 el sensor S1 detecta el objeto colocado y se activa marcha, dando paso al inicio del proceso de la segunda etapa del FMS ,donde el motor 1 activa el contactor M1D que hará que la pieza vaya hacia delante, en el estado 2 inicia el trabajo del sensor de fin de carrera S2, lo que causa que el contacto del motor M1D se cierre haciendo que el motor M1 se detenga y el motor M2 se encienda haciendo que el contactor M2D trabaje , para el tercer estado se enciende el motor M2 el cual hará mover la bandeja hacia la derecha por el contactor M2D donde se detiene por el sensor fin de carrera S3, para el cuarto estado en el momento en que la pieza llega a su lugar se apaga el motor M2 donde empieza a trabajar el sensor de presión S4 haciendo que M3 se encienda y el contactor M3B trabaje haciendo que baje la maquinaria, en el estado 5 se desactiva el Motor M3 el cual hace que el contactor M3B deje de trabajar una vez que la maquinaria se detenga por el sensor fin de carrera S5, para el estado 6 trabaja el Temporizador 1 en el cual una vez se termina el conteo del tiempo, enciende a el motor M3 el cual hará invertir el giro del motor mediante el contactor M3A haciendo que la maquinaria suba hasta que el fin de carrera S8B lo detenga, en el estado 7 se apaga el motor M3 dejando de trabajar el contactor M3A activándose el motor M1 realizando la inversión de giro hacia la izquierda mediante el contactor M1A . Por otro lado en el estado 8 el sensor fin de carrera S7B desactiva el motor M1 dejando de trabajar el contactor M1A encendiéndose el motor 2 haciendo trabajar el contactor M2D el cual gira a la derecha haciendo que la bandeja se desplaza hacia la derecha. Posteriormente en el estado 9 el sensor fin de carrera S3 detendrá a el motor M2 haciendo que el contactor M2D deje de trabajar y para el estado 10 de la primera parte del diseño general del diagrama de estado de la segunda etapa de un sistema FMS, se activa el sensor de presión S4, el cual activa al motor M3 haciendo que el contacto M3B realice la inversión de giro hacia la derecha bajando la maquinaria.

El diagrama de estados es la forma más práctica y óptima de entender el comportamiento de un sistema tan grande como es el sistema de Fabricación Flexible.

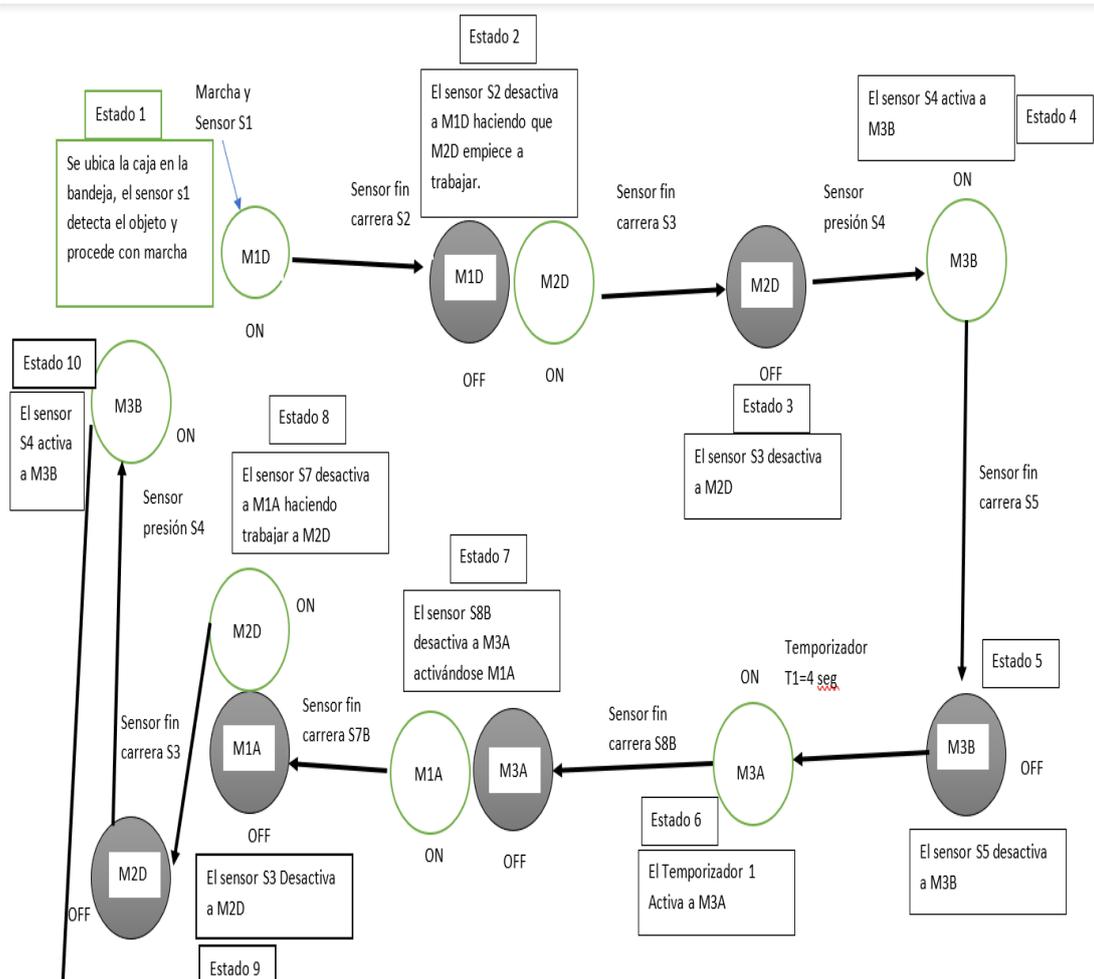


Figura 3. 5 : Primera Parte del Diagrama de Estados del FMS
Fuente: Autor

En el siguiente diagrama de la Figura 3.6 se describe la continuación del proceso de los respectivos estados mediante el cual se describe el comportamiento de la maquinaria de fabricación flexible donde en el estado 11 el sensor fin de carrera S5 detiene el motor M3 haciendo que el contactor M3B deje de trabajar , en el estado 12 se activa nuevamente el temporizador T1 el cual activa al motor M3 haciendo que el contactor M3A gire hacia la izquierda , en el estado 13 trabaja el sensor fin de carrera S8 que detendrá a al motor M3 haciendo que el contactor M3A deje de trabajar dando paso a la activación del motor M1 donde el contactor M1D hará el giro a la derecha ,en el estado 14 trabajara el sensor de fin de carrera S6 apagando así al motor M1 dejando de trabajar el contactor M1D, en el estado 15 el sensor de presión S4 activa el motor M3 haciendo que el contactor M3B realice la inversión de giro hacia la derecha desplazando la maquinaria hacia abajo, en el estado 16 el sensor fin de carrera S5 detiene al motor M3 haciendo que deje de trabajar

el contactor M3B, en el estado 17 el Temporizador T1 enciende el Motor M3 trabajando así su contactor M3A que hará inversión de giro hacia la izquierda subiendo la maquinaria de regreso, en el estado 18 el sensor fin de carrera S8B detiene el motor M3 haciendo que el contactor M3A deje de trabajar encendiéndose así el motor M1 haciendo que el contactor M1A realice su inversión de giro hacia la izquierda desplazando así a la bandeja 1 de regreso, en el estado 19 el sensor S7 detiene el motor M1 dejando de trabajar el contactor M1A encendiéndose el Motor M2 haciendo trabajar al contactor M2I el cual realizara la inversión de giro haciendo que la bandeja 2 se desplace hacia la izquierda, en el estado 20 el sensor S14 desactivara al motor M2 haciendo que el contactor M2I se detenga, en el estado 21 el sensor de presión S4 hará trabajar motor M3 haciendo que su contacto M3B realice la inversión de giro hacia la derecha desplazando la maquinaria hacia abajo, en el estado 22 el sensor fin de carrera S5 desactiva el motor M3 haciendo que el contactor M3B deje de trabajar, en el estado 23 temporizador T1 activara el motor M3 que el contactor M3A realice la inversión de giro hacia la izquierda haciendo que la maquinaria suba de regreso, en el estado 24 el sensor fin de carrera S8C desactivara el motor M3 haciendo que el contactor M3A deje de trabajar activándose el motor M2 trabajando el contactor M2I donde hará la inversión de giro hacia la izquierda desplazando la bandeja 2 hacia la izquierda, en el estado 25 el sensor fin de carrera S9 detendrá al motor M2 dejando de trabajar el contactor M2I, en el estado 26 el sensor de posición S1B detectara el objeto en su punto de recogida dando paso al reinicio del proceso.

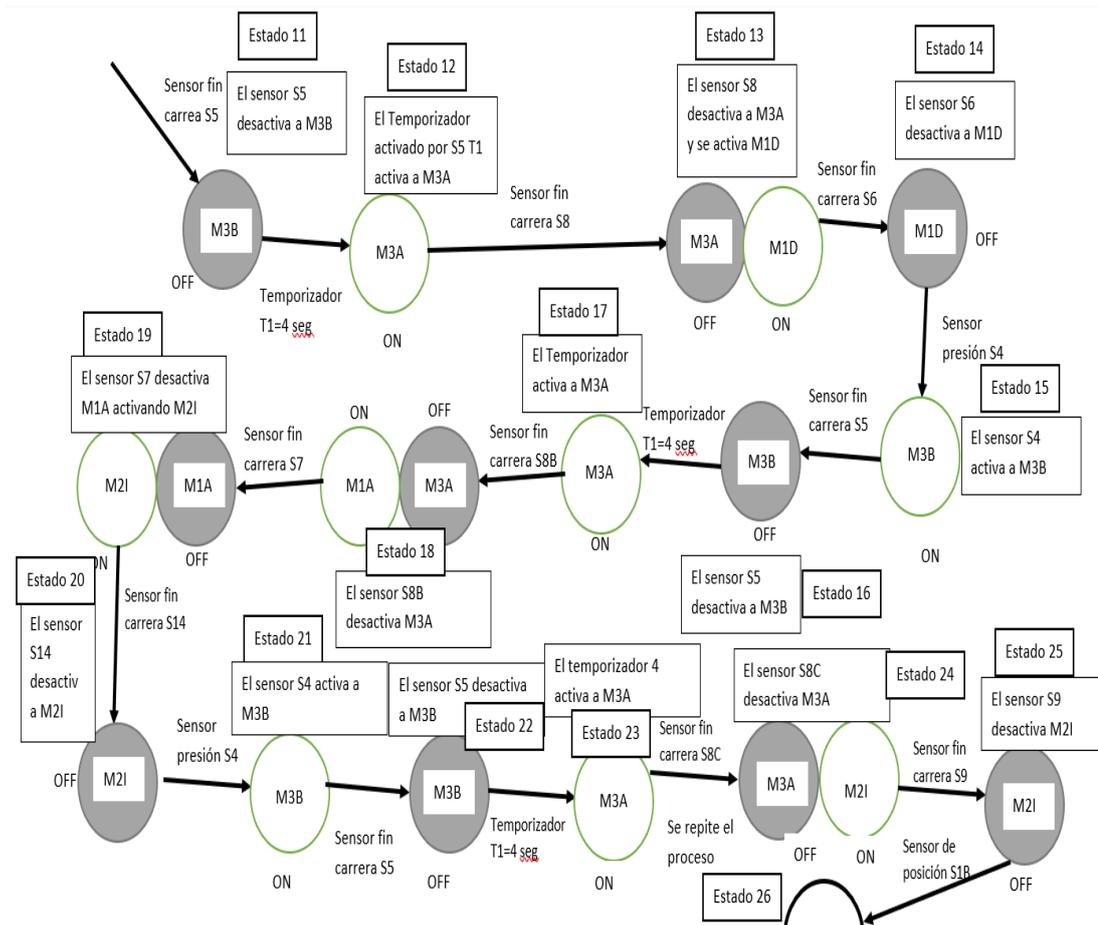


Figura 3. 6 : Diseño de diagrama de estados Segunda Parte
Fuente: Autor

3.4. Variables de Control del Sistema de Fabricación Flexible

Para comprender con más detalle el funcionamiento de la segunda etapa del sistema de fabricación flexible analizaremos el diagrama de estados extrayendo sus variables, sensores y temporizadores utilizados para definirlos en una tabla donde se describe estos elementos a controlar en el sistema. Todo esto es necesario para la comprensión de la parte automatizada de este sistema, con lo que se puede verificar su funcionamiento.

