



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“REINTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA
FLEXIBLE POR MEDIO DE PLC’S”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA

ALEXIS CORTÉS VILLARAUZ

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Armando Sánchez Guzmán

ENERO DE 2015



AGRADECIMIENTOS

A mi madre Carmen: Por su apoyo incondicional a través de los años, su cariño y amor que me ha dado.

A mi padre Emilio: Por su dedicación en hacer de mí, un hombre de principios y valores.

A mi hermano Carlos, que ha sido mi amigo y mi modelo a seguir durante la mayor parte de mi vida, quien me motiva a realizar mis objetivos de vida.

A Virginia y a Oscar, por el esfuerzo, amor y sacrificios que han realizado a lo largo de los años.

A mis hermanos Carmina y Fernando, con quienes he compartido alegrías y desventuras.

A mis amigos y compañeros de carrera, Rubén, Ángel, Jhowvany, Ángelo y Diana por los magníficos momentos donde reímos, sufrimos, y nos esforzamos día a día.

Al Ingeniero Armando Sánchez, por su tolerancia, apoyo y por brindarme oportunidades para adquirir conocimientos.

A todos aquellos que contribuyeron a la realización de esta tesis, por su acompañamiento y solidaridad.



INDICE

Introducción	4
Lista de Abreviaturas	6
Justificación	7
Problemática	8
Objetivo General	9
Objetivos Particulares	9
Antecedentes	
1.1. Automatización	10
1.2. Sistemas CIM	11
1.3. Sistemas de manufactura flexible	13
1.4. Componentes básicos de un sistema de manufactura flexible	17
1.5. Configuración de los sistemas de manufactura flexible	18
1.6. Beneficios y limitaciones de los sistemas de manufactura flexible	22
1.7. Desarrollo a futuro de sistemas automatizados de manufactura	24
Levantamiento	
2.1. Sistema de manufactura flexible de la Facultad de Ingeniería	26
2.2 Componentes y distribución del Sistema de Manufactura Flexible	27
2.3. Templates	29
2.4. Banda transportadora	30
2.5. Robot Scorbot ER-VII	33
2.6. Controlador ACL	35
2.7. Estación de almacenamiento	39
2.8 PLC MASTERK 120S	40
2.9. Interfaz humano maquina LS XP90	43
2.10. EMCO - 100	46
2.11. EMCO 120P	47
Desarrollo	
3.1 Propuesta de la distribución de los componentes del sistema de manufactura flexible	48
3.2 Estrategias para la reintegración del SMF	51
3.3 Sistema de comunicación del proyecto	53
3.4 Sistema de comunicación RS 485	54
3.5 Programas desarrollados para los controladores ACL	68
3.6 Programas desarrollados para los PLC´s	82
3.7 Programas desarrollados para la interfaz de usuario	91
4. Pruebas	101
5. Resultados	106
Conclusiones	111
Trabajo a futuro	112
Referencias	113
Anexos	115



INTRODUCCIÓN

En su sentido amplio, la manufactura es el proceso de convertir la materia prima en un producto. A partir de una concepción integral, la manufactura incluye mecanismos de diseño, selección de características de materia prima, y la secuencia de métodos y técnicas a través de los cuales es manufacturado el producto. [1]

Considerando una definición actualizada y moderna, la manufactura involucra adicionalmente el uso de la maquinaria adecuada y un sistema de operaciones, a través de la implantación de un plan organizado para cada actividad requerida.[1]

El proceso de la manufactura, se realiza en un entorno y modelo económico mundial, donde la competencia en la fabricación de productos ya no está definida por las capacidades productivas de las naciones, sino por medio de procesos que se han globalizado, con la participación de empresas y estados nacionales que compiten para controlar y acaparar el mercado mundializado.

Las empresas manufactureras que no sólo desean sobrevivir, sino que buscan permanecer en el largo plazo, están obligadas a emprender la adopción de estrategias productivas para convertirse en competidores de clase mundial.

Dichas organizaciones deben remplazar métodos obsoletos de manufactura; modificar sistemas basados en antiguas tecnologías; y necesariamente establecer programas intensivos de entrenamiento y desarrollo de capacidades y saberes de su fuerza productiva.

En los últimos cuarenta años, se puede observar que la innovación tecnológica hizo posibles importantes procesos de mejora, ayudó al incremento de la productividad, a la reducción de costos de manufactura, y a la producción de bienes con una mayor calidad.

Aquellas organizaciones empresariales que introdujeron, por ejemplo, sistemas basados en tecnología informática a operaciones de manufactura, fueron capaces de incrementar sus niveles de producción y de aumentar su participación en el mercado.

Por el contrario y desafortunadamente, las compañías que se resistieron a dicho cambio informático, han visto reducir sus mercados y muchas están fuera de la competencia.



Es un hecho indiscutible, que en la actualidad se requieren procesos de producción eficientes y a bajo costo, que satisfagan la demanda que requieren los diferentes sectores productivos.

Con este marco, la UNAM consideró necesario, como elemento de sus planes de formación, ofrecer a sus estudiantes las herramientas necesarias para adquirir conocimientos sobre sistemas eficientes de manufactura, por lo que adquirió en la década de los años ochenta, un sistema de manufactura flexible a la empresa ESHED ROBOTEC.

Este sistema de manufactura flexible, se instaló en el Laboratorio de Manufactura Avanzada de la Facultad de Ingeniería, con un diseño adaptado para la enseñanza académica.

Desafortunadamente, con el transcurso del tiempo, el sistema de manufactura flexible se fue deteriorando a tal grado que, hoy en día, no se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento.

Por ello, se presenta la necesidad de que el laboratorio de manufactura avanzada de la Facultad de ingeniería de la UNAM, establezca un sistema de manufactura flexible que permita a los alumnos interactuar con sus diferentes componentes, con la finalidad de que puedan aplicar sus conocimientos para realizar prácticas, que les posibilite comprender el funcionamiento de los diversos elementos de un sistema de manufactura flexible.

Con dicha finalidad se plantearon soluciones que constituyen el presente trabajo de tesis profesional, que tiene como objetivo, obtener la reintegración del sistema de manufactura flexible mediante la rehabilitación de los viejos dispositivos, como son los controladores de los manipuladores industriales, en conjunción con una nueva red de controladores lógicos programables PLC's.

Por ello, se consideró que para actualizar la celda de manufactura flexible, era necesario la utilización de dispositivos lógicos programables, PLC's.

Tales dispositivos, se pueden conectar mediante diferentes protocolos de comunicación, en donde un interfaz humano máquina comanda todos los sistemas, de tal manera que el sistema obtenga una mayor capacidad de programación a diferencia de solo usar los controladores de los manipuladores industriales.



LISTA DE ABREVIATURAS

SMF	Sistema de manufactura flexible
PLC	Controlador lógico programable (Programmable Logic Controller)
CIM	Manufactura Integrada por Computadora(Computer Integrated Manufacturing)
CNC	Control Numérico Computarizado (Computer Numerical Control)
AGV	Vehículos de Guiado Automático (Automatic Guided Vehicle)
FOF	Fabricas del Futuro (Factories of the Future)
ACL	Lenguaje de Control Avanzado (Advanced Control Language)
ATS	Software para Terminal Avanzado (Advanced Terminal Software)
ASRS	Sistema Automatizado de Almacenamiento y Recuperación (Automated Storage and Retrieval System)
VMC	Vertical Machining Center (Centro de maquinado vertical)



JUSTIFICACIÓN

El laboratorio de manufactura avanzada de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuenta con un sistema de manufactura flexible, con dos máquinas de control numérico de la compañía EMCO, la fresa modelo 100 y el torno 120P.

Muchos de los dispositivos del sistema, ya no mantienen una calidad óptima, especialmente si se comparan con dispositivos industriales de reciente diseño.

Otro problema adicional, es que la empresa ESHED ROBOTEC dejó de existir en los años 90, por lo que dichos equipos ya no recibieron mantenimiento, acelerando el proceso de deterioro del equipo.

El sistema de manufactura flexible, fue diseñado para la enseñanza académica, con la finalidad de que los estudiantes pudieran adquirir conocimientos para el manejo de las diferentes aplicaciones de las estaciones de trabajo, que integran al sistema de manufactura flexible.

Por ello, con las actividades programadas y consignadas en este trabajo de tesis, se propone renovar las conexiones y los procesos de comunicación de los diferentes componentes que existen en las estaciones de trabajo, así como la programación del nuevo algoritmo de operación del sistema de manufactura flexible.

Es decir, se pretende poner de nuevo en marcha el sistema de manufactura flexible, y continuar con la estrategia establecida para la enseñanza académica con la que fue diseñada, considerando que el programa principal de la interfaz de usuario, debe ser capaz de ejecutar subprogramas, en las máquinas de control numérico (CNC) programadas por alumnos.

Con este proyecto, la facultad de Ingeniería acerca a los alumnos de manera concreta a la teoría y práctica de la manufactura flexible, no solo como una actividad esencial de su formación académica, sino que también hace una llamada para considerar a la actualización tecnológica, como una necesidad indispensable, urgente, oportuna y permanente, de las instituciones de educación superior en México, tema que por lo demás constituye una de las enseñanzas que integra la formación académica que, en este caso, promueve la UNAM.



PROBLEMÁTICA

En la actualidad, la celda de manufactura tiene aproximadamente diez años sin funcionar correctamente, y algunos dispositivos, como los controladores de los robots del sistema de manufactura son obsoletos, por ello, la Facultad de Ingeniería adquirió hace cinco años dispositivos para la reintegración y actualización del sistema de manufactura flexible.

Entre estos dispositivos, se encuentran cuatro controladores lógicos programables (PLC), y un interfaz humano máquina de la compañía LS Industrial Systems.

Dichos dispositivos, no fueron integrados al sistema de manufactura flexible de manera correcta; al hacer el levantamiento de la celda, en febrero de 2014, se encontró que sólo funcionaba la máquina de control numérico fresadora, y muchos de los controladores de los robots eran inoperables.

El sistema de visión del sistema de manufactura, se encontró en estado inservible, ya que los cables de conexión estaban rotos y los sistemas de conexión no se encontraron, además que este sistema ya era obsoleto.

Con este diagnóstico, se perfilaron las siguientes consideraciones:

- a. Realizar una revisión inicial detallada del SMF, para establecer el diagnóstico de la situación general del sistema.
- b. Establecer con un método de trabajo sistematizado, la rehabilitación del sistema.



OBJETIVO GENERAL

Restablecer el sistema de manufactura flexible, diseñada para la enseñanza académica, mediante la realización de una serie de algoritmos que ejecuten ciclos de manufactura de las máquinas de control numérico, mediante controladores lógicos programables y una interfaz gráfica.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Realizar la programación de los controladores lógicos programables (PLC), para manejar los controladores de los robots.

- ❖ Generar una interfaz gráfica que active y muestre los procesos de manufactura, en la pantalla control.

- ❖ Programar controladores de robots para asegurar la movilidad de material.

- ❖ Reintegrar e implementar conexiones entre controladores de robots, controladores lógicos programables (PLC), y periféricos del Sistema de Manufactura Flexible.

- ❖ Establecer la comunicación entre los controladores lógicos programables y la interfaz de usuario



ANTECEDENTES

1.1 AUTOMATIZACIÓN

En la época actual, se necesitan procesos de producción que se adapten a las demandas y exigencias de los mercados mundiales, por lo que las organizaciones manufactureras, desde hace algunos años, han optado por reconvertir los sistemas automatizados de las plantas, para cumplir con este nuevo universo de demandas sociales.

La automatización puede ser definida, como la tecnología enfocada en la aplicación de la mecánica, electrónica y los sistemas basados en computadoras, para operar y controlar la producción. [1]

Existen tres tipos fundamentales de automatización utilizadas por las empresas dedicadas a la manufactura:

- ❖ Automatización rígida
- ❖ Automatización programable
- ❖ Automatización flexible

❖ AUTOMATIZACIÓN RÍGIDA

En la automatización rígida, la configuración del equipo se encuentra fija en un lugar, dejando una sola secuencia en el proceso de producción. Usualmente, esta automatización se usa cuando existe una gran cantidad de producción y la operación del sistema es simple; ejemplos de esta automatización se encuentran en las líneas de ensamblado.

❖ AUTOMATIZACIÓN PROGRAMABLE

Para este tipo de automatización, se puede programar el manejo alterno de la producción, ya que el equipo puede realizar la manufactura de diferentes tipos de productos, cambiando la configuración de la secuencia de operación. Algunos ejemplos son las maquinas CNC, robots industriales.

❖ AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE

Este tipo de automatización fue diseñado para ser flexible, ya que es capaz de producir una gran variedad de productos, sin la pérdida de tiempos en el cambio de un producto a otro. Los sistemas de manufactura flexible son un ejemplo de esta automatización.

Como se observa en la figura 1, dependiendo del tipo de automatización que se requiere, varía la cantidad de producción anual y la variedad de productos, por lo que las industrias deben decidir qué tipo de automatización deben implantar, considerando sus necesidades.

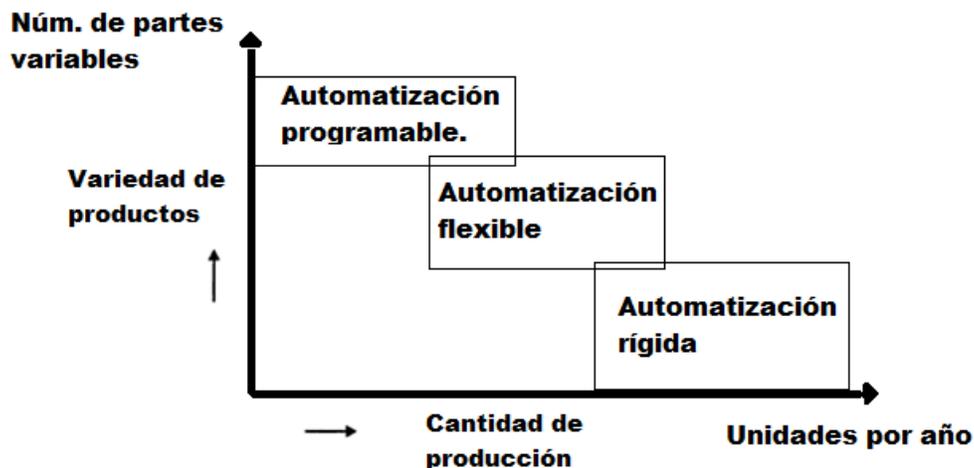


Figura 1. Variedad de la producción vs cantidad de producción. [2]

1.2. SISTEMAS CIM

Desde los años 70, la industria manufacturera implementó sistemas que engloban procesos informáticos para la producción y diseño; esta tendencia ha ido creciendo hasta nuestros días, y se sabe que el alcance de dicha tendencia es mayor al diseño y a la producción, ya que se puede ocupar en funciones más amplias en los planes de negocio de las industrias.

El nombre dado al uso de las computadoras en la industria es Computer Integrated Manufacturing (CIM).

Se debe visualizar el CIM como un sistema informático, en el que los periféricos, en lugar de impresoras, plotter, terminales y discos de memoria, son robots, herramientas de máquinas y otros equipos de procesamiento. Es un poco más ruidoso y un poco desordenado, pero es básicamente un sistema informático. [2]

Como se puede observar en la figura 2, el alcance que tienen los sistemas computarizados en la industria de la manufactura es integral, ya que idealmente se pueden desempeñar en cualquier área de la empresa, considerando siempre el vínculo con la manufactura, por ejemplo, en la planeación, diseño, mercadotecnia, ventas, control de inventarios, financiamiento, etc.

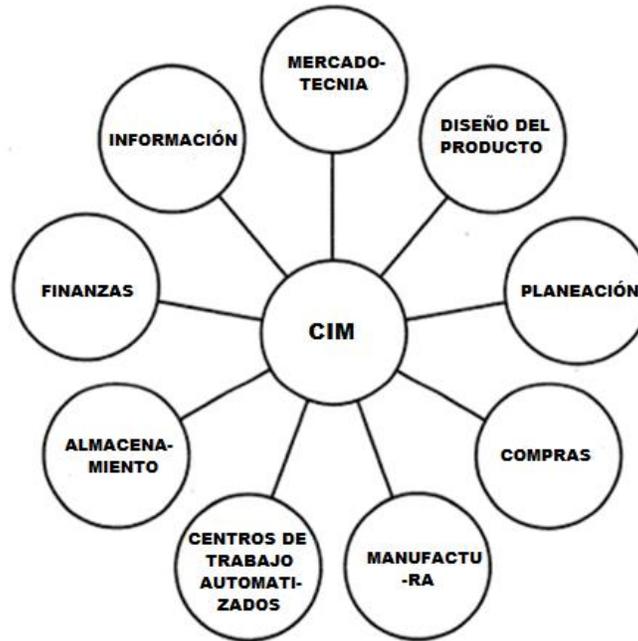


Figura 2. Algunos elementos de un sistema CIM. [3]

La tecnología CIM relaciona las áreas de la compañía enfocada a la manufactura, con otras funciones de la compañía. Es por esto que la tecnología CIM abarca la integración de todas las actividades que realiza una empresa.

Los sistemas CIM involucran diferentes tecnologías para optimizar el manejo y la producción, para el caso de este trabajo, solo se mencionaran dos que son fundamentales:

❖ Ingeniería Asistida por Computadora

- Diseño asistido por computadora
- Planeación de los procesos asistidos por computadora
- Planeación de los recursos de materiales, para el manejo y predicción de los requerimientos de materia prima.



❖ **Manufactura asistida por computadora**

- Procesamiento de material automatizado en celdas, usando maquinas CNC, y robots para efectuar tareas como soldadura y pintura.
- Manejo de materiales usando bandas transportadoras, robots y vehículos guiados automáticamente.
- Inspección computarizada y control de calidad, usando sensores automáticos.
- Seguimiento automático de la producción, usando sistemas de censado avanzado.
- Sistema de adquisición de datos [3].

Cabe destacar que los actuales sistemas CIM, no han desplazado a los operadores humanos de ciertas tareas industriales. La labor humana es requerida para funciones esenciales como:

- ✓ Carga y descarga de materia primas al almacén, del sistema o en ciertos puntos de adquisición de material.
- ✓ Mantenimiento del sistema
- ✓ Monitoreo de la producción

1.3 SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Los sistemas de manufactura flexible comenzaron a usarse a finales de la década de los sesentas, y consisten en varias celdas de manufactura, cada una de estas con robot industrial para abastecer y retirar material de máquinas de control numérico, y cuenta con sistemas de manejo de materiales.

Todos estos sistemas se interrelacionan mediante una computadora central. Hoy en día las aplicaciones más comunes de los sistemas de manufactura flexible han sido en operaciones de maquinado y ensamble. [4]

Un sistema de manufactura flexible, es aquel que es capaz de producir una variedad de productos sin pérdida de tiempo, entre el cambio de un producto al siguiente. Los sistemas de manufactura flexible, son diseñados para una baja producción, pero con una gran variedad de productos.

Algunas situaciones donde los SMF resultan apropiados, son los siguientes:

- ❖ Producción de familia de piezas
 - Optimización del manejo de la producción
 - Incremento del uso de las maquinas
 - Reducción de tiempos de manufactura
 - Simplificación de procesos de inventario

Sin embargo no es fácil saber si un SMF cumplirá con los objetivos considerados por la empresa, es por eso que la mayoría de los SMF son diseñados con ayuda de simuladores computarizados. [4]



Figura 3. Ejemplo de un sistema de manufactura flexible. [5]

Existen varios criterios para afirmar que un sistema de manufactura es flexible:

- Procesar diferentes estilos de partes, pero no por el modelo de lotes
- Aceptar cambios en el programa de producción
- Responder en forma inmediata, cuando se presenten averías y errores del equipo en el sistema
- Aceptar la introducción de nuevos diseños de partes. [1]

Los sistemas de manufactura flexible, pueden ser divididos en varios tipos, dependiendo de sus características; uno de los más recurridos es la del número de máquinas.

Los SMF, catalogados por el número de máquinas, cuenta con tres clasificaciones para esta división:

❖ Celda de una sola maquina

Consiste en una máquina de CNC combinada con un sistema de almacenamiento de partes; dicho sistema puede producir lotes de una misma pieza, o puede trabajar en modo flexible, donde la maquina CNC es programada para alternar entre piezas. De ahí proviene su flexibilidad.

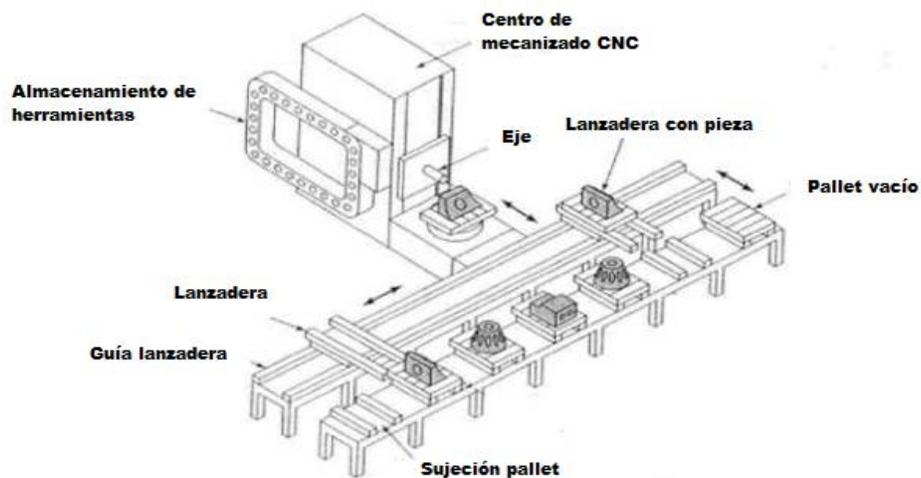


Figura 4. Ejemplo de una celda de una sola máquina. [1]

❖ Celda de manufactura flexible

Este sistema consiste en dos o tres estaciones de trabajo, además de una parte de sistema de manejo. Tal sistema de manejo es conectado a una estación de carga y descarga.

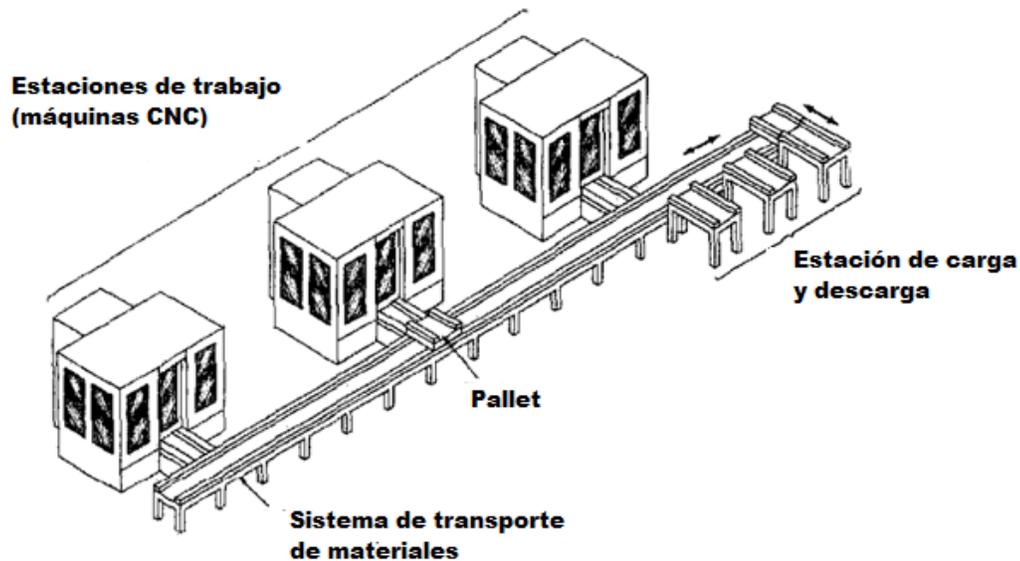


Figura 5. Ejemplo de una celda de manufactura flexible. [1]

❖ Sistema de Manufactura Flexible

Tiene cuatro o más estaciones de trabajo, conectadas mecánicamente por un sistema de manejo común y, electrónicamente, por un sistema computarizado distribuido.

Como se observa en la figura 6, los tres sistemas cuentan con cierto nivel de flexibilidad. La diferencia esencial radica en el número de máquinas con la que cuenta cada sistema, es decir, a mayor número de máquinas aumenta la flexibilidad del sistema, la producción y el costo.

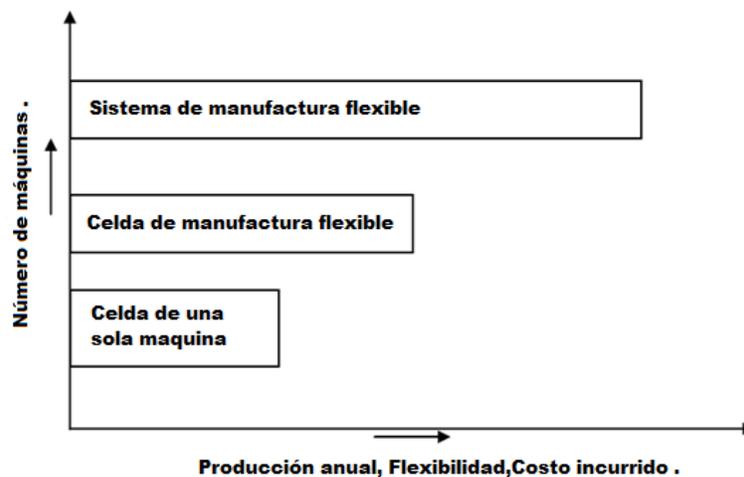


Figura 6. Comparación de las tres categorías de manufactura flexible. [6]



1.4. COMPONENTES BASICOS DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Existen tres componentes básicos que integran a un sistema de manufactura flexible, los cuales son:

❖ Estaciones de trabajo

Generalmente las aplicaciones donde se encuentran las estaciones de trabajo es en las máquinas de Control Número CNC, sin embargo existen otras aplicaciones donde se pueden implementar estaciones como las siguientes:

- Estaciones de carga y descarga
- Centros de maquinado
- Estaciones de ensamblado
- Estaciones de inspección
- Estaciones de forja
- Estaciones de procesos de laminado

❖ Sistema automatizado de manejo de materiales y almacenamiento

Los diferentes tipos de sistemas de manejo de material, usados para transferir piezas de partes entre estaciones, incluyen una gran variedad de equipo de transporte, mecanismos de transferencia en línea, y robots industriales.

El manejo de material en los sistemas de manufactura flexible, se puede dividir en dos categorías:

- Sistemas de manejo primario.
Establece la disposición del SMF, y es responsable de mover las piezas de trabajo entre las estaciones de trabajo.
- Sistemas de manejo secundario.
La función de los sistemas de manejo de material secundario, es transferir las piezas de trabajo del sistema primario a las máquinas de control número o, en su defecto, a otra estación de procesamiento o estación de ensamblado. Generalmente los sistemas secundarios se integran por robots industriales



❖ Sistema de control computacional

Este sistema se usa para coordinar las actividades del procesamiento de estaciones, y del sistema de manejo de materiales dentro del sistema de manufactura flexible.

Un sistema computacional de manufactura flexible, contiene una computadora central y microcomputadoras, que controlan maquinas individuales y otros componentes. Las funciones de la computadora central son las siguientes:

- Control de cada estación de trabajo
- Distribución del control de instrucciones para la estaciones de trabajo.
- Control de producción
- Trafico de producción
- Control del sistema de manejo de piezas y monitoreo
- Monitoreo y reporte del desempeño del sistema. [7]

1.5. CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE

El sistema de manejo de materiales establece la configuración del sistema de manufactura flexible, estas configuraciones pueden ser divididas en cinco categorías.

❖ Disposición en línea

En esta disposición las máquinas y los sistemas de manejo son ordenados en una línea recta; las piezas avanzan de una estación de trabajo a otra en una secuencia definida, como se muestra en la figura 7.

Existen dos disposiciones, la primera con una secuencia de flujo sin retorno, donde las piezas trabajadas no regresan a procesos anteriores; en la segunda disposición en línea, se cuenta con un sistema secundario de manejo de partes en cada estación, para facilitar el flujo de piezas en dos direcciones.

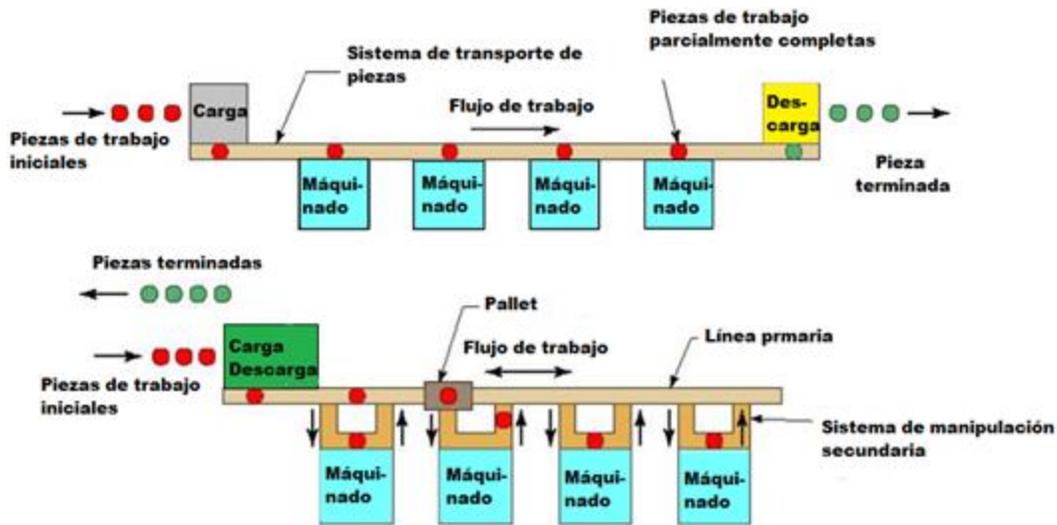


Figura 7. Disposición en Línea. [1]

❖ Disposición de bucle

Las estaciones de trabajo están organizadas en una disposición circular o rectangular, generando un bucle. El sistema de transporte gira en un solo sentido, y cada estación de trabajo cuenta con una sistema secundario de manejo de piezas para la carga y descarga de material. Un ejemplo de esta disposición se encuentra en la figura 8.

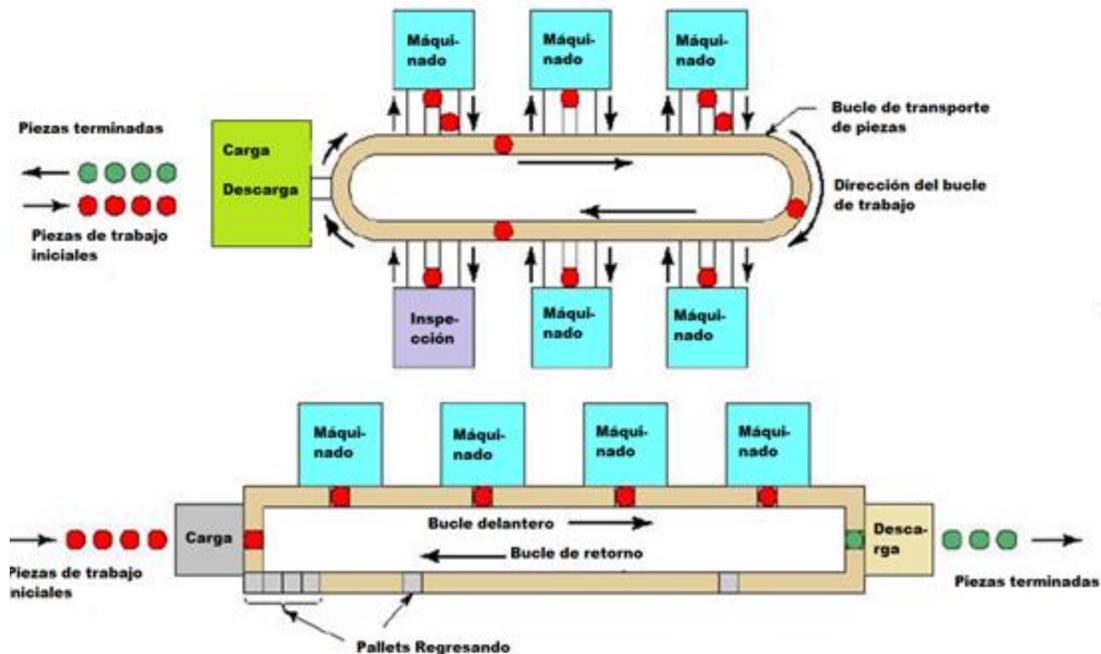


Figura 8. Disposición en bucle. [1]

❖ Disposición de escalera

Consta de un diseño de bucle con peldaños entre las secciones rectas, donde las estaciones de trabajo se encuentran al centro de cada sección. La ventaja de esta disposición, es que los peldaños incrementan las posibilidades de llevar una pieza de una estación de trabajo a otra, reduciendo los tiempos de transporte. Un ejemplo de esta disposición se muestra en la figura 9.

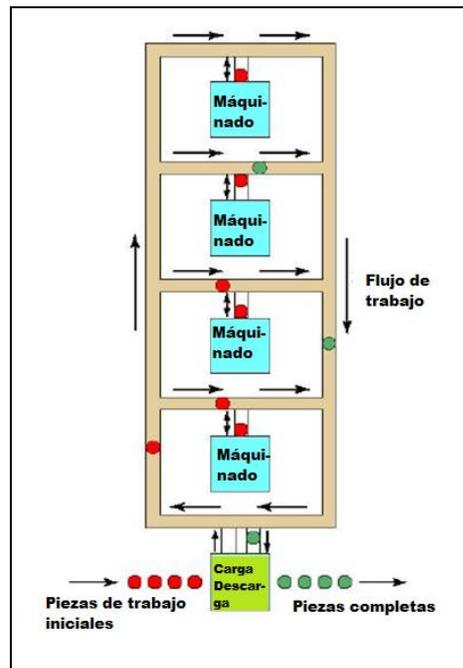


Figura 9. Disposición en escalera. [1]

❖ Disposición de campo abierto

Esta disposición consiste en múltiples bucles y escaleras, y puede incluir apartaderos. En la figura 10, se muestra un ejemplo de la configuración; esta disposición es apropiada para procesar una gran familia de piezas.

El número de máquinas diferentes puede estar limitado, y las piezas están enrutadas con las diferentes estaciones de trabajo, dependiendo de cuál se habilita primero.