Este sistema es un proceso muy grande por esto solo se analiza la segunda etapa, en la que se generan diferentes variables a controlar en diferentes momentos, por esto es necesario conocerlas, saber que representan dentro del sistema y de qué forma van a intervenir en él.

En la tabla 3.1 se observa las variables extraídas del diagrama de estados las cuales permiten controlar el sistema en el cual se aprecia que existen 3 motores diferentes los cuales realizaran una inversión de giro respectivamente dependiendo de la necesidad del proceso y trabajan para el lado contrario haciendo que el desplazamiento de las bandejas a controlar funcione de la siguiente manera donde los contactores M1D y M1A controlan el primer motor, los contactores M2D y M2I el segundo motor, los contactores M3B y M3A el tercer motor. Cada motor realiza la inversión de giro de acuerdo con la necesidad requerida por el sistema en general.

Tabla 3. 1 Tabla de Control de la etapa de Fabricación Flexible (Autor)
Fuente : (H.S., 2010)

Variable	Descripción	Elementos	
M1	Desplazamiento de bandeja 1 mediante el motor M1	M1D	Motor 1 gira hacia la derecha
		M1A	Motor 1 gira hacia la izquierda
M2	Desplazamiento de bandeja 2 mediante el motor M3	M2D	Motor 2 gira hacia la derecha
		M2I	Motor 2 gira hacia la izquierda
M3	Desplazamiento del taladro con el motor M3	M3B	Motor 3 gira hacia la derecha
		M3A	Motor 3 gira hacia la izquierda
S1	Sensor de Posición	S1	Sensor de posición que trabaja al inicio y al reinicio del sistema
S2	Sensor Fin de Carrera	S2	Sensor Fin de Carrera que detiene a M1D
S3	Sensor Fin de Carrera	S3	Sensor Fin de Carrera que detiene a M2D
S4	Sensor de Presión	S4	Sensor de presión que activa a M3B
S5	Sensor Fin de Carrera	S5	Sensor de Fin de Carrera que desactiva M3B
T1	Temporizador	T1	Temporizador que activa a M3A
S8	Sensor Fin de Carrera	S8	Sensor de Fin de Carrera que desactiva M3A

S6	Sensor Fin de Carrera	S6	Sensor de Fin de Carrera que desactiva M1D
S7	Sensor Fin de Carrera	S7	Sensor de Fin de Carrera que desactiva M1A y activa M2D
S9	Sensor Fin de Carrera	S9	Sensor Fin de Carrera que detiene a M2I
S14	Sensor Fin de Carrera	S14	Sensor Fin de Carrera que detiene a M2I
Marcha	Botonera	Marcha	Comienza el proceso
Paro	Botonera	Paro	Detiene el proceso

3.3.1 Diseño del Diagrama de control

Una vez realizada la Tabla de Control e identificada las variables dentro del sistema será posible la elaboración del diagrama de control el cual se realizó en el simulador Festo, por lo que se puede comprobar si los estados del sistema trabajan de forma correcta o hay que realizar correcciones uno por uno. El resultado de este diseño es comprobar que el diagrama de estados que tiene que el circuito se encuentre funcionando correctamente y las variables trabajen acorde al diagrama diseñado donde se encienden y apagan respectivamente y los sensores que intervienen en este sistema realicen en conjunto a los motores su trabajo de acuerdo con los requerimientos necesarios de un sistema de fabricación flexible. En la figura 3.7 se muestra el diagrama de control general, el cual fue realizado en el software Festo.

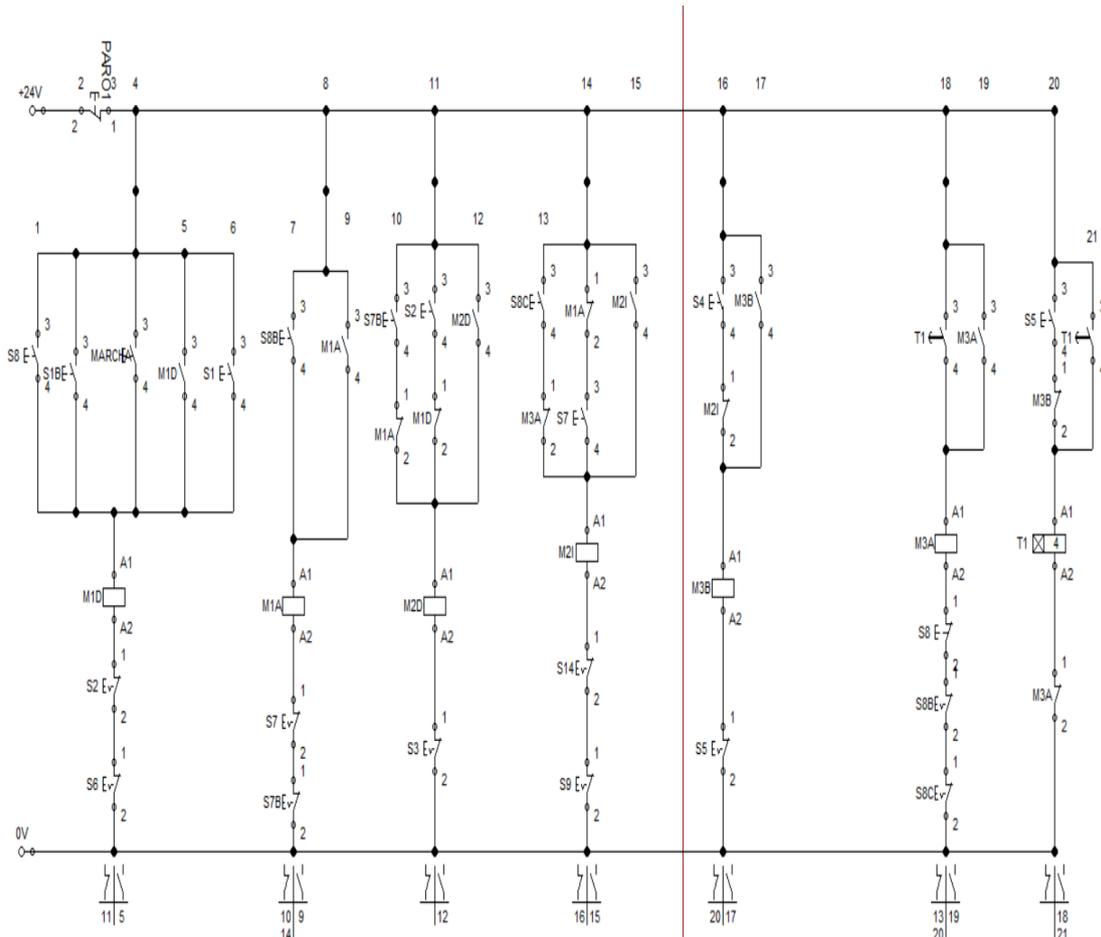


Figura 3. 7 : Diagrama de Control General
Fuente: Autor

3.3.2 Diseño del Diagrama de Fuerza

En la Figura 3.8 se puede observar el funcionamiento del sistema y el trabajo de los motores en el sistema FMS, donde se implementa un circuito de fuerza y de control donde se puede apreciar el trabajo de inversión de giro que realizan los Motores M1, M2, M3 en los cuales se ha trabajado en el simulador CADe_SIMU para poder apreciar este efecto de los motores dentro del sistema general, manteniéndose acorde a los requerimientos necesarios de los FMS.

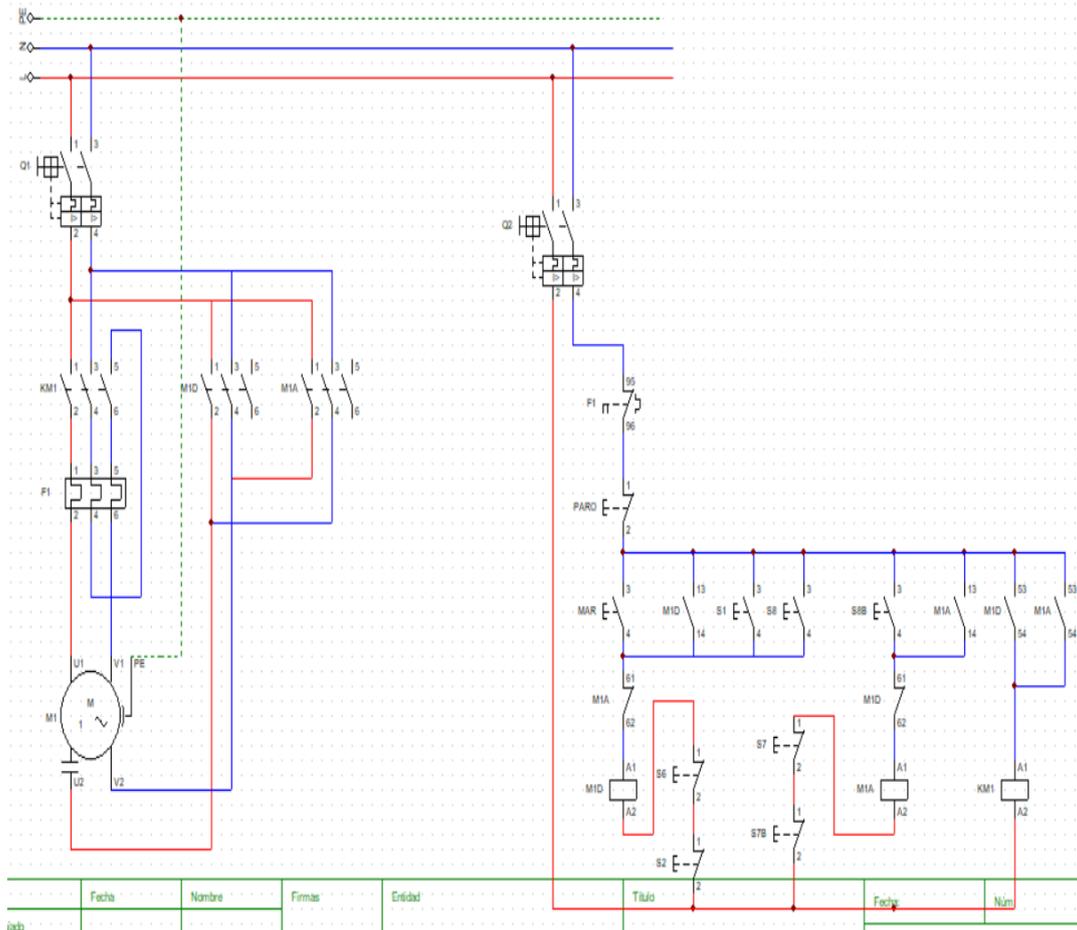


Figura 3. 8 : Diagrama de Fuerza
Fuente: Autor

3.5. Diseño del diagrama del PLC (Variables)

El análisis de la segunda etapa del sistema FMS sirve para comprender con más detalle el funcionamiento o comportamiento de esta célula, por esto uno de los pasos necesarios es establecer el diagrama del autómatas que en este caso es un PLC. A continuación, se describe lo necesario para tener el diagrama del autómatas.