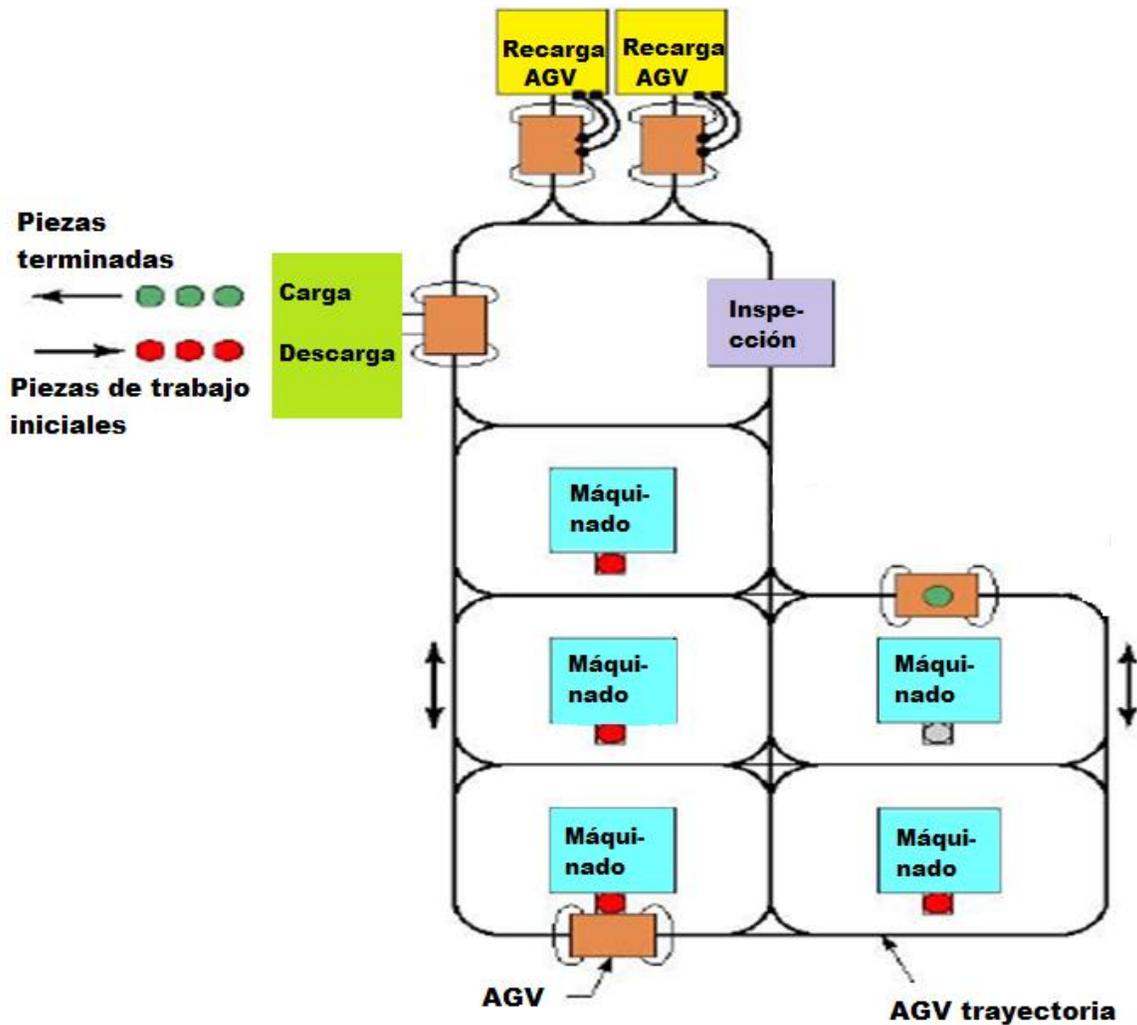


Figura 10. Disposición de campo abierto. [1]

❖ Disposición con robot al centro

Esta disposición utiliza uno o más robots para manipular las piezas del sistema. Los robots industriales, pueden ser equipados con pinzas que los adaptan para ser capaces de manipular diferentes formas de piezas. Dicha disposición se usa para procesar piezas cilíndricas o con forma de disco.

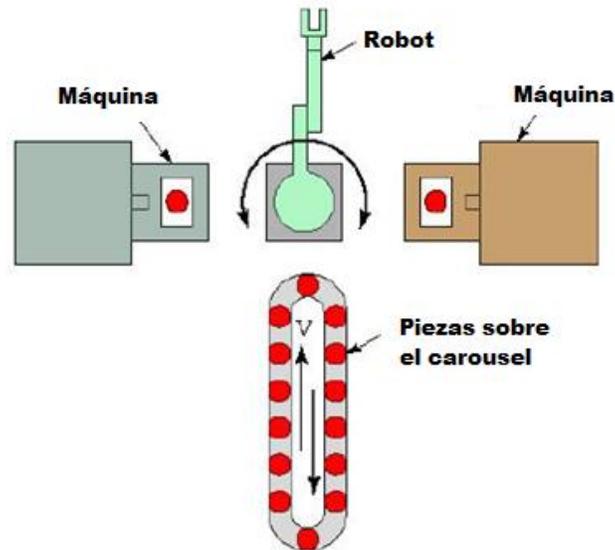


Figura 11. Comparación de las tres categorías de manufactura flexible. [1]

1.6. BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE

❖ Beneficios de los SMF

Desde el punto de vista de la eficiencia de los procesos de producción, los SMF otorgan algunas de las ventajas siguientes:

- Gran variedad de productos homogéneos
Los sistemas de manufactura flexible permiten manufacturar diversos productos siempre y cuando sean del mismo tipo.
- Inversión rentable
Si bien el costo de las máquinas y el equipo para implementar un SMF es alto, el sistema optimiza el uso de las máquinas y el material.
- Poca mano de obra
La mayor parte de los procesos en SMF son automatizados, por lo que solo en algunos casos, como manejo de material de carga o descarga al almacén; calibración de manipuladores industriales, o monitoreo de los procesos, es necesaria la intervención del hombre, por lo que no se necesitan operadores en cada estación de trabajo.
- Rapidez en la producción



Los SMF son un sinónimo de rapidez ya que las piezas manufacturadas son cargadas, descargadas, y transportadas por robots industriales, además del mismo sistema de manejo de materiales.

- Mejora la calidad del producto
Por ser un sistema automatizado, los SMF producen piezas con una mayor calidad, comparadas con máquinas no automatizadas como tornos y fresas.

Un ejemplo de los beneficios de los sistemas de manufactura puede ser el ahorro que ha experimentado la empresa Ford.

La compañía ha invertido 4.4 millones en reformar su planta en Torrence Avenue Chicago, que le permitió aumentar su capacidad de fabricación flexible, y así pudo agregar la fabricación de nuevos modelos, en tan sólo dos semanas, en lugar de dos meses o más. [8]

❖ Limitantes de los SMF

Si bien los SMF cuentan con una gran un número de beneficios, también tienen algunas limitaciones entre las que se encuentran las siguientes:

- Variedad restringida de piezas
Este sistema sólo puede manejar un rango relativamente estrecho de variedades de componentes, por lo que debe ser utilizado para piezas similares o familia de partes.
- Diseño de producción
Debido a la complejidad y el costo, los SMF requieren de un periodo de planificación y desarrollo, ya que si no se realizan, el sistema no será rentable.
- Inversión alta
Los sistemas de manufactura flexible, demandan equipos necesarios para su implementación que requieren de fuertes inversiones.
- Técnicos altamente calificados
Se requieren técnicos altamente calificados para operar y mantener el SMF en óptimas condiciones.



1.7 DESARROLLO A FUTURO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE MANUFACTURA

❖ Fábricas digitales.

Una tendencia en el futuro de la manufactura está ligada al extraordinario avance en las tecnologías de comunicación, operación e información. Las tecnologías digitales revolucionan todos los aspectos en las empresas manufactureras, y se puede afirmar que la fábrica del futuro será digital.

En el futuro cercano, la competitividad en la industria manufacturera no sólo promoverá múltiples mejoras en la productividad y en los costos de producción, sino que incrementará la agilidad y capacidad de respuesta de los procesos industriales.

En las fábricas digitales, las máquinas inteligentes colaborarán unas con otras; el flujo de material será visible en tiempo real a través de análisis inteligentes, y grupos de trabajadores capacitados estarán al frente de todos los procesos.

La fábrica digital comprenderá todos los aspectos de la fabricación, desde las operaciones de planta hasta el suministro y envío de productos, seguimiento virtual de los bienes de capital, y el monitoreo continuo de los procesos y recursos a lo largo de toda la vida del producto.

Con la aparición de nuevas y mejores tecnologías, que van desde la manufactura aditiva hasta los nuevos protocolos de colaboración de robots, y la mejora en análisis de datos, se presentarán cambios dramáticos en los procesos de producción de las fábricas.

Aunque la fábrica del futuro incorpore tecnologías de la información, sus procesos no serán totalmente automatizados, ya que será necesaria la incorporación de personal en el centro de la fábrica automatizada, que proporcionaran el grado de flexibilidad y la toma de decisiones necesarias, para tratar con los requerimientos de los clientes. [9]

La figura 12, muestra las tres instancias que se desarrollan en las fábricas digitales, donde se involucra al personal humano, las tecnologías de la información, la robótica y la automatización.



Figura 12. División de las fábricas digitales. [9]

Una modelo de producción que forma parte de las Fábricas digitales son las FOF (Fábricas del futuro de sus siglas en ingles). Esta tecnología toma sus bases de la tecnología CIM.

Las FOF han sido descritas como “sin gente, sin papel” y fabricas obscuras”, donde el trabajo puede ser ejecutado enteramente por maquinas sofisticadas, las cuales no requieren operar con luz [10].

Desde el año 2014, la Unión Europea en conjunción con industrias privadas, puso en marcha un plan para el desarrollo de tecnología para fabricas FOF, invirtiendo 1.5 billones de euros hasta el año 2020.

Algunos de los objetivos de estas empresas son los siguientes:

- ❖ Desarrollar procesos de fabricación de alta tecnología, incluyendo impresión 3D, nano-micro manufactura.
- ❖ Desarrollo de equipo de fabricación inteligente, mediante la integración de sistemas mecatrónica, robótica y fotónica.
- ❖ Diseño de manejo de recursos, mediante fábricas eficientes así como gestión de datos para un mayor rendimiento de la producción.

LEVANTAMIENTO

2.1 SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

El laboratorio de manufactura avanzada del Departamento de Manufactura y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuenta con un sistema de manufactura flexible, adquirido en los años 80, enfocado a la enseñanza de logística y programación de los sistemas CIM.

Como ya se mencionó anteriormente, el SMF no ha funcionado correctamente durante los últimos años, ya que no contaba con un sistema de comunicación que enlazara las diferentes estaciones de trabajo, con la computadora central del sistema, y sólo funcionaban algunos subsistemas de la celda en forma independiente.

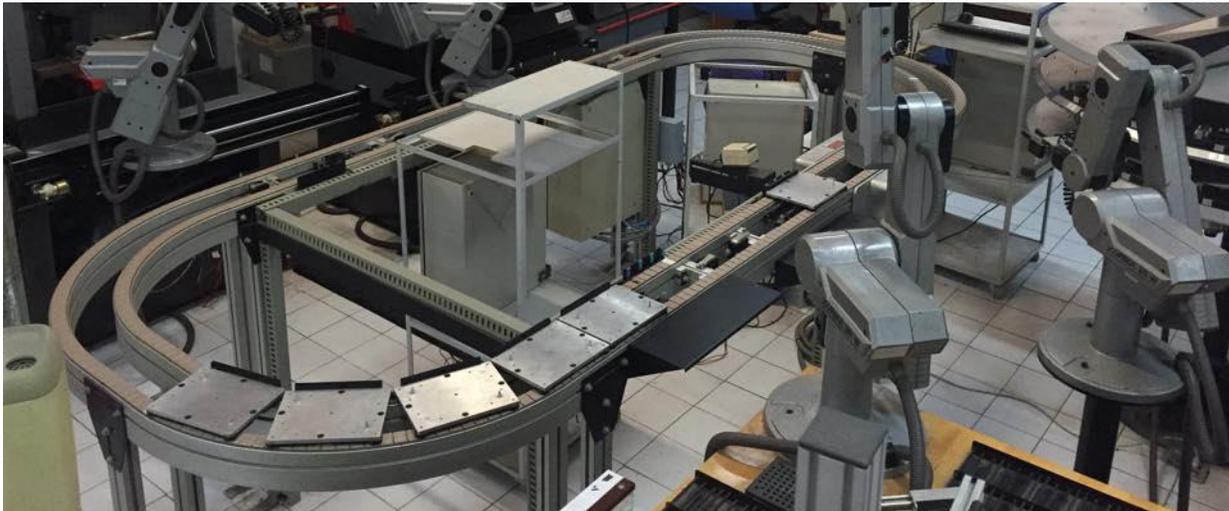


Figura 13. Sistema de manufactura flexible de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

El SMF fue vendido a la UNAM por la empresa ESHED ROBOTEC. El modelo del sistema es el ER-CIM. La empresa actualmente ya no existe, por lo que darle mantenimiento al sistema resultó una tarea difícil.

2.2 COMPONENTES Y DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

EL Sistema de manufactura flexible ER-CIM, del Laboratorio de Manufactura Avanzada, tiene una configuración circular de bucle y las estaciones de trabajo están distribuidas como se muestra en la figura 14.

CONFIGURACIÓN SMF

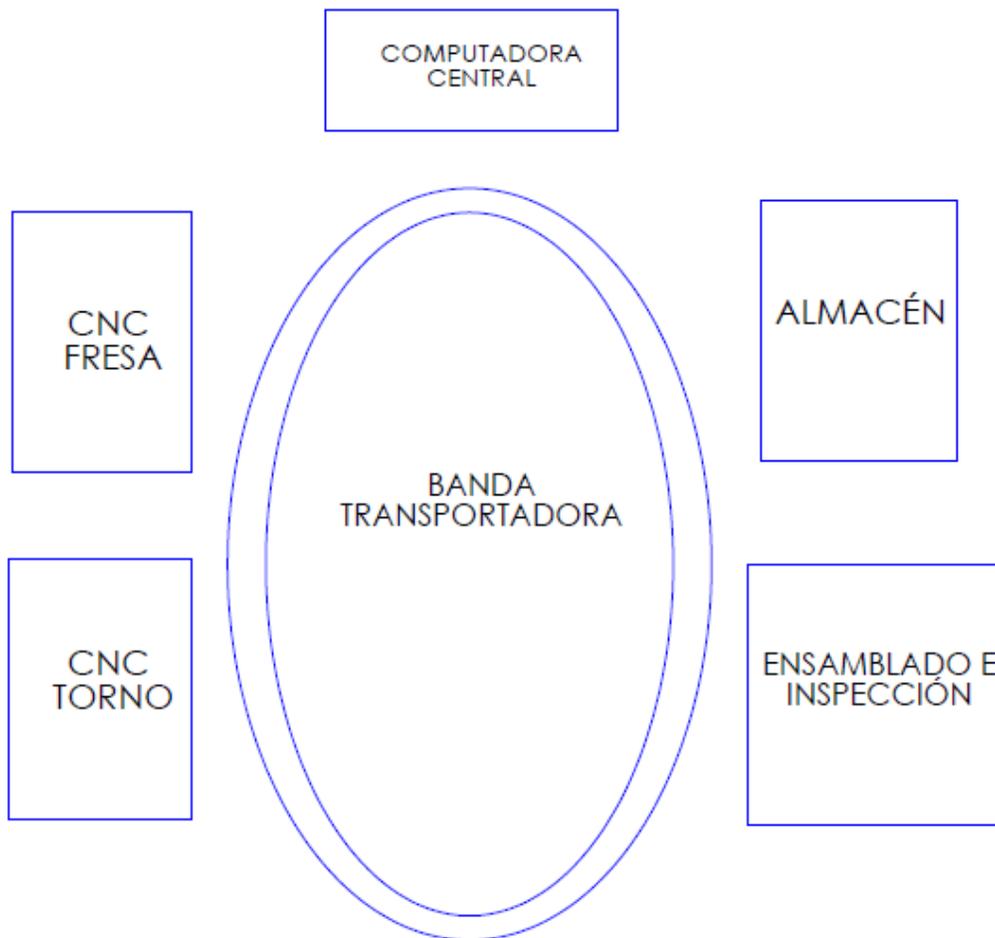


Figura 14. Distribución del sistema de manufactura flexible de la UNAM.



El SMF cuenta con cuatro estaciones de trabajo fijas, dispuestas alrededor del sistema de manejo de materiales principal (banda transportadora); todo el sistema se monitorea y controla por la computadora central CIM.

Al momento de su adquisición, los elementos con los que contaba cada estación de maquinado del SMF ER-CIM, eran los siguientes:

- ❖ Controlador ACL
Se encarga de la operación de la estación, controla el robot y dispositivos periféricos, como base deslizante y mesa rotatoria.
- ❖ Una PC
Funciona como interfaz con el usuario y para la programación del Controlador ACL.
- ❖ Una máquina CNC
Ejecuta una operación en el ciclo de producción, tal como, estación de ensamblado, almacén, etc.
- ❖ Un robot SCORBOT ER-VII
Que forma parte del sistema secundario de manejo de materiales.

Al realizar el levantamiento del SMF se encontró al sistema de la siguiente manera:

- ❖ Sistema de manejo de materiales
 - ✓ Banda transportadora, funcionando
 - ✓ Sensores de parada de estación, funcionando
 - ✓ PC, funcionando
- ❖ Almacén
 - ✓ Controlador ACL, sin funcionar
 - ✓ PC no integrada
 - ✓ Mesa giratoria sin funcionar
 - ✓ Robot SCORBOT ER-VII funcionando
- ❖ Estación de Ensamblado e inspección
 - ✓ Controlador ACL, sin funcionar
 - ✓ PC no integrada
 - ✓ Robot SCORBOT ER-VII sin funcionar
 - ✓ Sistema de visión sin funcionar
- ❖ Estación de Maquinado CNC Fresa:
 - ✓ Controlador ACL, funcionando
 - ✓ CNC VMC-100, funcionando



- ✓ Robot SCORBOT ER-VII funcionando
- ✓ PC no integrada

- ❖ Estación de Maquinado CNC Torno
 - ✓ Controlador ACL, sin funcionar
 - ✓ CNC TOP-TURN-120, sin funcionar
 - ✓ Robot SCORBOT ER-VII sin funcionar
 - ✓ PC no integrada

Debido a diferentes factores que ya se mencionaron, el SMF no cuenta con todos sus subsistemas en funcionamiento, por lo que se adquirieron los siguientes equipos para su reintegración:

- Cuatro PLC MASTERK 120S.
- Interfaz Humano Máquina LS-XP90.

Estos dispositivos se adquirieron a mediados de la década del dos mil, sin embargo, cuando se efectuó el levantamiento del sistema, no se encontró más que un PLC conectado al sistema de almacenamiento, pero sin ningún programa en la memoria que integrara al sistema.

2.3 TEMPLATES

Los templates son bandejas de plástico, cuyo objetivo es sujetar las piezas de trabajo y facilitar el manejo de material a cargo del robot. Un template contiene una matriz de orificios, en cual se introducen sujetadores (pins) para fijar las dimensiones de las piezas a transportar.

Cada arreglo de sujetadores define un tipo de template único, y cada pieza por definición, solamente puede sujetarla el template que se le ha asignado.

El manejo de los templates permite ser alcanzado por el robot, desde arriba o desde el frente. [11]

Cuando un robot quita un template desde la banda transportadora, lo coloca primero sobre un almacén (buffer), como se muestra en la figura 15

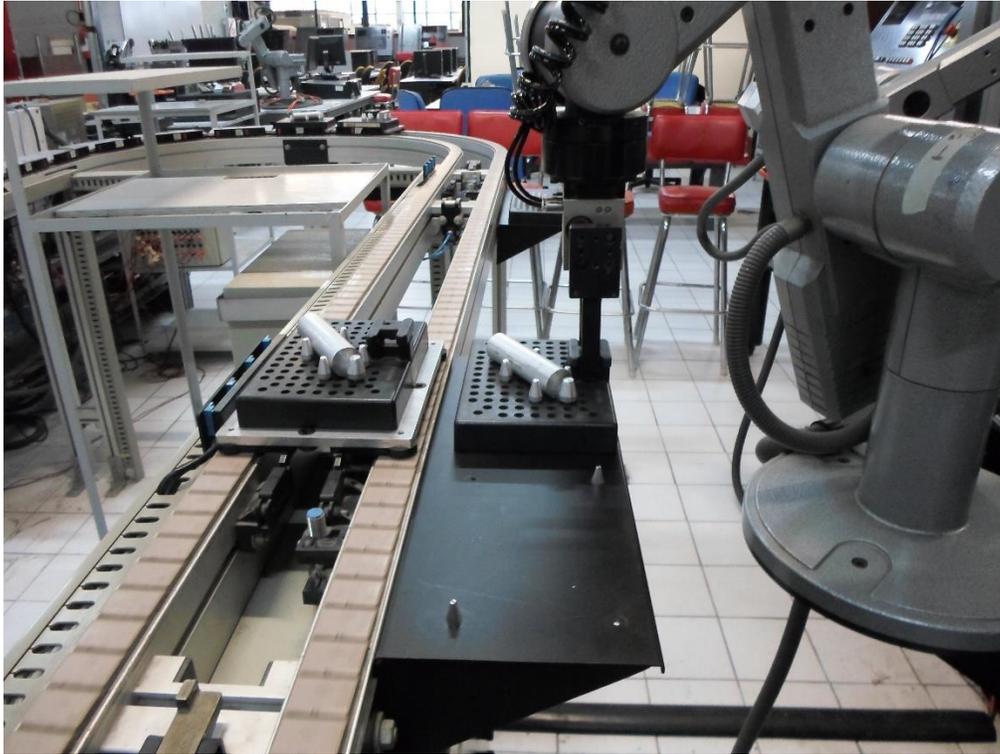


Figura 15. Templates manejados por el robot SCORBOT ER-VII.

El robot puede entonces remover la pieza desde el template, y tomar esta para ingresarla al proceso deseado, como puede ser maquinado, inspección, etc.

Cada estación dispone de dos almacenes (buffers) de templates. [11]

2.4 BANDA TRANSPORTADORA

El SMF cuenta con una banda transportadora, en disposición de bucle circular, formando parte del sistema de manejo primario de materiales.

Para realizar el transporte de una pieza de una estación a otra, el template que transporta la pieza es colocado por el robot sobre un pallet; cabe mencionar que cada pallet contiene un identificador en la cara lateral, el cual es leído por sensores magnéticos.

La banda transportadora envía los pallets de estación a estación. Como se muestra en la figura 16, cada estación de trabajo colocada alrededor de la banda transportadora, cuenta con un sistema de sensores y electroválvulas. La finalidad de este subsistema, es mantener el pallet sobre la banda para cargar o descargar piezas a cada estación de trabajo.

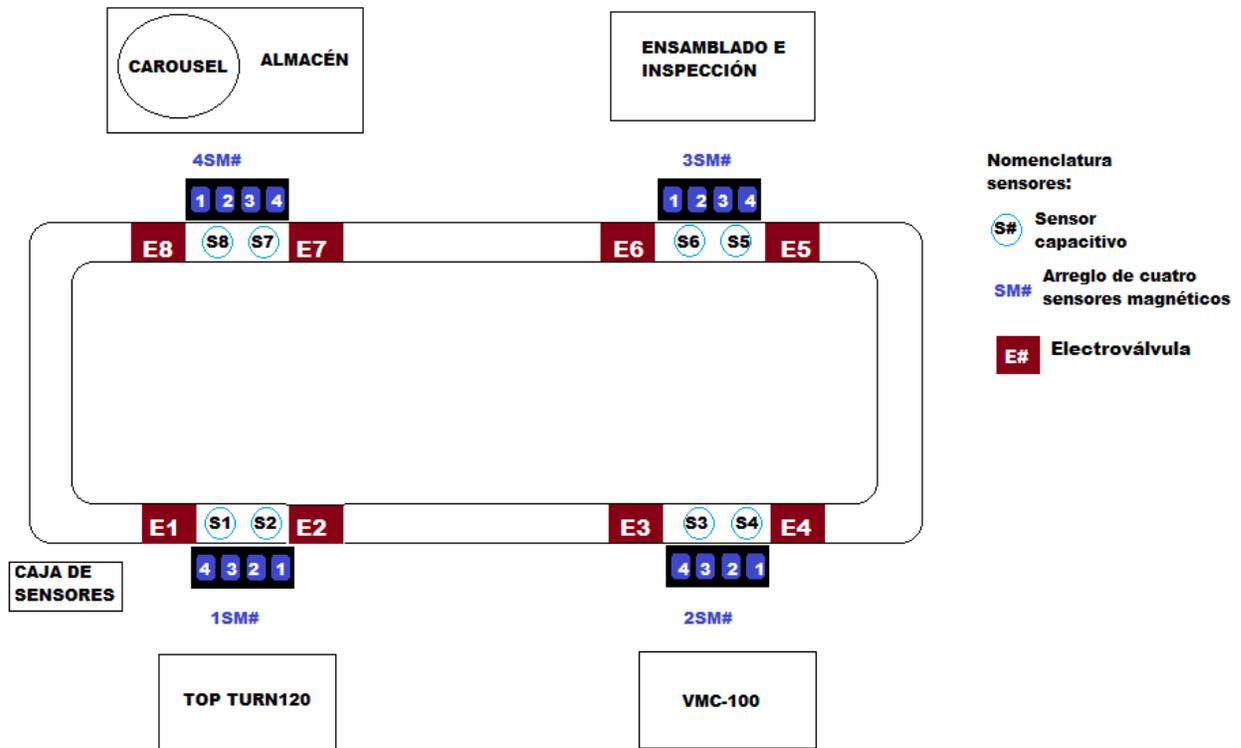


Figura 16. Sensores del SMF.

Como se muestra en la figura 17, cada estación de trabajo dispuesta sobre la banda transportadora cuenta con los siguientes elementos:

- ❖ Dos topes neumáticos
Están controlados por electroválvulas, encargadas de mantener el pallet en la estación y no dejar a pasar a otros, mientras se cargan o descargan piezas al buffer.
- ❖ Cuatro sensores magnéticos
Son encargados de leer el número de pallet que se procesa en la computadora CIM, con la finalidad de saber si el pallet lleva un template vacío o va con una pieza.

- ❖ Dos sensores capacitivos
Responsables de activar las electroválvulas cuando el pallet es detectado.

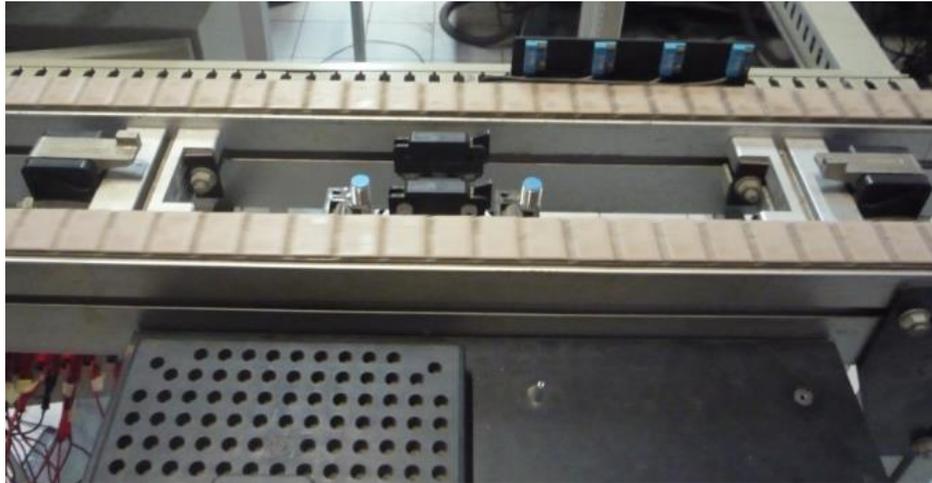


Figura 17. Sistema de sensores y electroválvula del SMF.



Figura 18. Pallets sobre la banda transportadora.

2.5 ROBOT SCORBOT-ER VII

Como ya se mencionó anteriormente, los robots que utiliza el SMF, fueron diseñados para la enseñanza académica, por lo que cuentan con algunos errores de precisión mecánica.

Estos robots fueron comprados a la empresa ESHED ROBOTEC.



Figura 19. Robot SCORBOT ER-VII del Laboratorio de Manufactura Avanzada.

Los robots forman parte del sistema secundario de manejo de materiales, ya que su objetivo es tomar los pallets de la banda giratoria, para después cargarlos o descargarlos a la estación de trabajo.

El robot SCORBOT ER-VII es un robot vertical articulado, con cinco grados de libertad, y con una pinza mecánica que cuenta con 6 grados de libertad.

Este diseño del robot le permite al efector final, estar posicionado y orientado arbitrariamente sin usar un gran espacio de trabajo.

La tabla 1 y la figura 20 muestran las articulaciones y las juntas del robot SCORBOT ER-VII.

Tabla 1. Movimiento de las articulaciones. [12]

No de eje	Nombre de la articulación	Movimiento	Motor No.
1	Base	Rota el cuerpo	1
2	Hombro(elbow)	Sube y baja el brazo superior	2
3	Codo(shoulder)	Sube y baja el antebrazo	3
4	Juego de muñeca(pitch)	Sube y baja el efector final	4
5	Rotación de muñeca (roll)	Rota el efector final	5

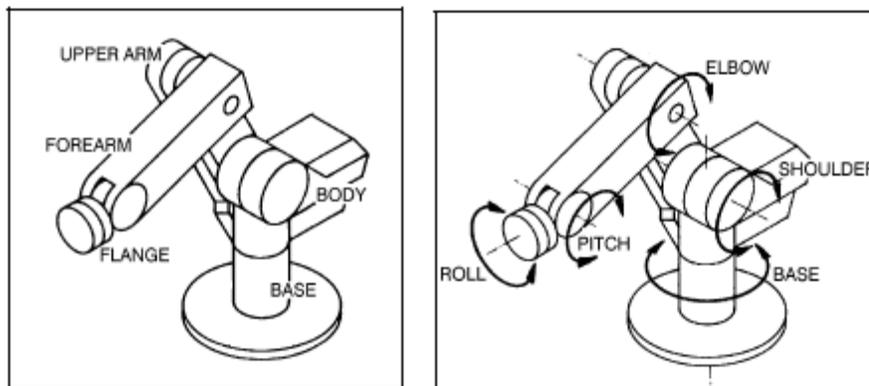


Figura 20. Partes del Robot SCORBOT-ER VII. [12]

El largo de los enlaces y de los grados de rotación de las juntas, determina el espacio de trabajo del robot.

La figura 21 muestra las dimensiones del espacio máximo de trabajo que puede alcanzar el robot SCORBOT-ER VII.

La base del robot normalmente se fija a una superficie estática, sin embargo puede estar unida a una base deslizante.

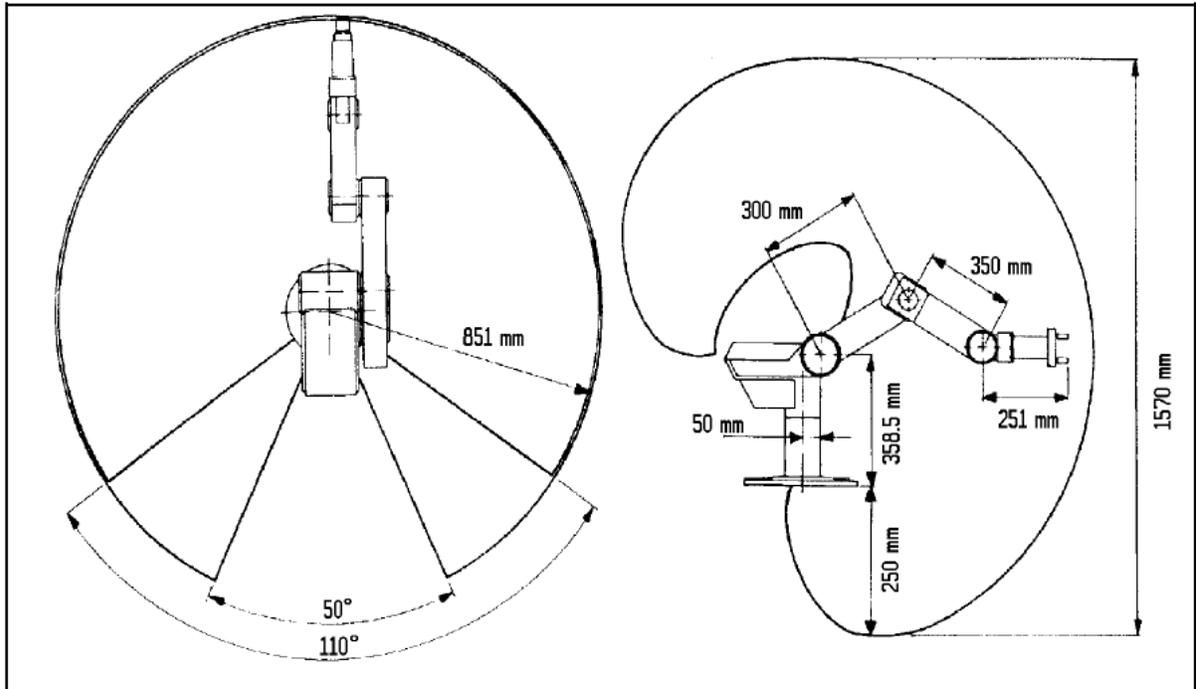


Figura 21. Dimensiones del Robot SCORBOT ER-VII. [12]

2.6 CONTROLADOR ACL

El Controlador ACL, se encarga de intervenir todas las funciones del robot SCORBOT ER-VII, y de diferentes periféricos independientes de los robots, como es el caso de mesas giratorias Carrusel (almacén) y bases deslizantes.

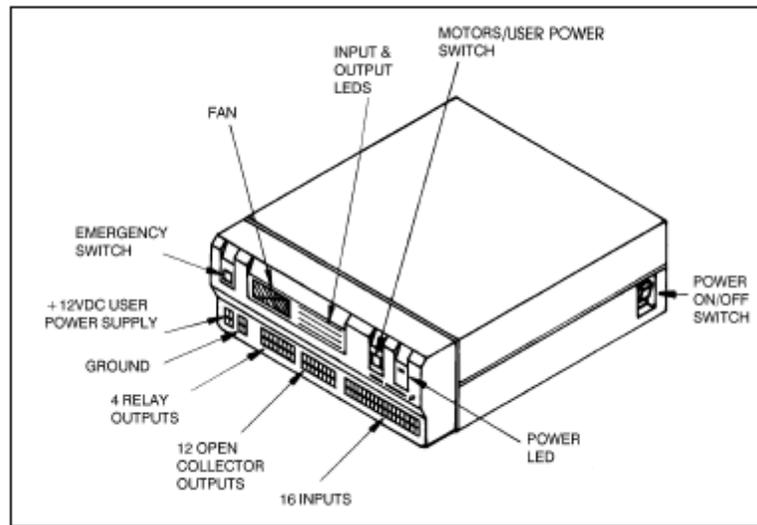


Figura 22. CONTROLADOR ACL. [12]

Cabe mencionar que el Controlador ACL, cuenta con cuatro relevadores internos y doce salidas a 12 volts, así como dieciséis entradas a 12 volts; esto permite conectar diferentes dispositivos como son PLC's, lámparas, electroválvulas.

Análogamente, se podría comparar con un microcontrolador, ya que es capaz de ejecutar las órdenes y programas en su memoria, y así activar o leer entradas y salidas.



Figura 23. Controlador ACL del laboratorio de manufactura avanzada.



Algunas de las características más importantes del Controlador ACL, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características del controlador ACL. [12]

Detalle	Controlador ACL especificación	Notas
Tipo de control	Tiempo real Multitarea Autónomo PID(proporcional, integral, diferencial) Pwm (modulación de ancho de pulso)	PC o terminal necesaria para comunicarse con el controlador solo cuando se programa
Control de movimiento	PTP (punto a punto) CP (trayectoria continua) Lineal Circular Ejes	El ciclo de control se analiza cada 10ms, para la aceleración y desaceleración.
Control de trayectorias	Paraboloide Trapezoide	
Control de velocidad	Control de velocidad en el trayecto	Velocidad programable en porcentaje
EEPROM	384Kb	
RAM	Sistema: 64Kb Usuario: 128Kb	
Sistema de coordenadas	Coordenadas XYZ Coordenadas de ejes(encoder)	

El controlador ACL tiene integrado un lenguaje y entorno de programación de robótica avanzado llamado ACL (Lenguaje de Control Avanzado por sus siglas en ingles), desarrollado por la empresa ESHED ROBOTEC en 1982.

El ACL está almacenado en memorias EPROM dentro del controlador ACL y se puede acceder a él con cualquier PC estándar o terminal, por medio de una línea RS232.