3.4.1 Variables del PLC

En la tabla 3.2 la cual esta detallada a continuación se puede apreciar las variables del sistema y las variables asignadas en el PLC para así poderlas interpretar en el simulador Tía Portal donde ingresaremos las variables de entrada, salida, las bobinas, los contactores abiertos y cerrados respectivos para que el sistema funciona de la manera adecuada

Tabla 3. 2 Tabla del PLC (Autor)

Variables PLC	Variables del Sistema
Q0.0	M1D
Q0.1	M1A
Q0.2	M2D
Q03	M2I
Q04	M3B
Q05	M3A
I0.0	S1
I0.1	S2
I0.2	S3
I0.3	S4
I0.4	S5
I0.5	T1
I0.6	S8
I0.7	S6
I1.1	S7
I1.3	S9
I1.4	S14
I1.5	Marcha
I1.6	Paro
I2.0	S8B
I2.1	S8C
I2.2	S7B
I2.3	S1B

3.4.2 Modelado del Funcionamiento del PLC

Una vez definidas las variables que posee el sistema se procede a elaborar el diagrama de control en el PLC utilizando la Tabla 3.2 para así verificar el correcto funcionamiento del sistema, la simulación es realizada mediante el programa Tía Portal el cual permite simular la conexión a un PLC mediante el autómatas Siemens S7-1500 con CPU 1518-4 PN/DP donde se comprueba si el sistema diseñado en el diagrama de control funciona de manera correcta.

3.6. Diseño de la RdP del Sistema

Se tiene el diagrama de control, de fuerza y lo más importante el diagrama de estados de la segunda etapa del sistema de fabricación flexible con un correcto funcionamiento se procede al diseño de la Red de Petri que se la elabora siguiendo el proceso indicado por el diagrama de estados con la finalidad de comprender el proceso de automatización con mayor claridad utilizando las reglas, técnicas y propiedades de las RdP las cuales están conformadas por Lugares, Transiciones, Arcos y Tokens.

3.5.1 Diseño de la RdP del Sistema de Fabricación Flexible

Para realizar la Red de Petri fue necesario investigar definiciones, reglas, técnicas y propiedades de las cuales es necesario tener conocimiento a momento de con las RdP. Primero se analiza estado por estado, es decir el movimiento del Token mediante los lugares que representan a los motores, las transiciones que representan a los sensores y temporizadores, y los arcos que representan el flujo que sigue el sistema de fabricación flexible para su correcto funcionamiento. Si el token se mantiene solo en uno y no genera demás se puede decir que la RdP está correcta y no se necesitan cambios. Para esto es necesario implementar diferentes técnicas o componentes encontrados en (Andramuño, 2020) de las RdP para poder determinar el funcionamiento de cada estado que posee un sistema FMS, modelado en base a diferentes condiciones que permiten simular de forma correcta el flujo general del caso de estudio de este trabajo de investigación. En la Figura 3.9 se tiene la Red de Petri general de la segunda etapa del sistema de Fabricación Flexible.

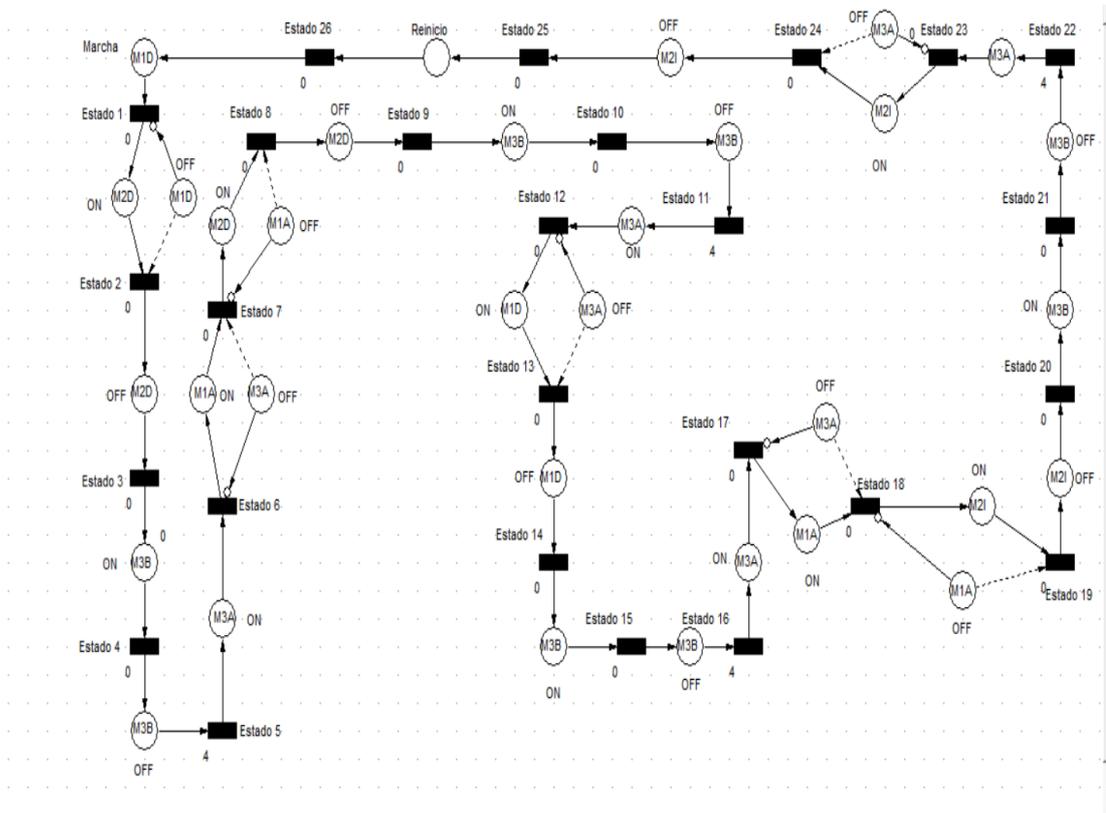


Figura 3. 9 : Red de Petri General
Fuente: Autor

3.5.2 Invariantes de las RdP

En la etapa 2 del sistema de fabricación flexible las ecuaciones de la RdP se obtuvieron mediante el software PIPE 4.3.0. En este análisis se puede apreciar las ecuaciones obtenidas de la red.

3.5.2.1 Invariantes de Transición de la RdP

Una vez construida la Red de Petri se procede a generar las invariantes de la Red de Petri para esto se tiene dos diferentes tablas una para las transiciones las cuales (T) y otra para los lugares (P) del sistema en la Tabla 3.3 se puede apreciar los resultados de las invariantes de las Transiciones.

Tabla 3. 3 Tabla de las Invariantes de Transición del Sistema (Autor)

T	VALOR
T0	1
T1	1
T10	0
T11	1
T12	1
T13	1
T14	1
T15	1
T16	0
T17	1
T18	1
T19	1
T2	0
T20	1
T21	1
T22	1
T23	0
T24	1
T25	0
T26	1
T27	1
T28	1
T29	1
T3	1
T30	1
T31	0
T32	1
T4	1
T5	1
T6	1
T7	1
T8	0
T9	1

3.5.2.2 Invariantes de Lugares de la RdP

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de las invariantes de los lugares de la RdP de la segunda etapa del sistema de fabricación flexible.

Tabla 3. 4 Tabla de las Invariantes de Lugar del Sistema (Autor)

P	VALOR
P0	1
P1	1
P10	1
P11	1
P12	1
P13	1
P14	1
P15	1
P16	1
P17	1
P18	1
P19	1
P2	1
P20	1
P21	1
P22	0
P23	1
P24	1
P25	1
P26	1
P27	1
P28	1
P29	1
P3	1
P30	1
P31	1
P32	1
P4	1
P5	1
P6	1
P7	1
P8	1
P9	1

En la ecuación número 1 se aprecia el resultado obtenido de las invariantes:

$$\begin{aligned} &M(P0) + M(P1) + M(P10) + M(P11) + M(P12) + M(P13) + M(P14) + M(P15) + \\ &M(P16) + M(P17) + M(P18) + M(P19) + M(P2) + M(P20) + M(P21) + M(P23) \\ &\quad + M(P24) + M(P25) + M(P26) + M(P27) + M(P28) + M(P29) + M(P3) + \\ &M(P30) + M(P31) + M(P32) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P7) + M(P8) + \\ &\quad M(P9) = 1 \quad (1) \end{aligned}$$

La RdP General tiene diferentes condiciones que se generan en los estados donde el temporizador entra en acción, en la ecuación número 1 se puede apreciar que el sistema funciona de manera estable debido a que en todos los lugares:

P0, P1, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P2, P20, P21, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P3, P30, P31, P32, P4, P5, P6, P7, P8, P9.

Solo existe un único token que realiza la activación en el sistema, lo que significa que controla una variable a la vez y solo existe un estado en el que opera toda la Red de Petri.

3.7. Pruebas de Simulación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en cuanto a simulación de los diferentes diseños, tanto de control, fuerza y de la Red de Petri. Esto se realiza con el fin de mostrar el correcto funcionamiento, y los resultados obtenidos en cada prueba.

3.6.1 Simulación del Diagrama de Control

Objetivo de la Prueba: Demostrar que el diagrama de control mantiene un correcto funcionamiento en cada estado, previamente establecido en el diagrama de estados general.

Software a Utilizar: Festo.

Desarrollo del Experimento: Para esta prueba se realiza un diagrama de control, utilizando las variables y los estados que se reflejan en el diagrama de estados general, donde se comprueba que todos los dispositivos que van a intervenir trabajen de manera correcta.

Análisis de los Resultados: En las siguientes figuras 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 se muestran la dinámica que presenta la simulación realizada en el software Festo, debido a que presenta muchas ventajas al momento de simulación y componentes de control. En la figura 3.10 se puede observar el funcionamiento del Motor 1 donde realiza la inversión de giro hacia la derecha por el contactor M1D el cual es activado por marcha, S8, S1B, S1 de acuerdo con el estado en que se encuentre y es apagado por S2 y S6.

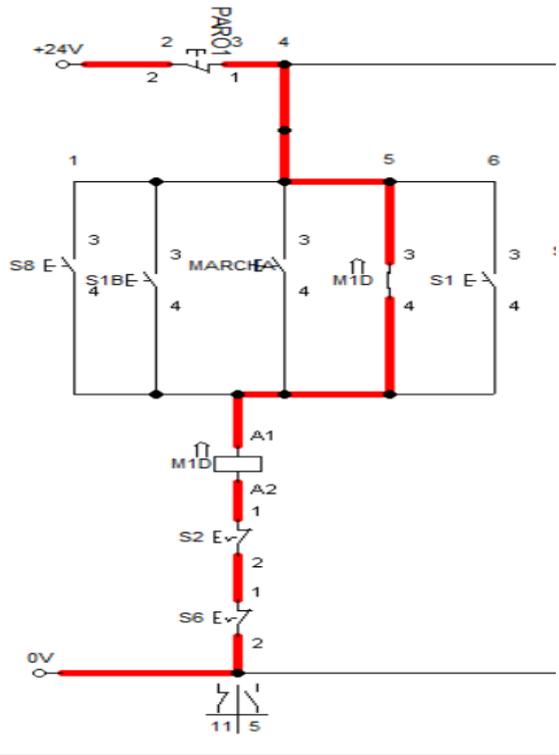


Figura 3. 10 : Primera Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.11 se puede apreciar el funcionamiento del contactor M1A cual corresponde al contactor del motor M1 que hace que gire a la izquierda en los estados 7,18. Se enciende mediante el sensor fin de carrera S8B y es apagado por el sensor fin de carrera S7B y S7

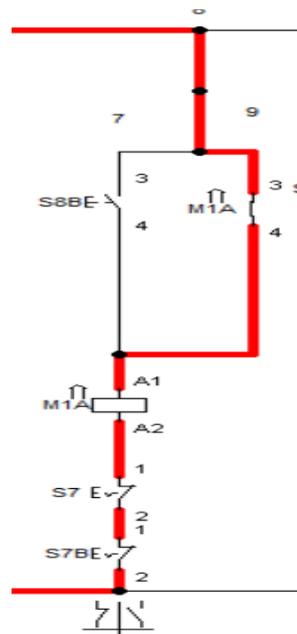


Figura 3. 11 : Segunda Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.12 se aprecia el funcionamiento de M2D el cual corresponde al contactor del motor 2 que hace que gire a la derecha el motor 2 M2 se enciende en el estado 8 donde es activado por el sensor final de carrera S7B y se desactiva en los estados 3 y 9 por el sensor final de carrera S3.

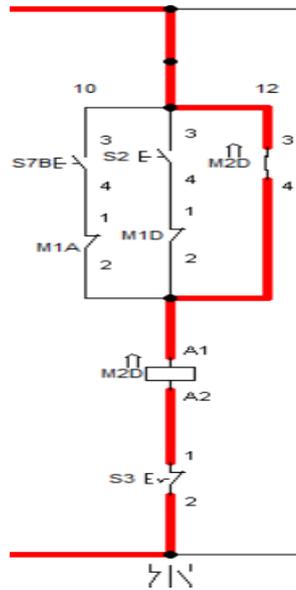


Figura 3. 12 : Tercera Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.13 se muestra el funcionamiento de M2I el cual corresponde al contactor del motor 2 que realiza el giro a la izquierda y es activado en los estados 19,24 por el sensor final de carrera S7 y S8C y desactivados en los estados 20,25 por los sensores finales de carrera S9 y S14

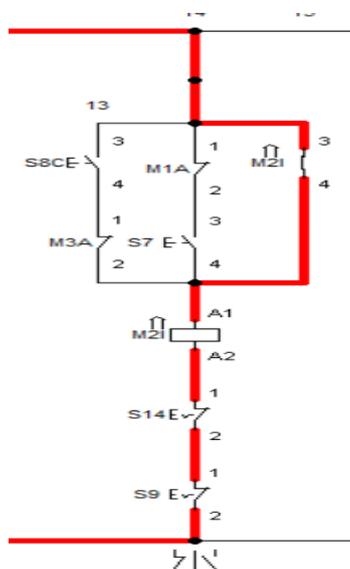


Figura 3. 13 : Cuarta Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.14 se muestra el funcionamiento del contactor M3B el cual corresponde al motor 3 y este se enciende en los estados 4,10,15,21 por el sensor de presión S4 y se desactiva por el sensor final de carrera S5 en los estados 5,11,16,22.

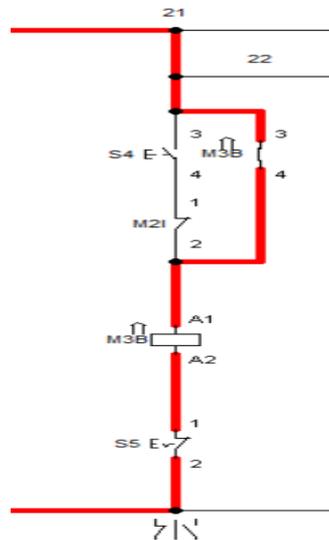


Figura 3. 14 : Quinta Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.15 se aprecia el funcionamiento del Temporizador T1 el cual es activado por el sensor S5 y desactivado por el contactor M3A dependiendo del estado en el que se encuentre respectivamente.

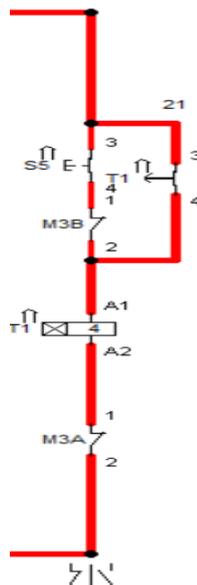


Figura 3. 15 : Sexta Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

En la figura 3.16 se puede apreciar el funcionamiento del Motor M3A el cual es activado por el temporizador T1 en los estados 6,12,17,23 y desactivado por los sensores finales de carrera S8, S8B, S8C en los estados 7,13,18,24.

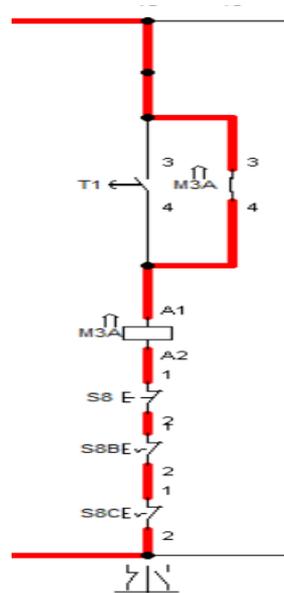


Figura 3. 16 : Séptima Etapa del Diagrama de Control
Fuente: Autor

3.6.2 Simulación del Diagrama de Fuerza

Objetivo de la Prueba: Demostrar que el diagrama de fuerza mantiene un correcto funcionamiento en cada estado, previamente establecido en el diagrama de estados general.

Software a Utilizar: Cade_Simu.

Desarrollo del Experimento: Para esta prueba se realiza un diagrama de fuerza, con el fin de mostrar el correcto funcionamiento de los motores, con sus respectivos inversiones de giro, donde se comprueba que todos los dispositivos que van a intervenir trabajen de manera correcta.

Análisis de los Resultados: En las siguientes figuras 3.14 y 3.15 se muestran la dinámica que presenta la simulación realizada en el software Cade_Simu, debido a que presenta muchas ventajas en cuanto a los componentes de fuerza. En la figura 3.14 se muestra el giro de Motor hacia la derecha del cual es la forma de trabajo de la variable M1D en el sistema de fabricación flexible.

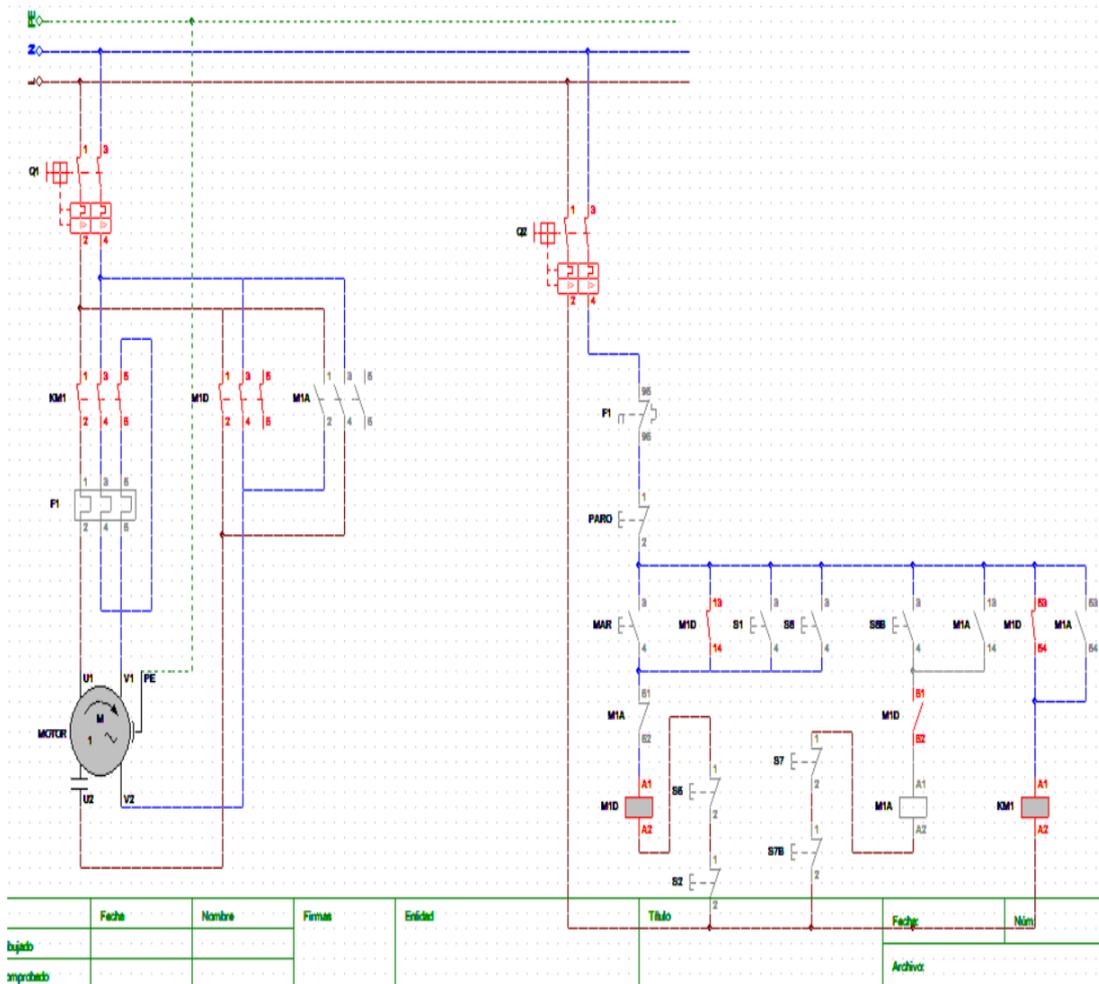


Figura 3. 17 : Inversión de Giro del motor hacia la derecha
Fuente: Autor

En la figura 3.18 se muestra el giro de Motor hacia la izquierda y esta es la forma en cómo se desempeña el contactor M1A en la segunda etapa de un sistema de fabricación flexible mediante el cual permite el desplazamiento de una de las bandejas hacia izquierda.