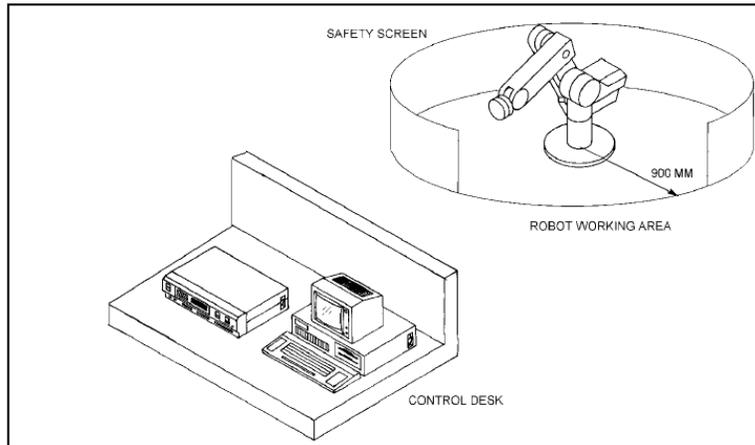


Figura 24 Disposición recomendable del Controlador ACL. [12]

Para programar el Controlador ACL que maneja y realiza el control del robot, se utiliza el software ATS (Software para terminal avanzado por sus siglas en inglés). Es una interfaz de usuario para programar en el lenguaje del Controlador ACL.

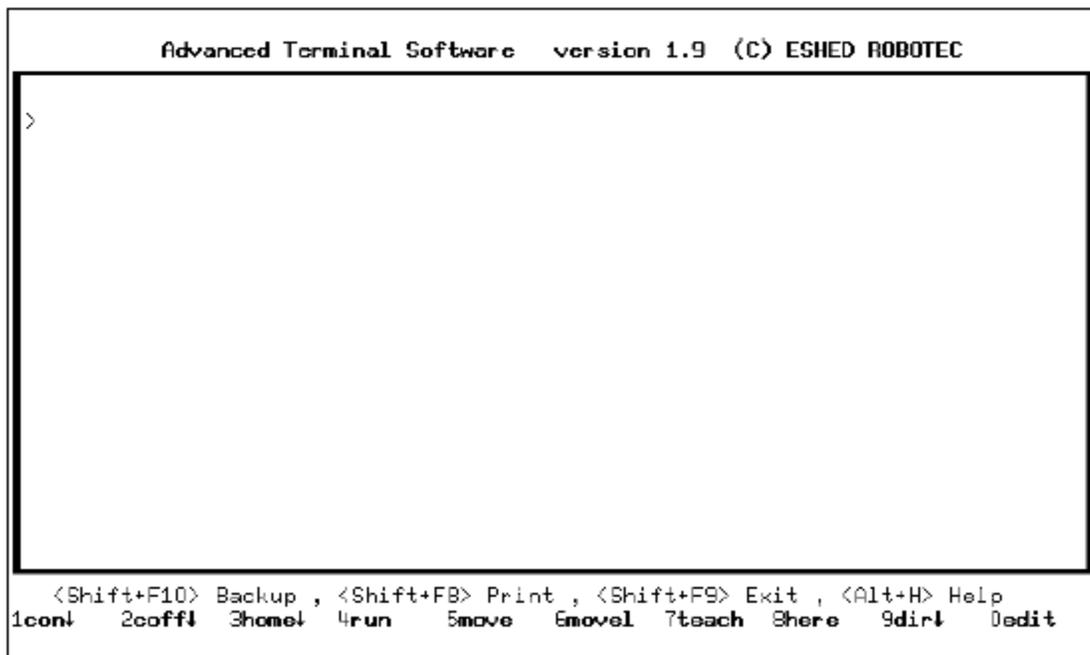


Figura 25. Interfaz de usuario ATS. [12]

2.7 Estación de almacenamiento

El sistema de manufactura flexible, cuenta con una mesa giratoria llamada Carrusel con tres plataformas y 18 posiciones para manejo de plantillas, en los dos primeros pisos de abajo hacia arriba, como se muestra en la figura 26.

La mesa giratoria forma parte del sistema de almacenamiento, y cuenta con un robot para la carga y descarga de plantillas al sistema; fue diseñado por la empresa ESHED ROBOTEC y es un sistema ASRS (Almacenamiento Automatizado y Sistema de Recuperación por sus siglas en inglés).

La mesa y el robot se controlan con el Controlador ACL; la mesa es un dispositivo periférico, y se puede realizar el control de posiciones con el mismo controlador que el robot.



Figura 26. Estación de almacenamiento.

2.8 PLC MASTERK-120s

El sistema de manufactura flexible, cuenta con cuatro PLC´s de la compañía LS INDUSTRIAL SYSTEMS.



Figura 27. PLC masterk-120s. [14]

Los PLC´s con los que cuenta el Laboratorio de Manufactura Avanzada, son de la serie Masterk-120s, modelo K7M-DR30U y presenta las siguientes características mostradas en la tabla 3 y 4.

Tabla 3. Características PLC Masterk-120s. [14]

Características	Especificaciones
Método de operación	<ul style="list-style-type: none">❖ Ejecución del programa almacenado cíclico❖ Manejo de interrupción por tiempo❖ Manejo de interrupción de proceso
Método de programación	<ul style="list-style-type: none">❖ Programación de escalera❖ Lista de instrucciones
Velocidad de procesamiento	4us/posición
Capacidad de memoria	2k posiciones
Puntos de entradas	18
Puntos de salidas	12

Tabla 4. Relevadores internos PLC Masterk-120s. [14]

Área de Datos	P	P000-P63F	I/O Relé
	M	M000-M191F	Relé auxiliar
	K	K000-K31F	Relé de conservación
	L	L000-L63F	Relé de enlacé
	F	F000-F63F	Relé especial
	T	T00-T191(100ms) T192-T259(10ms) T251-T255(5us)	Temporizador
	C	C000-C255	Contador
	S	S00.00-S99.99	Controlador de secuencia
	D	D000-D4999	Registro de datos

Este modelo es el único de su serie que, además de contar con una comunicación RS-232, cuenta con un protocolo RS-485, que es una comunicación multipunto, capaz de enlazar más de dos dispositivos PLC.

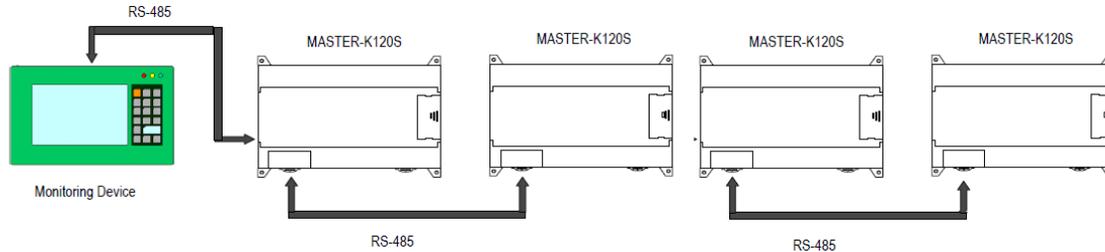


Figura 28. Comunicación RS-485 entre varios PLC. [14]

La programación de los PLC de esta serie, se realiza mediante el software KGLWIN, que permite programar en diagrama de escalera y por lista de instrucciones.

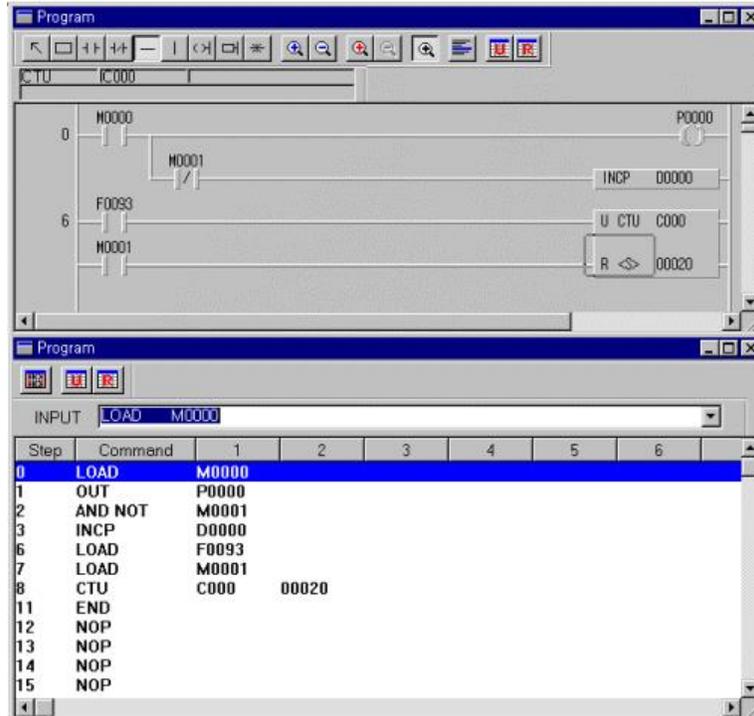


Figura 29, Comparación entre programación de escalera y lista en KGLWIN.

Como se muestra en la figura 30, los PLC's Masterk-120s, del Laboratorio de Manufactura Avanzada, están montados y alambrados sobre una caja de aluminio; estos PLC's fueron comprados a la empresa GUSS & ROCH.



Figura 30, PLC's del laboratorio de manufactura avanzada

2.9 Interfaz humano máquina LS XP90

El sistema de manufactura flexible, cuenta con una pantalla touch de la compañía LS INDUSTRIAL SYSTEM, marca XP90; esta pantalla es un interfaz humano máquina que controla y monitorea los procesos del SMF.



Figura 31. Interfaz humano máquina del laboratorio de manufactura avanzada. La pantalla LS XP90, es la computadora central CIM que provee un control centralizado de la producción SMF, y realiza la comunicación con las estaciones y

el seguimiento de flujo de piezas durante la producción. En la tabla 5 se muestran las capacidades de memoria y procesador.

La figura 32 muestra los diferentes tipos de comunicación que se pueden implementar, para comunicar la pantalla XP90 con diferentes dispositivos.

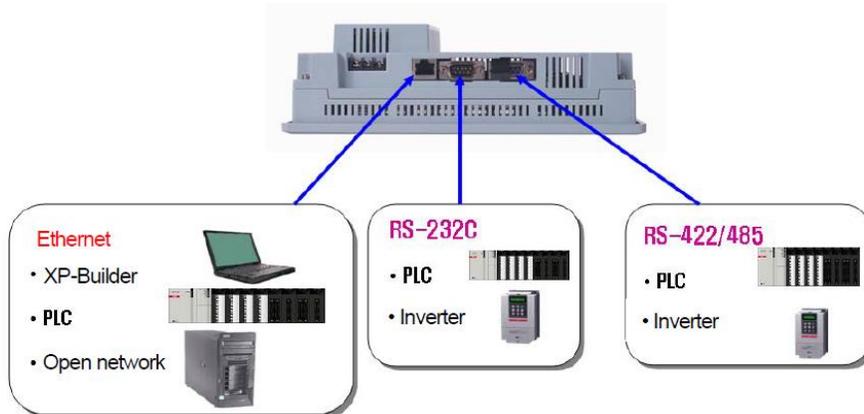


Figura 32. Protocolos de comunicación pantalla LS XP90. [15].

Tabla 5 memoria computadora central CIM.

Procesador	ARM920T(32bit Risc),200MHz
Memoria flash	32 MB
RAM operativa	64 MB
RAM de reserva	512 KB

La pantalla XP90, utiliza el software XP-Builder para programar y transferir programas a la pantalla. XP-Builder. Es un entorno de programación que combina guiones de código "C" figura 33, con un lenguaje de programación orientado a eventos , como se muestra en la figura 34.

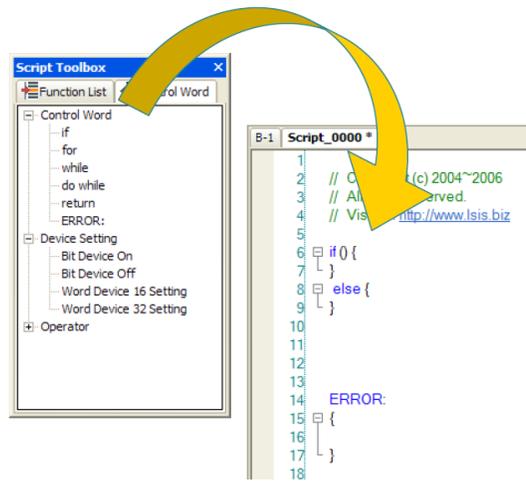


Figura 33. Guiones de lenguaje C XP-BUILDER. [15]

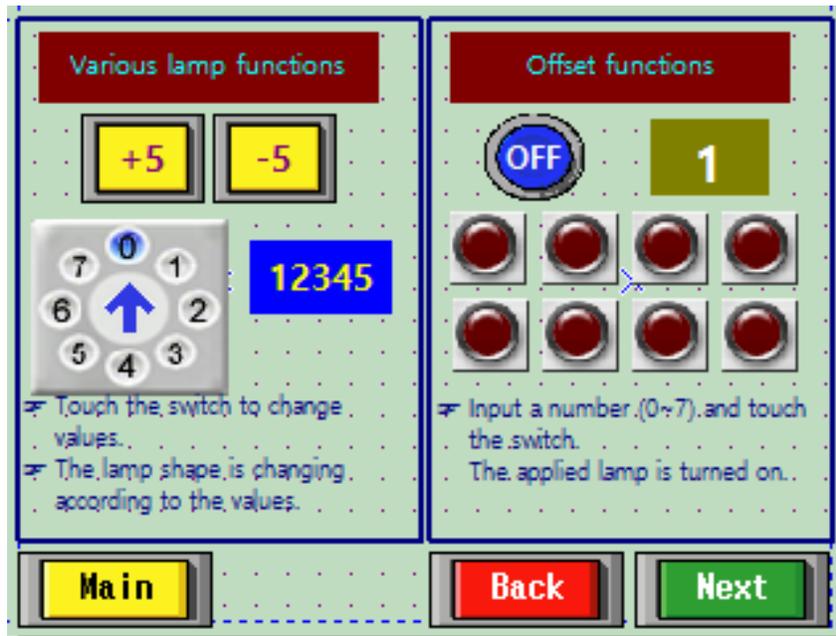


Figura 34. Programación orientada a objetos XP-BUILD. [15]

2.10. EMCO 100

El laboratorio de manufactura avanzada, cuenta con una fresa de control numérico VMC (Centro de Maquinado Vertical por sus siglas en inglés), de la compañía EMCO, modelo 100; la máquina de control numérico forma parte de la estación de trabajo de maquinado.

La estación de trabajo de maquinado por fresa CNC, cuenta con un robot industrial con su base deslizante y su controlador ACL.

Es necesario mencionar que el controlador ACL, también se comunica con la fresa CNC, ya que desde el controlador se pueden gobernar acciones como son:

- Apertura y cierre de puerta
- Apertura y cierre de prensa neumática
- Activación del ciclo de manufactura



Figura 35. Fresa de control numérico del laboratorio de manufactura avanzada

La fresa CNC cuenta con las siguientes propiedades:

- Maquinado en 3 ejes
- Distancia en el eje X de 185mm
- Distancia en el eje Y de 100mm
- Distancia en el eje Z de 200mm

2.11. EMCO 120P

El SMF, cuenta con un torno de control numérico de la compañía EMCO, modelo, 120P; la máquina de control numérico forma parte de la estación de trabajo de maquinado.

Al igual que la estación de maquinada por fresa, el torno se opera con el controlador ACL, desde donde se gobiernan acciones como son:

- Apertura y cierre de puerta
- Apertura y cierre de chuck neumático
- Activación del ciclo de manufactura



Figura 36. Torno de control numérico del laboratorio de manufactura avanzada.

El torno CNC cuenta con las siguientes propiedades:

- Maquinado en 2 ejes.
- Distancia en el eje z de 172 mm.
- Distancia en eje X de 55 mm.
- Piezas de 75 mm de diámetro para el Chuck

Desarrollo

3.1. Propuesta de distribución de los componentes del sistema de manufactura flexible

EL SMF original adquirido a la empresa ESHED ROBOTEC, contaba con cuatro estaciones de trabajo; las estaciones son las siguientes:

- Estación de Almacenamiento
- Estación de Maquinado Fresa
- Estación de Maquinado Torno
- Estación de Ensamblado e Inspección

Para el desarrollo de este trabajo no se incluyó a la estación de ensamblado e inspección, ya que las condiciones de operatividad no son las óptimas, además que el equipo se encuentra incompleto.



Figura 37. Estación de ensamblado e inspección.

La reintegración del SMF se realizó utilizando sólo tres estaciones de trabajo, entre las que se encuentran:

- ❖ Estación de maquinado por torno CNC.
- ❖ Estación de maquinado por fresa CNC.
- ❖ Estación de almacenamiento.

Como se muestra en la figura 38, se realizó una reintegración donde todos los subsistemas del SMF están comunicados con la estación central CIM, con el propósito de que esta gestione los algoritmos de programación, para monitorear y activar procesos dentro de las diferentes estaciones.

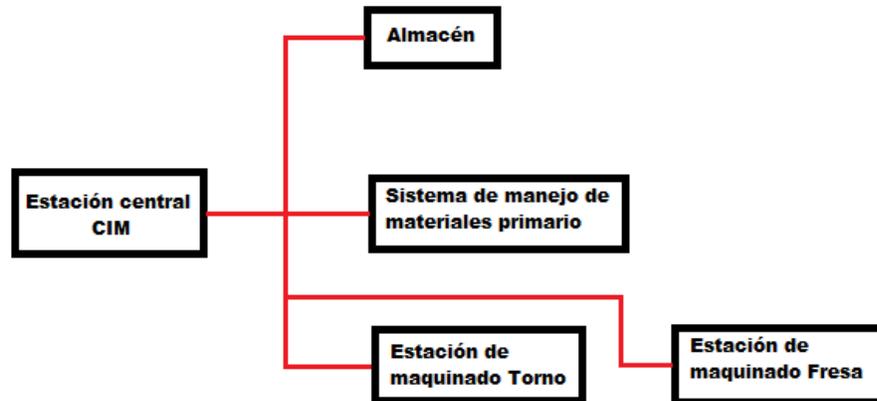


Figura 38. Estaciones del SMF del laboratorio de manufactura flexible.

Debe señalarse que este trabajo de tesis no se enfocó en las dimensiones físicas de los componentes del SMF, sino en la reintegración de los elementos necesarios en cada estación de trabajo, para comunicarlo con la estación central de control y la ejecución de programas.

El SMF se integró con la distribución del equipo adquirido de la siguiente manera:

- ❖ Control central CIM
 - ✓ Interfaz humano maquina LS-XP90
 - ✓ PC de estación

- ❖ Sistema de manejo materiales primario
 - ✓ PLC No. 1
 - ✓ Banda transportadora
 - ✓ Caja de sensores
 - ✓ 16 sensores magnéticos
 - ✓ 8 sensores capacitivos
 - ✓ 6 electroválvulas

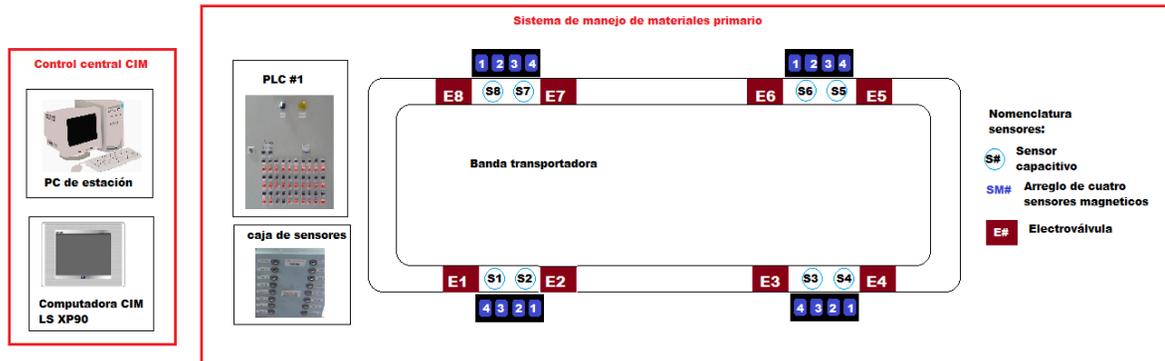


Figura 39. Componentes del sistema de control CIM y sistema de manejo de materiales

- ❖ Estación de almacenamiento
 - ✓ PLC No. 2
 - ✓ Controlador ACL No. 1
 - ✓ Robot SCORBOT-ER VII No.1
 - ✓ Mesa rotatoria , Carrusel (Almacén)



Figura 40. Componentes del sistema de Almacenamiento.

- ❖ Estación de Maquinado Fresa
 - ✓ PLC No. 3
 - ✓ Controlador ACL#2
 - ✓ Robot SCORBOT-ER VII #2
 - ✓ Base deslizante#1
 - ✓ Fresa EMCO 100

- ❖ Estación de Maquinado Torno
 - ✓ PLC No.3
 - ✓ Controlador ACL No. 3
 - ✓ Robot SCORBOT-ER VII No. 2
 - ✓ Base deslizante No. 2
 - ✓ Torno EMCO 120P

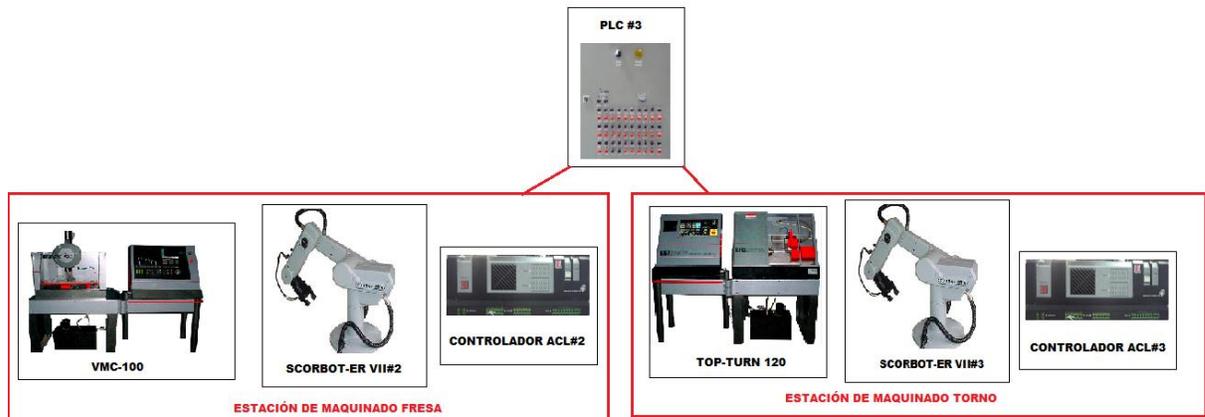


Figura 41. Componentes de la estación de maquinado torno y fresa.

3.2. Estrategias para la reintegración del SMF

Para la reintegración del sistema, se efectuó la reparación de los equipos del SMF y la programación de los dispositivos que la conforman. La figura 42, muestra la serie de pasos realizados para lograr la puesta en marcha del sistema.

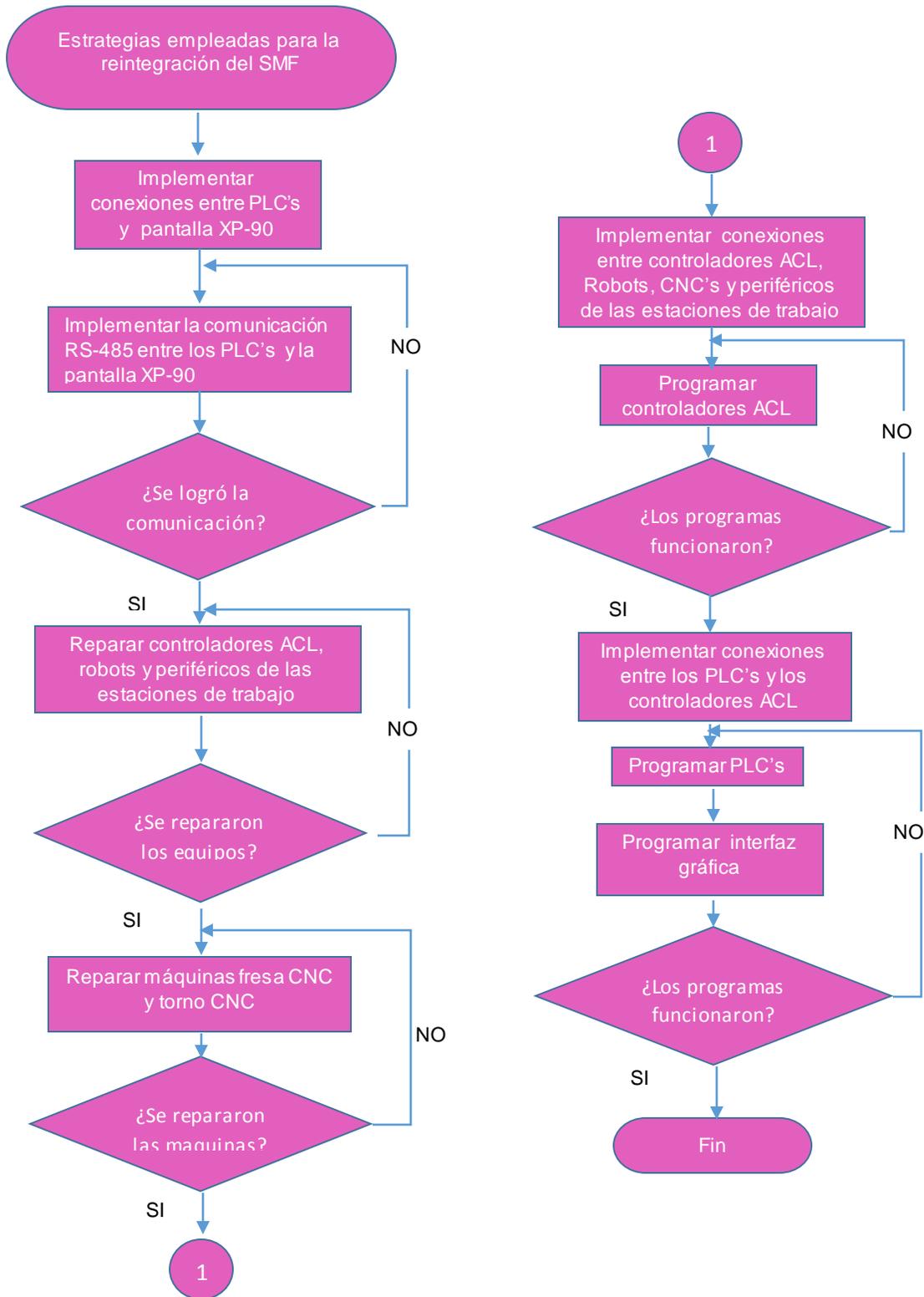


Figura 42. Estrategias realizadas para la reintegración del SMF

3.3. Sistema de comunicación del proyecto

Cuando se realizó el levantamiento del SMF, se encontró que los controladores de los robots no estaban comunicados entre sí, ni los PLC, por lo que no existía un sistema que comunicara e integrara todos los sistemas del SMF. El primer paso que debió realizarse, fue proponer un sistema de conexiones y un protocolo de comunicación entre los distintos PLC's, con la interfaz humano máquina.

La figura 43, muestra la red de PLC's que se realizó, donde todos los subsistemas del SMF están integrados con una red; y la pantalla touch LS XP90, que es una interfaz humano máquina, funciona como la computadora central CIM, que monitorea y gestiona todos los procesos del SMF.

Se propuso una red donde tres PLC's controlaran las diferentes estaciones y sistemas, a través de los relevadores internos que activan la computadora central CIM. Una ventaja de esta configuración, es que se pueden agregar estaciones de trabajo, si se agregan PLC's al sistema. Cada PLC funciona de manera independiente, ya que los dispositivos periféricos que controla, no interfiere con los procesos realizados en otros PLC's.

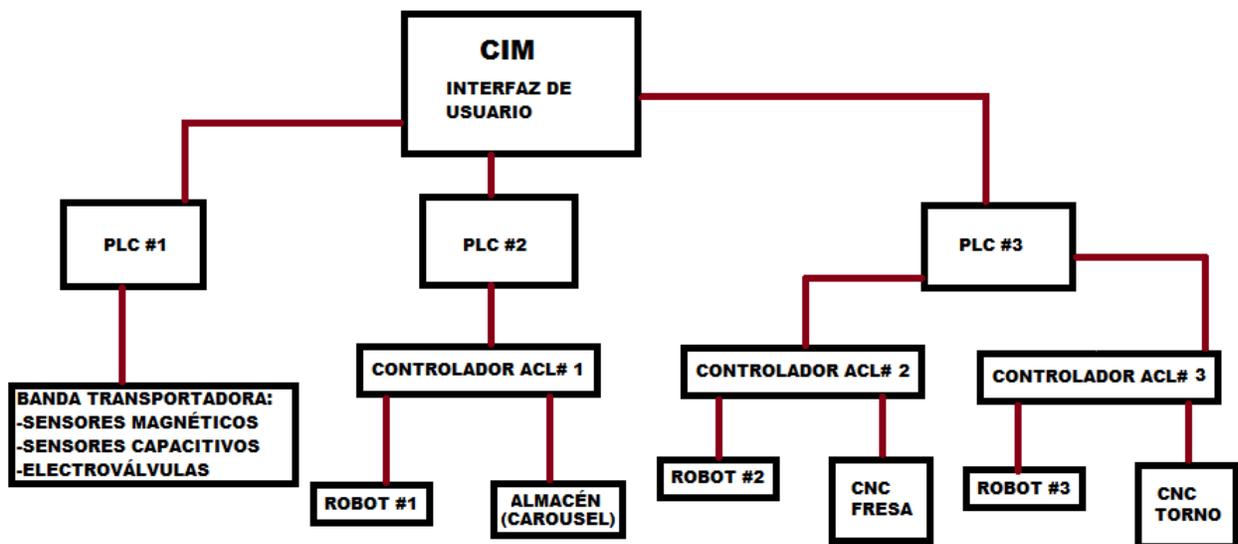


Figura 43. Diagrama de comunicación del SMF.



Los PLC controlan los siguientes sistemas:

❖ PLC No. 1

Tiene la finalidad de controlar los procesos de la banda transportadora, y activa y desactiva los topes neumáticos activados por electroválvulas, para desplazar los templates sobre las diferentes estaciones de trabajo.

❖ PLC No. 2

Controla la estación de almacenamiento, y manda señales al controlador ACL para que active subrutinas programadas del robot, y Carrusel (almacén giratorio)

❖ PLC No. 3

Controla las estaciones de maquinado de torno y fresa, y envía señales a los controladores ACL de las estaciones; estos ejecutan subprogramas donde interactúan los robots en conjunto con las maquinas CNC.

3.4. Sistema de comunicación RS 485

El SMF se reintegró con tres PLC's que activan diferentes procesos que son independientes entre sí, es decir, que los procesos administrados por un PLC no afectan la inicialización de un proceso en otro PLC.

Para realizar la comunicación de los PLC's con la Interfaz Humano Maquina, se utilizó el protocolo de comunicación RS-485, que es una variante del protocolo RS-232.

La diferencia es que el primer protocolo mencionado, es multipunto, (permite comunicar más de dos dispositivos) y la segunda, es una comunicación punto a punto (solo permite comunicar dos dispositivos).

Como se observa en la figura 44, la pantalla LS XP90, que funge como computadora central CIM, está configurada en el protocolo de comunicación RS-485, como un dispositivo maestro, ya que este manda primero la dirección del PLC al que se quiere comunicar, y la variable a manipular o a leer su valor, como puede ser el caso de los registros o relevadores internos del PLC.

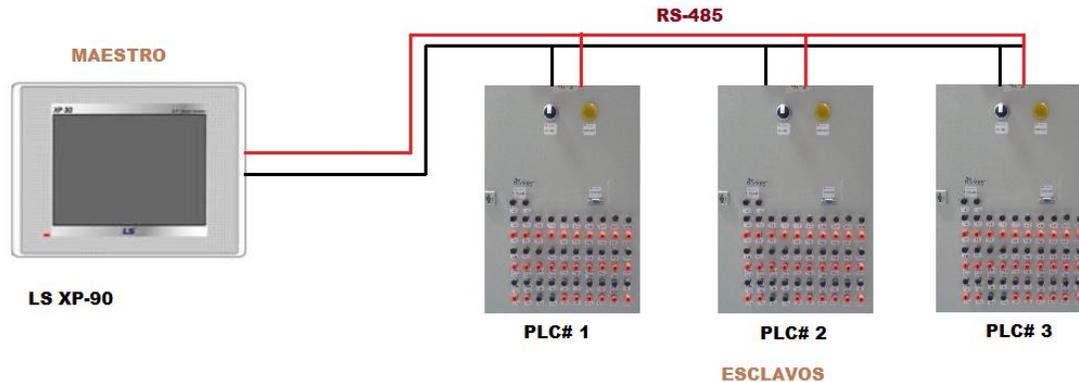


Figura 44. Comunicación entre PLC's y computadora central CIM.

La figura 45, muestra la configuración de la pantalla LS XP90, que en el protocolo de comunicación funge como un dispositivo maestro con el número de estación cero, y con una velocidad de transferencia de datos de 57600 baud rates; es importante mencionar que la pantalla puede manejar velocidades más altas, pero el PLC utilizado tiene un límite de velocidad de 57600 baud rates.

Para el caso de los PLC esclavos, solo esperan la señal desde la computadora central para prender o apagar los relevadores internos, o leer o escribir un registro.

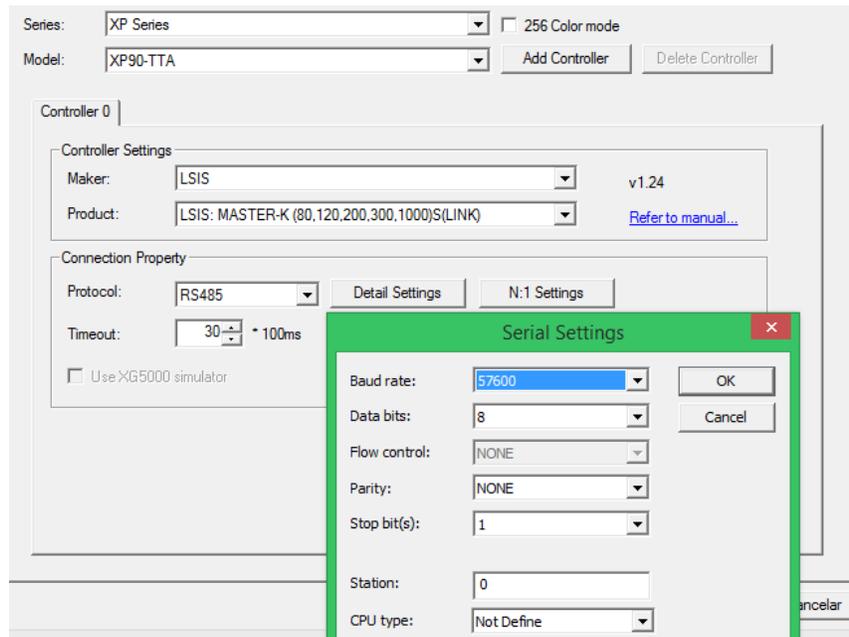


Figura 45. Configuración de la pantalla LS XP90.

Para el caso de los PLC esclavos, solo esperan la señal desde la computadora central para prender o apagar los relevadores internos, o leer o escribir un registro.

La figura 46, muestra la configuración del PLC No.1, donde se establece como un dispositivo esclavo para la disposición propuesta; se utilizaron 3 PLC's como esclavos, con número de estación de 1 a 3, y con la misma velocidad de transferencia de datos de 57600 baud rates.

Como se ha mencionado anteriormente, se pueden adherir más dispositivos PLC's en este protocolo de configuración.