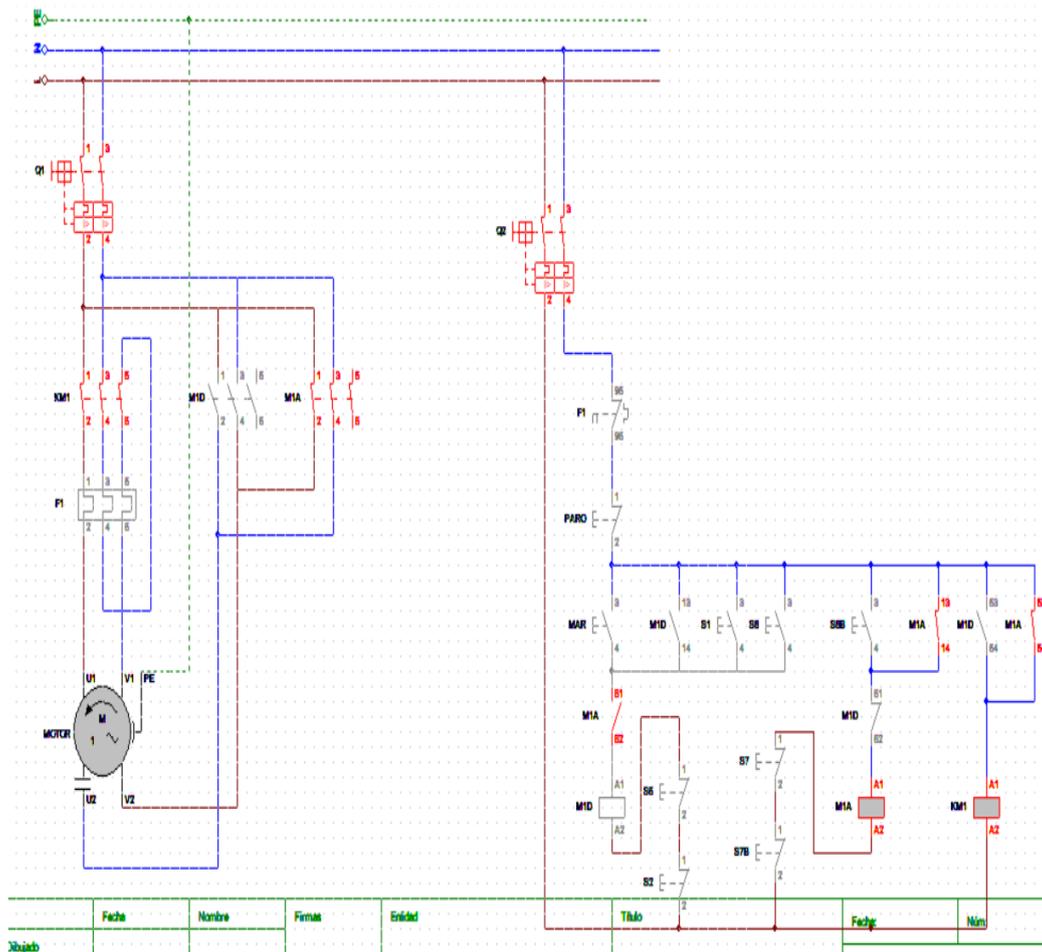


Figura 3. 18 : Inversión de Giro del motor hacia la izquierda
Fuente: Autor

3.6.3 Simulación del Programa del PLC

Objetivo de la Prueba: Demostrar que el programa que se implementará en el PLC mantiene un correcto funcionamiento en cada estado, previamente establecido en el diagrama de estados general.

Software a Utilizar: Tia Portal.

Desarrollo del Experimento: Para esta prueba se comprueba si todo va a funcionar correctamente una vez se implemente en el PLC, es decir que todos los dispositivos que van a intervenir trabajen de manera correcta.

Análisis de los Resultados: En las siguientes figuras 3.16, 3.17,3.18,3.19, se muestra la dinámica que presenta la simulación realizada en el software Tia Portal, debido a que presenta muchas ventajas en cuanto a simuladores con

PLC. En la Figura 3.19 se observa el primer estado del Sistema donde el cubo se ubica en la bandeja y este es desplazado por la inversión de giro realizada por el contactor M1D del motor M1.

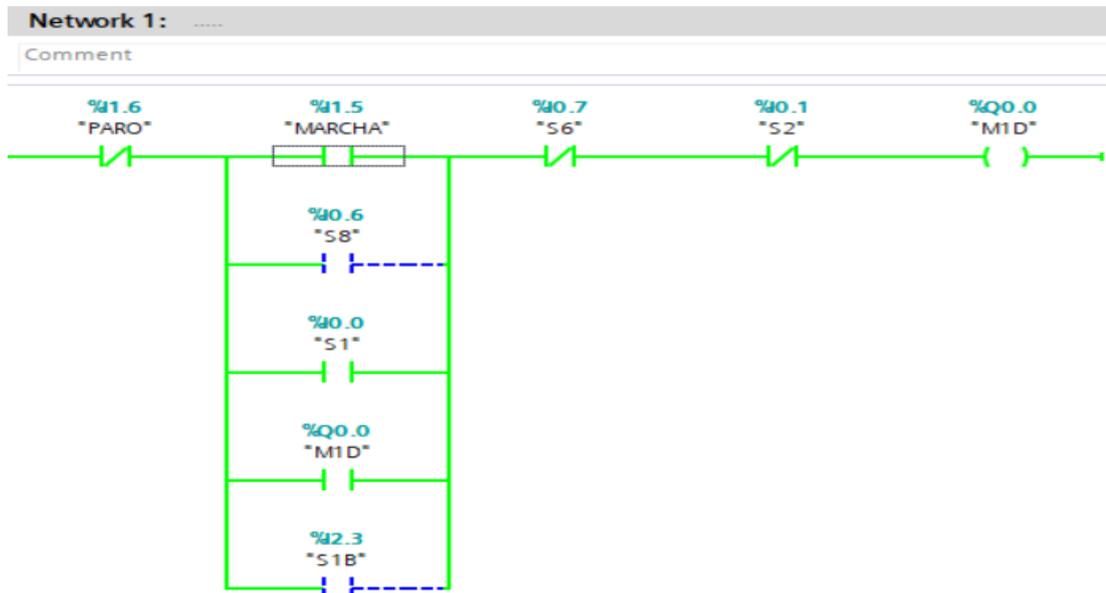


Figura 3. 19 : Activación y desactivación del Contactor M1D en el PLC
Fuente: Autor

En la figura 3.20 se puede apreciar el funcionamiento del contactor M1A cual corresponde al contactor del motor M1 que hace que gire a la izquierda en los estados 7,18. Se enciende mediante el sensor fin de carrera S8B y es apagado por el sensor fin de carrera S7B y S7.

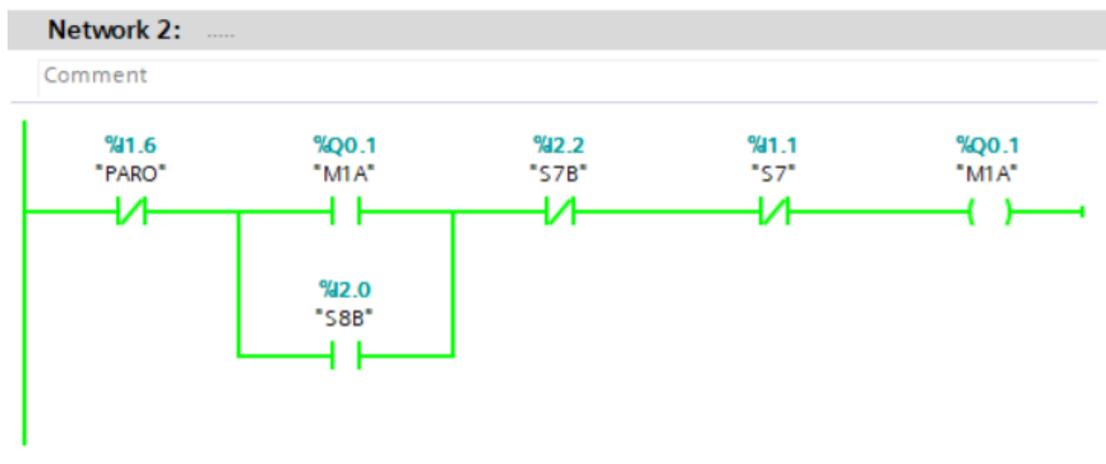


Figura 3. 20 : Activación y desactivación del Contactor M1A en el PLC
Fuente: Autor

Una vez que se enciende M1D avanza hasta el punto en el que S2 lo detiene apagando M1D y enciende M2D generando el estado 2, el estado 8 es activado por el sensor final de carrera S7B y se desactiva en los estados 3 y 9 por el sensor final de carrera S3 en la Figura 3.21.

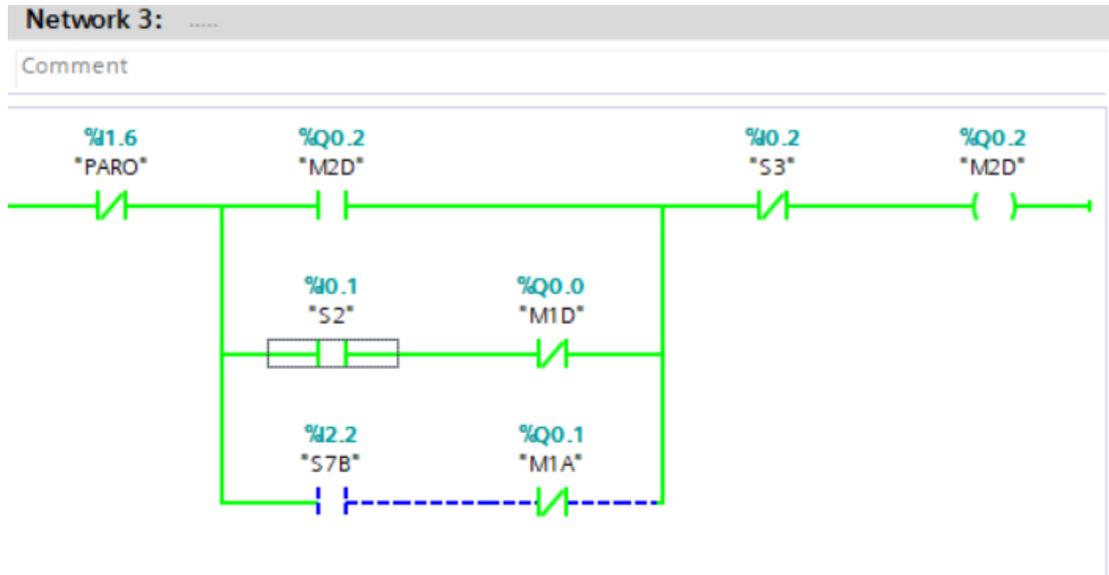


Figura 3. 21: Encendido y Apagado del Contactor M2D
Fuente: Autor

En la Figura 3.22 se puede apreciar el contactor M2I del motor 2 el cual es encendido en los estados 19,24 por el sensor final de carrera S7 y S8C y desactivados en los estados 20,25 por los sensores finales de carrera S9 y S14.

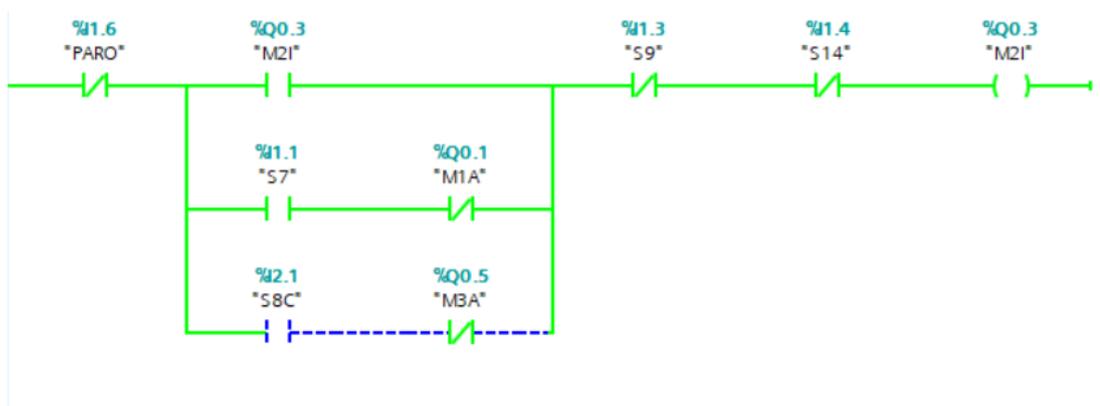


Figura 3. 22: Encendido y Apagado del Contactor M2I
Fuente: Autor

En la figura 3.20 se puede apreciar el encendido y apagado del contactor M3B del motor 3 el cual se enciende en los estados 4,10,15,21 por el sensor de presión S4 y se desactiva por el sensor final de carrera S5 en los estados 5,11,16,22.

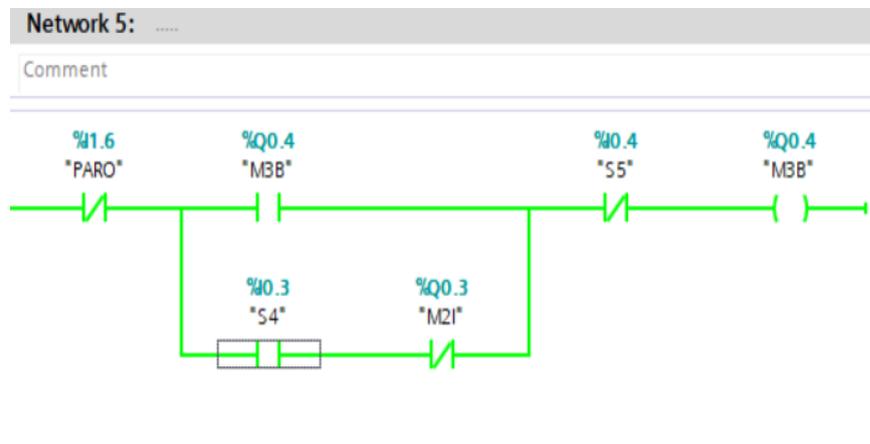


Figura 3. 23: Encendido y Apagado del Contactor M3B
Fuente: Autor

En la Figura 3.21 se puede apreciar el encendido y apagado del contactor M3A del motor 3 donde el final de carrera S5 produce que el contactor M3B se apague y trabaje el temporizador 1 el cual encenderá M3A al paso de 4 segundos en el estado 6 ,12, 17, 23 y se desactivara en los estados 7,13,18,24 por los sensores finales de carrera S8, S8B, S8C los cuales se muestran en la Figura 3.21.

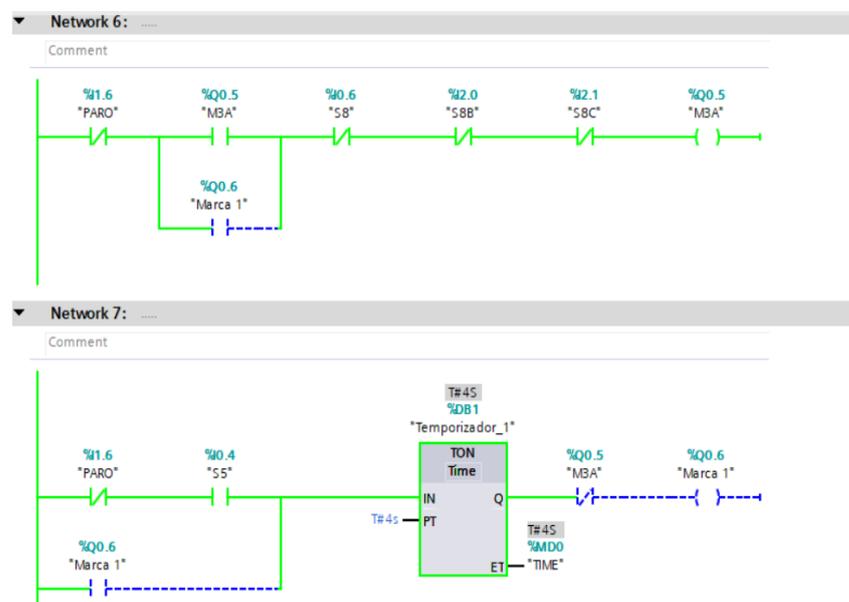


Figura 3. 24: Acción del Temporizador y contactor M3A
Fuente: Autor

El sensor S1B Detecta el objeto en su etapa final donde se procede a retirarlo y a reiniciar el sistema en la etapa que el contactor M1D del motor 1 vuelve a operar nuevamente colocando un nuevo objeto.

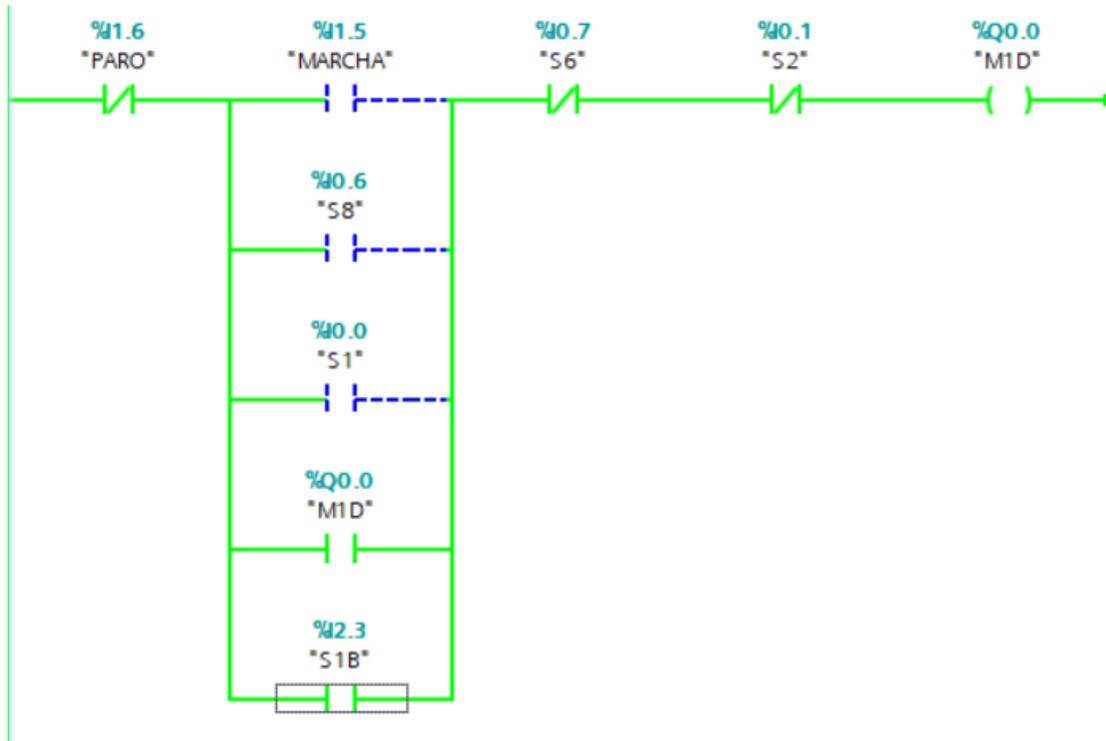


Figura 3. 25 : Estado Final
Fuente: Autor

3.6.4 Simulación De la Red de Petri General

Objetivo de la Prueba: Demostrar que diagrama de estados utilizado para elaborar la Red de Petri mantiene un correcto funcionamiento en cada estado, previamente establecidos.

Software a Utilizar: VisualObjectNet ++.

Desarrollo del Experimento: Para esta prueba se requiere el diseño previo del diagrama de estados de la segunda etapa del sistema FMS, una vez obtenido esto, se procede a la elaboración de la RdP.

Análisis de los Resultados: En las siguiente figura 3.20 se muestra la dinámica que presenta la simulación realizada en el software VisualObjectNet ++,

debido a que presenta muchas ventajas en cuanto a simuladores para RdP. La Red de Petri está compuesta por 33 lugares, 26 transiciones, 63 arcos , 1 token donde los lugares van a representar los estados del sistema de fabricación flexible, las transiciones el cambio de estado y los arcos el flujo donde se ve el proceso en la segunda etapa del sistema de fabricación flexible. Las ecuaciones de la Red de Petri fueron obtenidas del programa PIPE en el cual se construyó la red y el programa permite generar dichas ecuaciones mediante su simulación.