The screenshot shows a configuration window for a PLC. At the top, there is a 'Communication' dropdown menu set to 'Enable'. Below this, the 'Communication Method' section includes fields for 'Station Number' (1), 'Baud Rate' (57600), 'Data Bit' (8), 'Parity Bit' (None), and 'Stop Bit' (1). Under 'Communication Channel', three options are listed: 'RS232C Null Modem or RS422/485' (selected), 'RS232C Modem(Dedicated Line)' with an 'Init Command' field containing 'ATZ', and 'RS232C Dial-up Modem'. The 'Protocol and Mode' section on the right features a 'Timeout in Master Mode' field set to '500 ms'. It has three sub-sections: 'Dedicated' with radio buttons for 'Master', 'Slave' (selected), 'LG Inverter', and 'Schneider Inverter', plus a 'Read Status of Slave PLC' checkbox and a 'List' button; 'Modbus' with radio buttons for 'Master' and 'Slave', and a 'Transmission Mode' dropdown set to 'ASCII'; and 'User Defined' with radio buttons for 'Master', 'Slave', and 'No Protocol', plus a 'List' button.

Figura 46. Configuración de los PLC's.

Desde la pantalla central CIM se administran todos los procesos del SMF, mientras los PLC esperan señales que activan relevadores, que envían señales a los controladores ACL de cada estación de trabajo del SMF; estos a su vez, activan rutinas programadas de periféricos, como por ejemplo de carga o descarga de material al torno o fresa; llevar piezas al almacén; pedir una nueva pieza a la estación de maquinado etc.

En los capítulos posteriores se precisará el procedimiento de programación y la forma como se configura para que la pantalla envíe datos a los PLC.

❖ Conexiones del sistema de manejo de materiales primario

Como ya se mencionó, el sistema de manejo de materiales primario, tiene el objetivo de mandar los pallets de una estación de trabajo a otra, para manipular las diferentes piezas a manufacturar; como se muestra en la figura 43 el PLC No.1, se dispuso para que controlara el movimiento de los pallets a través de la banda transportadora.

Este control de movimiento se realiza mediante la utilización de sensores y topes neumáticos. Durante todo el ciclo de manufactura, la banda sigue girando y los topes neumáticos detienen los pallets, dependiendo de la estación donde sean requeridos en la programación del sistema CIM.



Figura 47. Sistema de sensores y topes neumáticos.

Sobre la banda transportadora, existen cuatro subsistemas de topes neumáticos y sensores que leen y detienen los pallets, que llegan a cada estación de trabajo como se muestra en la figura 47. Los sensores y topes neumáticos controlados por electroválvulas, están dispuestos sobre la banda transportadora, como se muestra en la figura 48.

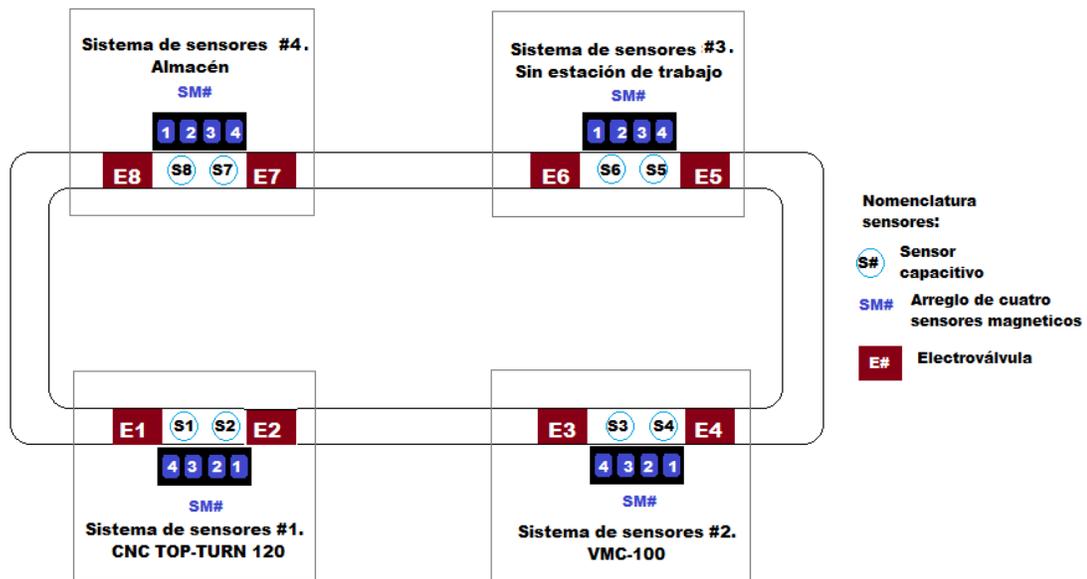


Figura 48. Sistema de sensores y topes neumáticos en cada estación de trabajo.

En la figura 48, se muestran los cuatro subsistemas de sensores con topes neumáticos sobre la banda, para realizar la carga y descarga de los materiales en cada estación de trabajo; importa recalcar que el sistema de sensores número tres, no cuenta con estación, pues forma parte de la estación de ensablado e inspección, que no se utilizará en este trabajo; sin embargo, el sistema de topes neumático y sensores, se ocupará para el control de movimiento de los pallets sobre la banda eléctrica.

La figura 49, muestra las conexiones realizadas en la caja de sensores al PLC No.1, donde llegan todas las conexiones de los sistemas de sensado de la banda transportadora.

Se encuentran detalladas las conexiones realizadas, en el Anexo No. 1.



Figura 49. Conexiones de la caja de sensores al PLC#1.



La tabla 6, muestra algunas de las conexiones más importantes realizadas a los sensores de la banda transportadora al PLC No.1.

Tabla 6. Conexiones de la caja de sensores al PLC No. 1.

	caja de sensores	PLC#1		caja de sensores	PLC#1
	Sistema de sensado #1	1SM1		P0	Sistema de sensado #2
1SM2		P1	2SM2	P5	
1SM3		P3	2SM3	P6	
1SM4		P4	2SM4	P7	
1S1		P16	2S1	P18	
1S2		P17	2S2	P19	
E1		P40	E3	P42	
E2		P41	E4	P43	
	caja de sensores	PLC#1		caja de sensores	PLC#1
	Sistema de sensado #3	3SM1		P8	Sistema de sensado #4
3SM2		P9	4SM2	P13	
3SM3		P10	4SM3	P14	
3SM4		P11	4SM4	P15	
3S1		P19	4S1	P21	
3S2		P20	4S2	P22	
E5		P44	E7	P46	
E6		P45	E8	P47	

La clave “SM”, corresponde a sensores magnéticos; la “S” a sensores capacitivos, y la “E”, a electroválvulas.

❖ Conexiones de la Estación de almacenamiento

La estación de almacenamiento, cuenta con el PLC No. 2, que recibe y transmite instrucciones a la pantalla de control central CIM.

La figura 50, muestra cómo se realizó la disposición de los dispositivos, donde la computadora central CIM se comunica con el PLC No. 2, correspondiente a la estación de almacenamiento, por el protocolo de comunicación RS-485, con la finalidad de monitorearlo y de activar procesos; el PLC No. 2, a su vez transmite instrucciones al controlador ACL No.1, para la ejecución de subprogramas almacenados en la memoria del controlador.



Figura 50. Dispositivos comunicados en la estación de almacenamiento.

El controlador ACL No. 1 espera instrucciones del PLC No.2, para ejecutar rutinas que involucran al robot Scorbobot ER-VII, y al almacén Carrusel, conectados al controlador.

Se puede decir que el Controlador ACL, comanda y monitorea las acciones que realizan tanto el robot como el almacén, sin embargo, el PLC es el responsable de decidir qué acciones y en qué momento se realizan los procesos dentro de la estación de trabajo.

La figura 51 muestra las conexiones realizadas entre el PLC No. 2, y el controlador ACL No. 1; el anexo No. 2 muestra a detalle el diagrama de conexiones realizado.



Figura 51. Conexiones realizadas entre PLC #2 y Controlador ACL #1.

La tabla 7 muestra las conexiones más importantes en la estación de trabajo del almacén, así como su intención y finalidad.

Tabla 7. Conexiones de la estación trabajo de almacén.

CONTROLADOR ACL #1	PLC #2	COMENTARIOS
IN [1]	P40	Manda material a CNC fresa, ciclo continuo
IN [2]	P41	Recoge material de CNC fresa, ciclo continuo
IN [4]	P44	Manda posición del almacén mediante un ciclo de pulsos
IN [5]	P43	Ejecuta ciclo aleatorio de fresa
IN [6]	P45	Selector carga descarga, ciclo aleatorio CNC fresa
IN [7]	P42	Home general del almacén
IN [8]	P46	Manda material a CNC, torno ciclo continuo
IN [9]	P47	Recoge material de CNC, torno ciclo continuo
IN [10]	P48	Ejecuta ciclo aleatorio torno
IN [11]	P49	Selector carga descarga, ciclo aleatorio CNC torno
OUT [3]	P00	Manda señales de proceso terminado
CONTROLADOR ACL #1	PERIFÉRICOS	COMENTARIOS
OUT [3]	Electroválvula	Responsable de abrir o cerrar la Gripper neumática
OUT [3]	Lámpara	Prende o apaga lámpara sobre el almacén

❖ Conexiones de las estaciones de maquinado

El SMF cuenta con dos estaciones de trabajo dedicadas al maquinado. La EMCO 100, es una máquina de control numérico fresadora, y la EMCO 120P, es una máquina de control numérico dedicada a torneado piezas.

Las dos estaciones de maquinado se dispusieron para controlarlas con el mismo PLC; al igual que la estación de almacenamiento, la pantalla LS XP90 manda señales al PLC, para activar los procesos de las estaciones de trabajo de la fresa y torno.

❖ Conexiones estación de maquinado fresa

La computadora central CIM se comunica con el PLC No. 3, que forma parte de las estaciones de trabajo de maquinado. El PLC No. 3 se conectó al controlador ACL No. 2, para ejecutar las órdenes enviadas desde la computadora CIM.

El controlador ACL No. 2, espera instrucciones del PLC No. 3 para ejecutar rutinas que involucran al robot Scorbot ER-VII, y a la máquina de CNC VMC-100, conectados al controlador ACL No. 2.

Como se muestra en la figura 52, el controlador ACL se dispuso de tal manera que el Robot Scorbot ER-VII, y la CNC VMC-100, quedan gestionados por los programas almacenados en su memoria.



Figura 52. Dispositivos conectados en la estación de maquinado fresa.

Los dispositivos y procesos, que el Controlador ACL No. 2 gestiona en la CNC EMCO modelo 100, son los siguientes:

- Apertura y cierre de puerta neumática

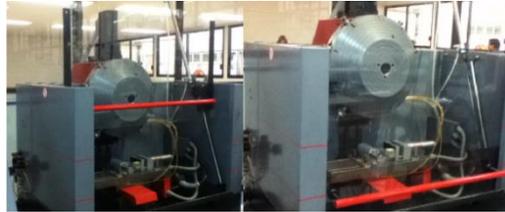


Figura 53, Puerta neumática fresa.

- Apertura y cierre de prensa neumática



Figura 54. Prensa neumática.

- Activación del ciclo de Manufactura del programa que tenga la maquina CNC en ese momento

Los dispositivos y procesos de la maquina EMCO 100, gestionados por el Controlador ACL No. 2, se programaron junto con las instrucciones para manejar al Robot de estación, por lo que los periféricos de la CNC, como son la prensa y puerta neumática, y la instrucción de inicio de manufactura, trabajan de manera coordinada con el robot.

En la figura 55, se muestran las conexiones físicas realizadas en la estación de maquinado de fresa; la maquinada de control numérico, cuenta con un panel de relevadores externos, que sirven para controlar procesos de manera automatizada; las conexiones del controlador ACL No. 2 al panel de relevadores, y del PLC No. 3 al Controlador ACL No. 2, se muestran en el Anexo 3.

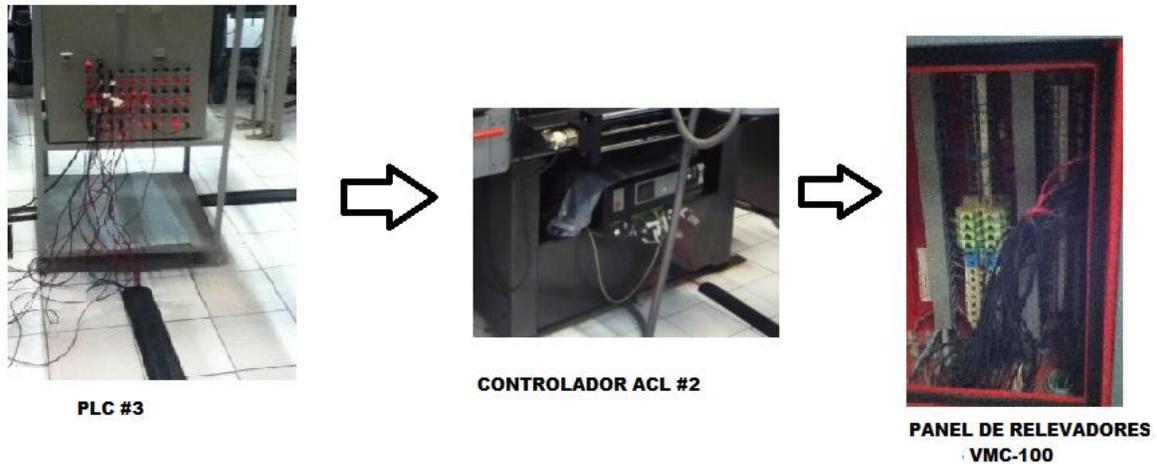


Figura 55. Conexiones realizadas en la estación de maquinado por CNC fresa.

Tabla 8. Conexiones de la estación de maquinado por CNC fresa.

CONTROLADOR ACL #2	PLC #3	COMENTARIOS
IN[2]	P41	HOME Fresa
IN[3]	P42	Activa ciclo de manufactura
IN[4]	P43	Carga nueva pieza al buffer, y descarga la pieza al pallet para llevarlo al almacén
OUT[5]	P2	Bandera de subrutina seleccionada, terminada
OUT[6]	P3	Bandera para adquirir una nueva pieza
CONTROLADOR ACL #2	PERIFÉRICOS	COMENTARIOS
OUT[1]	Electroválvula	Responsable de abrir o cerrar la Gripper neumática del robot
OUT[3]	Puerta neumática	Abre o cierra puerta neumática
OUT[4]	Prensa neumática	Abre o cierre prensa neumática
IN[8]	Bandera de manufactura	Es una bandera que le indica al controlador ACL, que se están manufacturando piezas
OUT[13]	Cycle Start	Activa el ciclo de manufactura de la fresa

❖ Conexiones de la estación de maquinado torno

La estación de maquinado por CNC torno, se dispuso de manera semejante a la estación de maquinado CNC fresa. La computadora central CIM, se comunica con el PLC No. 3, que está integrado a las estaciones de maquinado.

El controlador ACL No. 3, espera instrucciones del PLC No. 3, para ejecutar rutinas que involucran al robot Scorbot ER-VII, y la CNC EMCO 120P, conectados al Controlador ACL No. 3.

Como se muestra en la figura 56, se dispuso la estación de tal manera que el Robot Scorbot ER-VII y el torno CNC queden gestionados por los programas almacenados en la memoria del Controlador ACL No. 3, y este a su vez, por el PLC No. 3, quien maneja tanto a la estación de maquinado como a la de maquinado por fresa.



Figura 56. Dispositivos conectados en la estación de maquinada por Torno.

Los dispositivos y procesos que el Controlador ACL No.3, gestiona en el torno CNC, son los siguientes:

- Apertura y cierre de puerta neumática



Figura 57, Puerta neumática torno.

➤ Apertura y cierre de Chuck neumático



Figura 58. Chuck Neumático.

➤ Activación del ciclo de manufactura, del programa que tenga la máquina CNC en ese momento

En la figura 59 se muestran las conexiones físicas realizadas en la estación de maquinado por torno; la maquinada de control numérico TURN-120P, cuenta con un panel de relevadores externos que sirven para controlar procesos automatizados ya mencionados

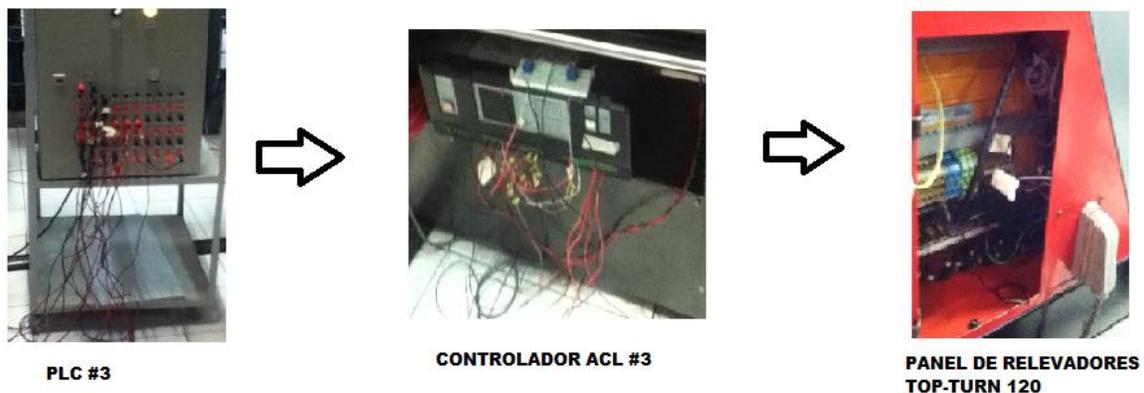


Figura 59. Conexiones realizadas en la estación de maquinado por torno.

Las conexiones del controlador ACL No.3 al panel de relevadores, y del PLC No. 3 al Controlador ACL No. 3, se muestran en el Anexo No 3.



La tabla 9 muestra las conexiones más importantes en la estación de maquinado CNC Torno.

Tabla 9. Conexiones de la estación maquinado por Torno.