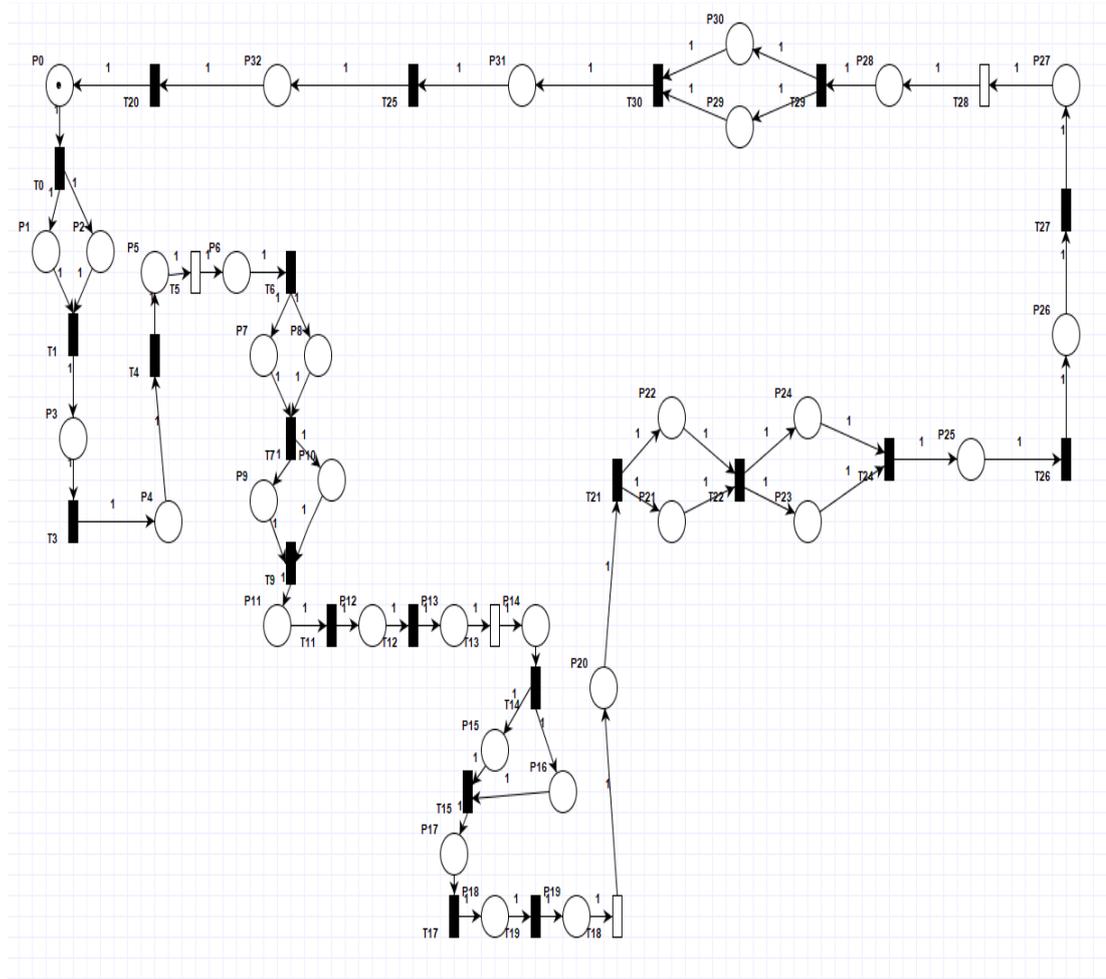


Figura 3. 26 : Simulación PIPE
Fuente: Autor

CAPÍTULO IV: EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Este capítulo explica los resultados obtenidos del presente proyecto de tesis, se interpreta lo alcanzado en base a los objetivos deseados, se estudia las variables que posee el sistema, su funcionamiento y se analiza estos resultados con otros trabajos de investigación.

4.1 Presentación de Resultados

En esta sección se presenta los resultados obtenidos en el estado de arte, el análisis del Diagrama de estados, el uso de la tabla de control para el diseño del circuito de control del sistema, el análisis del funcionamiento de los motores del sistema, el análisis de las variables asignadas en el PLC para realizar la programación en Tia Portal simulando el proceso lo que permite comprobar su correcto funcionamiento y la red de Petri planteada conforme a lo establecido previamente.

4.1.1 Resultados obtenidos del Estado de Arte

El estado de arte está constituido en diferentes trabajos de investigadores donde refieren a las Redes de Petri, diagrama de estados que han apoyado como base el cual permitió el desarrollo de este trabajo de tesis.

Del estado de arte se extrae diferentes aplicaciones para las Redes de Petri, pero ninguna ofrece una estructura en la cual se pueda simular e interpretar un proceso de automatización con mayor facilidad, o alguna que utilice técnicas de simulación para modelar el sistema previamente con mayor facilidad e interpretar su funcionamiento. Por otro lado, se tiene la interpretación de una Red de Petri en la cual podemos apreciar los estados de encendido y apagado de la maquinaria y sus respectivos estados utilizando un diagrama de estados donde se describa detalladamente el proceso y funcionamiento del sistema de Fabricación Flexible, por lo que se analizan los estados para diseñar el diagrama de control el cual sirve como modelo para la construcción de una Red de Petri con mayor interpretación a momento de la simulación.

4.1.2 Resultados brindados por los softwares

En los softwares donde se simuló la segunda etapa del sistema de fabricación flexible, se analizó el funcionamiento de la etapa 2 del sistema de fabricación flexible donde se pudo extraer el diagrama de estados que permite conocer las variables empleadas en el sistema mediante el cual se describen a los Motores, Sensores, y Temporizadores del sistema donde se obtuvo la Tabla de Control la cual permitió el diseño del Circuito de control el cual fue simulado en Festo donde se realizaron pruebas hasta encontrar su correcto funcionamiento y poder implementar el diagrama de estados en el . Una vez obtenido el diagrama de control se procedió a realizar la simulación del circuito de fuerza con el simulador CAdE_SIMU de un motor para comprender el giro de los motores utilizados en el sistema y así entender el desplazamiento que estos lograban realizar en las bandejas de la célula de fabricación flexible mediante la inversión de giro . Teniendo el diagrama de control se procedió a realizar la Tabla de Variables a usar en el PLC mediante la cual se definieron las variables Q e I del PLC las cuales son necesarias para realizar la simulación en Tia Portal y poder comprobar que el sistema funcione de manera correcta, en donde se realizó la comparación de la simulación Festo con Tia portal de esta forma se verifica que el sistema trabaje de forma eficiente. Teniendo el sistema funcionando adecuadamente se procedió a realizar la Red de Petri del mismo donde se puede apreciar el proceso de automatización y simular el mismo mediante el uso de los Lugares, Transiciones, Arcos y tokens con el uso de VisualObjectNet++, una vez simulada la Red de Petri se procedió a realizar esta misma red en el software PIPE donde se obtienen las ecuaciones de las invariantes del sistema y se comprueba que funcione de manera estable.

4.1.3 Resultados obtenidos en las Simulaciones

Para el diseño del diagrama general de control se utilizó el software Festo el cual tuvo un gran desempeño y aportó con grandes ventajas en este proyecto, debido a su vasta gama de componentes que se utilizan para el momento de la simulación. Una vez diseñado el diagrama de control, se procedió al diseño del diagrama de fuerza para lo que se utilizó el software Cade_Simu, en el que permite observar el desempeño de los motores con gran claridad. Por último, se utilizó el software VisualObjectNet ++ para el

diseño y desarrollo de la RdP general, donde se pudo realizar los diversos cambios necesarios para que el sistema se mantenga estable.

Con esto se tiene que, en cada una de las simulaciones realizadas en los diferentes softwares escogidos, se obtuvo pruebas eficientes, donde el sistema se mantiene estable, con un tiempo de respuesta rápido, comprobando que el diagrama de estados estuvo correctamente elaborado en base a los requerimientos necesarios de la segunda etapa de un sistema de Fabricación Flexible.

4.2 Análisis de Resultados

En esta sección se analizan los resultados de manera que cumplan con los objetivos deseados al comienzo del proyecto de investigación, se verifica si hubo una solución al problema de investigación y si se utilizó la metodología que previamente se estableció. De esta manera se comprueba que el sistema trabaja de forma correcta y se puede interpretar la automatización con las técnicas implementadas en este proyecto mayor facilidad a momento de controlar un sistema de automatización industrial.

4.2.1 Estudio de las propiedades y funciones del sistema

Las propiedades y funciones que tiene el sistema de fabricación flexible se plantearon y estudiaron en el Capítulo III.

La estructura que se planteó en este trabajo de tesis implica el uso de técnicas de automatización que permiten comprender el reconocimiento de las variables y funcionamiento de un sistema de automatización con mayor facilidad. Este tipo de arquitectura permite tener las siguientes funciones como: La digitalización de la señal, El cambio automático de las piezas, transporte automático de las piezas entre el sistema, identificación de piezas. Las funciones principales que realiza la segunda etapa de fabricación flexible se comprobaron en la simulación de la Red de Petri junto a otros simuladores.

Las características del sistema se muestran en un diagrama donde se detalla el proceso a seguir para la elaboración y interpretación de una Red de Petri detalladamente: Se comenzó por la elaboración de un diagrama de estados del sistema, la tabla de control del mismo, su diagrama de control y fuerza y la implementación en el PLC mediante Tia Portal para verificar su

funcionamiento. Lo que ayudó a comprender el orden mediante el cual el sistema va a trabajar, las funciones que cada parte va a ejercer y el tiempo en el que se ejecutara un cambio de cada estado del sistema. Una vez descrito la segunda etapa del sistema de fabricación flexible en un diagrama de estados, con los parámetros obtenidos del mismo, el diagrama de control y simulación en PLC se puede crear la RdP de la segunda etapa del sistema de fabricación flexible la cual trabaja de forma correcta ya que todo este proceso previo permite verificar si el proceso está diseñado de manera correcta. Al realizar estas simulaciones se elaboró la RdP para cada estado de la segunda etapa de fabricación flexible donde se interpreta este sistema, del cual se obtuvo las tablas de invariantes para transiciones y la tabla de invariantes de lugares, también se obtuvo las ecuaciones para la red general con las que se verifican que el sistema trabaja de manera correcta. Las Redes de Petri son una herramienta de gran ayuda ya que permiten conocer cómo va el flujo del sistema e interpretarlo con mayor facilidad debido a las técnicas implementadas en este proyecto se puede desarrollar la misma con una mayor claridad del sistema a desarrollar. Los trabajos planteados al comienzo del Capítulo II, en el Estado de Arte tienen diferentes maneras de interpretar las Redes de Petri, pero ninguno utiliza este tipo de técnicas en el desarrollo previo.

4.2.2 Alcance de los Objetivos

En esta parte se analiza el alcance de los objetivos conforme a lo planteado en el Capítulo I. Se muestran dos etapas la primera donde se analiza el Objetivo general y en la otra los específicos.

4.2.2.1 Análisis del Objetivo General

El objetivo general de este proyecto de tesis es determinar el proceso de automatización industrial de un sistema de fabricación flexible en la segunda etapa en la que se aplica técnicas de simulación y diseño como el uso de las Redes de Petri. En base a estas condiciones se plantea una arquitectura basada en técnicas de simulación como el diagrama de estados, diagrama de control y fuerza, diagrama en el PLC del sistema, la implementación de estas ayudara a comprender la aplicación de la Red de Petri para el sistema FMS.

4.2.2.2 Objetivos Específicos

Este trabajo de investigación aporta con gran valor científico ya que se utilizan técnicas previamente al desarrollo de la Red de Petri las cuales permiten una interpretación del sistema con mayor facilidad, donde el uso de estas herramientas de simulación permitió verificar el proceso en su funcionamiento de manera estable y que no posea fallas en el mismo.

4.2.3 Análisis de la Metodología

El tipo de investigación utilizado para este proyecto es de carácter descriptivo con un enfoque cuantitativo, esto se debe a los resultados que se obtienen de forma numérica, donde también se tiene una base bibliográfica que se utiliza para desarrollar el contenido previo al diseño de la Red de Petri. Los resultados obtenidos en el sistema es la aplicación de técnicas que ayudaran en la descripción del sistema el cual permitirá construir la Red de Petri de este con mayor facilidad. Se consiguió lograr todas las especificaciones planteadas para el sistema, por lo cual se escogió de manera adecuada el tipo de metodología para el desarrollo de este trabajo de investigación.

4.2.4 Análisis de la Solución del Problema de Investigación

El desarrollo de las técnicas implementadas de automatización permitirá entender el comportamiento de la segunda etapa de fabricación flexible. El uso de estas técnicas de simulación permite comprender el funcionamiento detallado de un sistema de automatización, por esto es necesario analizar cada etapa previo al desarrollo de las Redes de Petri, con las que se puede verificar si el sistema es estable. Para el desarrollo de este proyecto fue necesario implementar un diagrama de estados el cual describe con detalle el proceso, también se requiere un diagrama de control en base a este, para interpretar el movimiento de los motores en un circuito de fuerza se diseña un diagrama de fuerza que permite reconocer si el sistema funciona o no bajo los requerimientos solicitados. Con el mismo diagrama se lo implementa en el PLC donde posteriormente se creó la Red de Petri, llegando a la última etapa que confirma el correcto funcionamiento del sistema en todos

sus aspectos. La implementación de estas técnicas permitió comprender el proceso y simularlo lo que comprueba la efectividad en el uso de técnicas de simulación para la comprensión de un proceso automatizado industrial de forma remota, sin necesidad alguna de recurrir a un laboratorio o industria de forma presencial.

4.2.5 Análisis final del sistema

Los objetivos, la metodología, y el planteamiento del problema de investigación se pudieron desarrollar de manera correcta mediante la cual se describió el proceso de automatización industrial de la segunda etapa de fabricación flexible con el uso de diagramas los cuales permitieron conocer si el proceso funcionaba de manera correcta para así poder simular la Red de Petri y confirmar que el proceso funcione de manera estable.

Este trabajo de investigación redacta la importancia en el uso de técnicas de simulación para la completa comprensión de un sistema industrial automatizado, debido a que describe los pasos a seguir para determinar o comprobar que el diseño del diagrama de estados de cada uno de los dispositivos que intervienen esté correctamente elaborado.

Los diagramas tanto de fuerza y control permiten que el usuario final conozca de que forma se encuentran interconectados los dispositivos, a que orden obedecen, el comportamiento de los motores con respecto a las inversiones de giro y que activa en cada una de ellas.

Las Redes de Petri elaboradas en los dos softwares permiten determinar de forma matemática si el diagrama de estados está bien estructurado en base a los requerimientos de un sistema de fabricación flexible, por esto es necesario obtener las ecuaciones de las invariantes tanto de lugar como transición, de esta forma se determina si en todos los lugares, con las diferentes posibilidades que existen dentro de la red, mantiene su flujo normal y solo genera una marca a la vez.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se muestra las conclusiones y recomendaciones que se concluyó una vez realizado el análisis de los objetivos planteados en este proyecto de tesis.

5.1 Conclusiones

- El estado del arte, las definiciones, propiedades de las Redes de Petri, elaboración del diagrama de estados de la segunda etapa de fabricación flexible permitió la construcción de esta red general, en la que se verifica que el sistema trabaja de manera estable y eficiente cumpliendo el recorrido del proceso el token cumple el ciclo y pasa por los 33 lugares, 26 transiciones, 63 arcos.
- Un diagrama de estados es la base para la construcción de un sistema de control el cual sirvió para analizar un sistema industrial en la interpretación de la segunda etapa del sistema de fabricación flexible el cual operan 3 motores, sensores finales de carrera, sensores de posición, sensores de presión, temporizadores por lo que se determinó el proceso detallado que ejercían estos motores en el sistema en el cual transportan un producto mediante la activación de los sensores y la inversión de giro de los 3 motores para moverlo respectivamente en el área a trabajar y retornar el producto finalizado al punto de origen.
- El funcionamiento de la segunda etapa de fabricación flexible fue verificado mediante simuladores y descrito el cual está compuesto por 3 motores, 26 estados, sensores, temporizadores y una vez construida la simulación se pudo describir el proceso y comprobarlo mediante el diagrama de estados, diagrama de control, diagrama de fuerza, diagrama del PLC, RdP.
- Mediante el programa PIPE se usó para la elaboración y interpretación de las ecuaciones de las invariantes que otorgan las RdP las cuales indicaron que el proceso no presenta inconsistencias ya que en la ecuación por cada lugar en la RdP existe un estado único en el que el token pasa por lo que su resultado debe ser igual a 1 y las transiciones permiten el flujo de este mediante los arcos.

- Una vez analizado y descrito el proceso de automatización mediante los diagramas de estado, diagramas de Control implementados en Festo y el PLC, el diagrama de fuerza que permitió conocer el comportamiento de los motores y la construcción de las Redes de Petri se concluye que el sistema opera de manera estable y funciona adecuadamente.

5.2 Recomendaciones

- Para trabajos futuros se recomienda analizar el sistema industrial mediante un diagrama de estados donde se describa adecuadamente el proceso el cual permitirá identificar las variables empleadas en el sistema y la construcción de simulaciones las cuales permiten verificar que el proceso trabaje de manera adecuada tanto en la parte de control y en la Red de Petri.
- Para establecer un sistema de control es importante conocer las variables que se emplean dentro del sistema por lo cual se recomienda definir las y describirlas para poder interpretarlas e implementarlas dentro de un sistema el cual permite la construcción del sistema general de manera eficiente y estable.
- La implementación de un sistema de control sin antes comprobar su funcionamiento y simulación puede dañar un sistema industrial provocando daños pérdidas económicas para una empresa por lo cual se recomienda la implementación de estas técnicas para conocer bien el proceso deseado y permitir el trabajo de este de manera correcta
- El uso de los simuladores Festo, CADe_Simu, Tia Portal, VisualObjectNet++ permiten describir y conocer un sistema de automatización con mayor detalle donde se puede verificar la estabilidad de este y su funcionamiento respectivo.

Bibliografía

- Academy of Europe. (2020). *Carl Adam Petri*. https://www.ae-info.org/ae/Member/Petri_Carl_Adam/CV
- Andramuño, J. (2020). *Prototipos de sensores inteligentes de caudal y nivel para la operación de un subsistema de filtrado en una planta potabilizadora de agua*.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14413>
- Bandyopadhyay, A., & Ghosh, S. (2008). Using UML Sequence Diagrams and State Machines for Test Input Generation. *2008 19th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE)*, 309–310.
<https://doi.org/10.1109/ISSRE.2008.16>
- Davidrajuh, R. (2013). Realizing Simple Petri Net Models for Complex and Large Scheduling Problems: An Approach Based Activity-Oriented Petri Nets. *2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 419–423.
<https://doi.org/10.1109/UKSim.2013.32>
- Davidrajuh, R., & Rong, C. (2019). Finding the Pivotal Elements for Modularization of Petri Nets. *2019 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 92–97.
<https://doi.org/10.1109/ICAMechS.2019.8861670>
- EcuRed. (2020). *Motor—EcuRed* [Educativa]. EcuRed.
<https://www.ecured.cu/Motor>
- Escalona, I. (2007). *Transductores y sensores en la automatización industrial*. (El Cid Editor).
<https://www21.ucsg.edu.ec:2653/es/lc/ucsg/titulos/34463>

- Gil, M. J. Á. (1993). La flexibilidad en la fabricación: Bases para su definición y medida. *ECONOMIA INDUSTRIAL*, 10.
- Herrero, A. B., Pablo San Segundo y Rebeca. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*.
https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/diagramas-de-estado.html
- H.S., J. M. (2010, febrero 9). *Celula de Fabricacion Flexible Automatizada*.
https://www.youtube.com/watch?v=pxLM_p0ZI-o&ab_channel=JoseMariaH.S.
- Ingeniaritza, S. (2015). *Sistemas de Fabricacion Flexible*. Universidad del Pais Vasco. http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/66_ca.pdf
- Li, W., Lin, Z.-M., Pan, Y., & Tang, Z.-Y. (2015). Parallel Algorithm Study of Petri Net Based on Multi-core Clusters. *2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, 54–57.
<https://doi.org/10.1109/DCABES.2015.21>
- Li, W., Yang, W., Liao, W., & Li, S. (2012). Research on Methods of Transformation of Petri Nets Systems into the Place/Transition Nets. *2012 Third Global Congress on Intelligent Systems*, 233–236.
<https://doi.org/10.1109/GCIS.2012.33>
- Mata, G., Méndez, A., & Cardillo, J. (2016). *Análisis de Sistemas de Eventos Discretos con Redes de Petri*. 37, 11.
- Pérez, E. M., Acevedo, J. M., & Silva, C. F. (2009). *Automatas programables y sistemas de automatizacion / PLC and Automation Systems*. Marcombo.

- PlayByte. (2020). *Sensor Ultrasónico HC-SR04 – Cacharreando*.
<http://www.playbyte.es/electronica/arduino/sensor-ultrasonico-hc-sr04/>
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Rega, P. (2011). 2. *Partes Fundamentales de un Motor Eléctrico—279— Motores Eléctricos*. Motores Electricos.
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., Ariño Latorre, C. V., Universitat Jaume I, Publicacions, Universitat Jaume I, & Departament d'Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny. (2010). *Automatización industrial*. Publicacions de la Universitat Jaume I.
<http://hdl.handle.net/10234/24182>
- Shmeleva, T. R. (2018). Transformations of models of 2-dimensional grids Colored Petri nets into infinite Petri nets and vice versa. 2018 *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047513>
- Torres, V. (2007). *Apuntes de Automatización Industrial*. 36.
- Vega, N., Parra, P., Cordova, L., Andramuno, J., & Navarrete, V. (2018). Adaptive Control Implemented with Embedded Systems. 2018 *IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609713>

- Vega, N., Parra, P., Córdova, L., Andramuño, J., & Álvarez, J. (2018). Cascade Control Algorithm developed with Embedded Systems. *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609825>
- Vega, N., Parra, P., & Martillo, D. (2017). Didactic equipment developed with embedded systems for the learning of engineering. *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/CHILECON.2017.8229637>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Córdova Fernández, Gerardo Emilio** con C.C: # **0918727249** autor del Trabajo de Titulación: **Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una Máquina de Fabricación Flexible** previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de septiembre del 2020

f. _____

Córdova Fernández, Gerardo Emilio

C.C: 0918727249

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Aplicación de las Redes de Petri en el Desarrollo de una Etapa de una Máquina de Fabricación Flexible		
AUTOR(ES)	Córdova Fernández, Gerardo Emilio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Nino Tello Vega Ureta		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización Industrial, Control de Procesos, Fabricación Flexible		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Fabricación Flexible, Diagrama De Estados, Redes De Petri, Diagrama De Control, Diagrama De Fuerzas.		
<p>El uso de técnicas de automatización en sistemas de fabricación flexible para procesos industriales, son de diferentes tipos, permiten obtener una descripción del sistema más detallada en el cual se identifican las variables del proceso a manejar por el usuario. El actual trabajo de tesis sugiere la elaboración de las Redes de Petri mediante una serie de pasos para el control del segundo estado de un sistema de fabricación flexible donde las actividades principales son recoger las piezas y taladrarlas. En este proceso actúan tres motores, sensores de presión, sensores finales de carrera, sensores de posición, temporizadores los cuales permiten el movimiento de la pieza a trabajar y su perforación adecuada. Por lo que se investiga simuladores que permitan verificar el proceso y describirlo de una manera practica debido a que atraviesa diferentes etapas previamente a la construcción de la RdP general, donde se podrá ver el funcionamiento del proceso en su parte de control y fuerza a través de un diagrama de estados en donde se establecen las variables que posee el sistema, mediante los cuales se va a poder confirmar que el proceso cumple sus etapas. Este trabajo de investigación tiene como resultados la descripción y análisis de la segunda etapa de una célula de manufactura flexible en la cual se detallan las etapas previas en la elaboración de la Red de Petri general del sistema con el fin de simularla y verificar su correcto funcionamiento.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593998284135	E-mail: Gerardo-cordova@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			