CONTROLADOR ACL #3	PLC #3	COMENTARIOS
IN[9]	P44	HOME Torno
IN[10]	P45	Activa ciclo de manufactura del torno
IN[11]	P46	Carga nueva pieza al buffer, y descarga la pieza al pallet para llevarlo al almacén
OUT[5]	P4	Bandera de ciclo terminado
OUT[6]	P5	Bandera para adquirir una nueva pieza
CONTROLADOR ACL #2	PERIFÉRICOS	COMENTARIOS
OUT[1]	Electroválvula	Responsable de abrir o cerrar la Gripper neumática del robot
OUT[3]	Chuck neumático	Abrir o cerrar el Chuck neumático
OUT[4]	Puerta neumática	Abre o cierra puerta neumática
IN[3]	Bandera de manufactura	Es una bandera que le indica al controlador ACL, que se están manufacturando piezas
OUT[2]	Cycle Start	Activa el ciclo de manufactura del torno

3.5 Programas desarrollados para los Controladores ACL

Como anteriormente se expuso, en los controladores ACL se realiza el control para gestionar los robots de estación; además se pueden conectar otros periféricos como máquinas de control numérico, y para el caso de este SMF, el almacén.

❖ CONTROLADOR ACL No. 1 Estación de Almacenamiento

En esta estación de trabajo, el controlador ACL No.1 maneja dos periféricos que son el almacén llamado Carrusel, y un robot Scorbot ER-VII.

El almacén cuenta con tres plataformas giratorias para la programación, pero solo se utilizan las dos primeras, de abajo hacia arriba cada una, con 18 posiciones para colocar templates; la figura 60 muestra la disposición del tipo de piezas por plataforma.



Figura 60. Disposición de piezas almacenadas por plataforma del Almacén.

Para este controlador, se realizaron cuatro subprogramas que se pueden modificar con las propias trayectorias del Robot Scorbot ER-VII; además se realizó un programa principal al que no se tendrá acceso, ya que es necesario para ejecutar los subprogramas y comunicarse con el PLC y cualquier cambio dejaría a la estación sin comunicación en la CIM.

La relación de los subprogramas en este controlador son los siguientes:

- “CARG1”
Corre un subprograma en donde el robot Scorbot ER-VII, toma una pieza, del segundo piso del almacén dedicado a piezas de fresa, para que a continuación pueda colocarlo sobre el pallet que esta sobre la banda eléctrica.

La figura 61 muestra el proceso que realiza el subprograma.



Figura 61. Programa CARG1.

➤ “DESC1”

Ejecuta un subprograma en donde el robot Scorbot ER-VII, recoge una pieza ya manufacturada de la maquina CNC fresa, de la banda transportadora, para ingresarla al segundo piso del almacén, en las posiciones vacías. Figura 62.



Figura 62. Programa DESC1.

➤ “CARG2”

Corre un subprograma en donde el robot Scorbot ER-VII, toma una pieza del primer piso del almacén dedicado a piezas de torno, para colocarlo sobre el pallet que está sobre la banda eléctrica. Figura 63.



Figura 63. Programa CARG2.

➤ “DESC2”

Ejecuta un subprograma en donde el robot Scorbot ER-VII, recoge una pieza ya manufacturada de la maquina CNC torno, de la banda transportadora, para ingresarla al primer piso del almacén. Figura 63.



Figura 64, programa DESC2.

El controlador ACL No.1, dedicado a la estación de almacenamiento, cuenta con un programa principal que interrelaciona los subprogramas en la memoria del controlador, con las señales generadas en el PLC.

Este programa no se puede modificar, ya que se realizó para las conexiones propuestas, y es necesario para que se comunique todo el sistema. Para ver los programas del Controlador ACL No.1 revisar Anexo No. 4.

Las figuras 65 y 66, muestran el diagrama de flujo del algoritmo de programación principal llamada “MANUF”, del controlador ACL No.1, que recibe instrucciones del PLC No. 2.

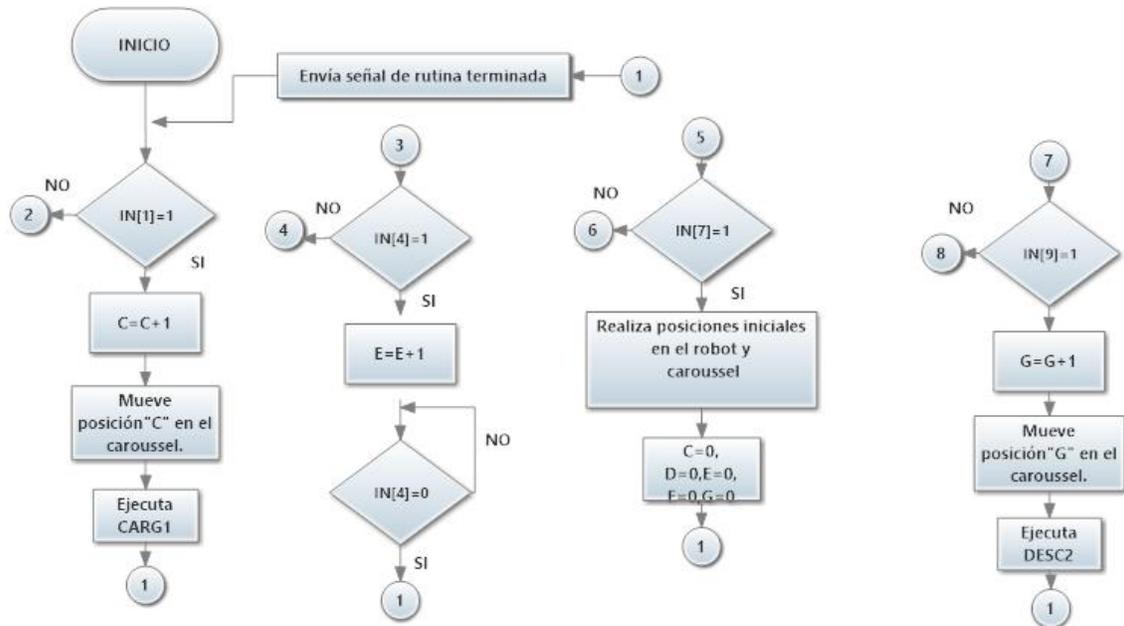


Figura 65, Diagrama de flujo parte 1, controlador ACL No. 1, estación de almacenamiento.

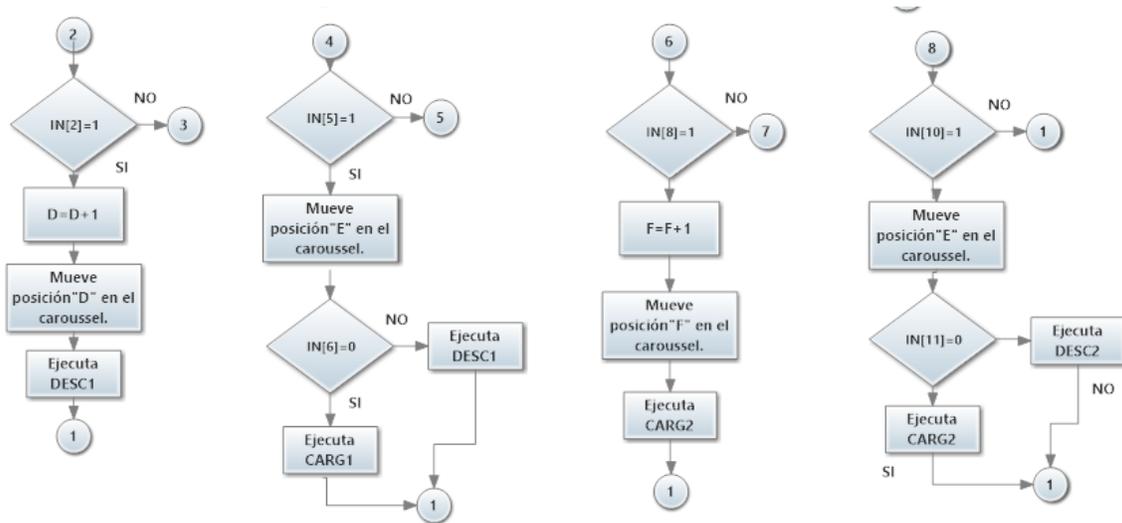


Figura 66. Diagrama de flujo parte 2, controlador ACL No. 1, estación de almacenamiento.

❖ CONTROLADOR No. 2

Estación de maquinado Fresa

En esta estación de trabajo, el controlador ACL No. 2 maneja dos componentes el robot Scorbot ER-VII, y la maquina CNC EMCO 100.

Para el controlador ACL, se establecieron siete subprogramas, que se pueden modificar con las trayectorias propias del Robot Scorbot ER-VII; además se realizó un programa principal al que no se tendrá acceso, ya que es necesario para ejecutar los subprogramas y comunicarse con el PLC, y cualquier cambio dejaría a la estación si comunicación en la CIM.

La relación de los subprogramas en este controlador son los siguientes:

➤ “PIEZ1”

Ejecuta una rutina para recoger la pieza para fresa del template, y llevarlo a un posición del robot, antes de meterlo a la maquina CNC.



Figura 67. Programa PIEZ1, en maquinado por fresa.

➤ “METER”

Ejecuta una rutina en donde el robot ingresa la pieza recogida, a la prensa neumática de la CNC fresa.

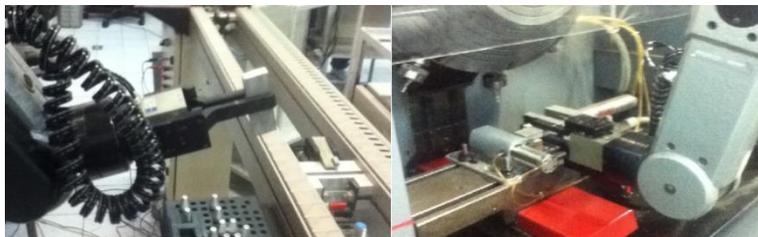


Figura 68. Programa METER, en maquinado por fresa.

➤ “SACAR”

Retira el robot de la prensa neumática, y cierra la puerta neumática, para comenzar enseguida el proceso de manufactura.



Figura 69. Programa SACAR, en maquinado por fresa.

➤ “RETIR”

Recoge la pieza ya manufacturada de la prensa neumática, para a continuación colocarlo sobre el template.



Figura 70. Programa RETIR, en maquinado por fresa.

➤ “CAMBI”

El subprograma cambia de posición el template que ya contiene una pieza manufacturada, y la coloca en el espacio vacío que sobra en el buffer de la estación de maquinado en fresa.



Figura 71. Programa CAMBI, en maquinado por fresa.

➤ “CARGA”

El subprograma toma el template del pallet que llego a la estación de maquinado, con una nueva pieza para colocarlo en una posición del buffer.



Figura 72. Programa CARGA, en maquinado por fresa.

➤ “DESCA”

El subprograma recoge el template previamente cambiado de posición en el buffer, y lo coloca sobre el pallet vacío, para que sea llevado a la estación de almacenamiento.



Figura 73. Programa DESCA, en maquinado por fresa.



EN el controlador ACL No. 2, que forma parte de la estación de maquinado por CNC fresa, se realizó un programa principal que interrelaciona los subprogramas en la memoria del controlador, con las señales generadas en el PLC.

Este programa no se puede modificar, ya que engloba las conexiones propuestas y es necesario para comunicar todo el sistema. Para ver los programas del Controlador ACL No. 2, revisar anexo No. 5.

La figura 74, muestra el diagrama de flujo del algoritmo del programa principal del controlador ACL No. 2; el programa principal que se realizó, incluye todos los subprogramas para ejecutar los ciclos de maquinado por fresa.

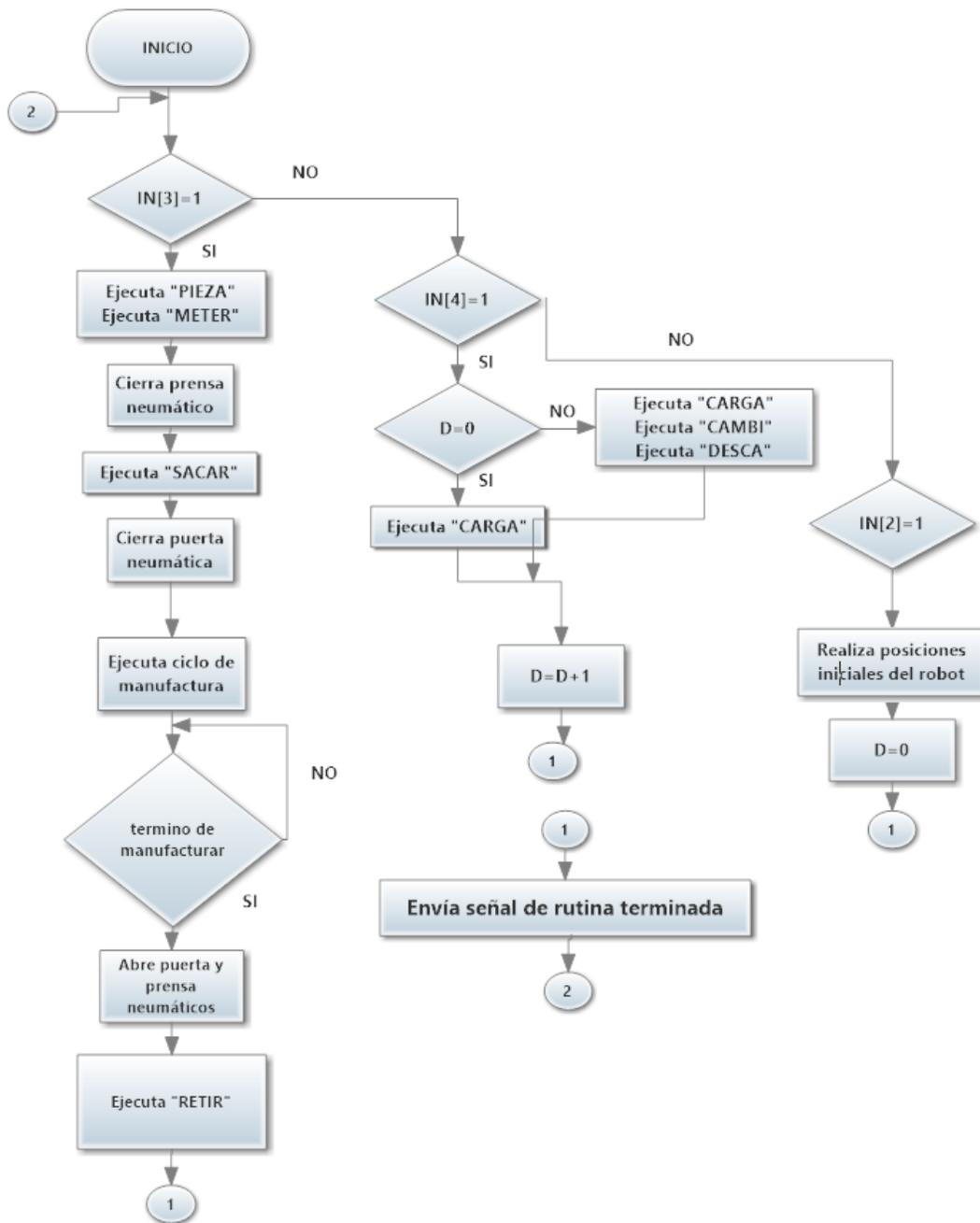


Figura 74. Diagrama de flujo, controlador ACL No. 2, estación de maquinado por fresa.

❖ CONTROLADOR No.3

Estación de maquinado torno

En esta estación de trabajo, el controlador ACL No. 3 maneja dos componentes: El robot Scorbot ER-VII y la maquina CNC dedicada a torno marca EMCO modelo 120.

Este controlador se programó en forma similar al de la estación de maquinado por fresa; cuenta con siete subprogramas que se pueden modificar con las trayectorias del Robot Scorbot ER-VII; además cuenta con un programa principal al que no se tendrá acceso, ya que es necesario para ejecutar los subprogramas y comunicarse con el PLC, y cualquier cambio dejaría a la estación sin comunicación en la CIM.

La relación de los subprogramas en este controlador son los siguientes:

- “PIEZA”
Ejecuta una rutina para recoger la pieza para torno del template antes de ingresarla a la CNC.



Figura 75. Programa PIEZA, en maquinado por torno.

- “METER”

Ejecuta una rutina, en donde el robot ingresa la pieza recogida al chuck neumático de la CNC.



Figura 76. Programa METER, en maquinado por torno.

➤ “SACAR”

Retira el robot del chuck neumático, para enseguida comenzar el proceso de manufactura.



Figura 77. Programa SACAR, en maquinado por torno.

➤ “RETIR”

Recoge la pieza ya manufacturada del chuck neumático, para a continuación colocarlo sobre el template.



Figura 78. Programa RETIR, en maquinado por torno.

➤ “CARGA”

Toma el template del pallet que llegó a la estación de maquinado, con una nueva pieza para colocarlo en una posición del buffer.



Figura 79. Programa CARGA, en maquinado por torno.

➤ “CAMBI”

Cambia de posición el template, que ya contiene una pieza manufacturada, y la coloca en el espacio vacío que sobra en el buffer de la estación de maquinado en torno.



Figura 80. Programa RETIR, en maquinado por torno.

➤ “DESCA”

Recoge el template previamente cambiado de posición en el buffer, y lo coloca sobre el pallet vacío, para que sea llevado a la estación de almacenamiento.



Figura 81. Programa DESCA, en maquinado por torno.

El controlador ACL No. 3, que forma parte de la estación de maquinado por CNC torno, cuenta con un programa principal que interrelaciona los subprogramas en la memoria del controlador, con las señales generadas en el PLC. Este programa no se puede modificar, ya que engloba las conexiones propuestas y es necesario para que se comunique todo el sistema. Para ver los programas del Controlador ACL No. 3, revisar el Anexo No. 6.

La figura 82, muestra el diagrama de flujo del algoritmo del programa principal del controlador ACL No. 3. El programa principal que se realizó, incluye todos los subprogramas para ejecutar los ciclos de maquinado por torno.

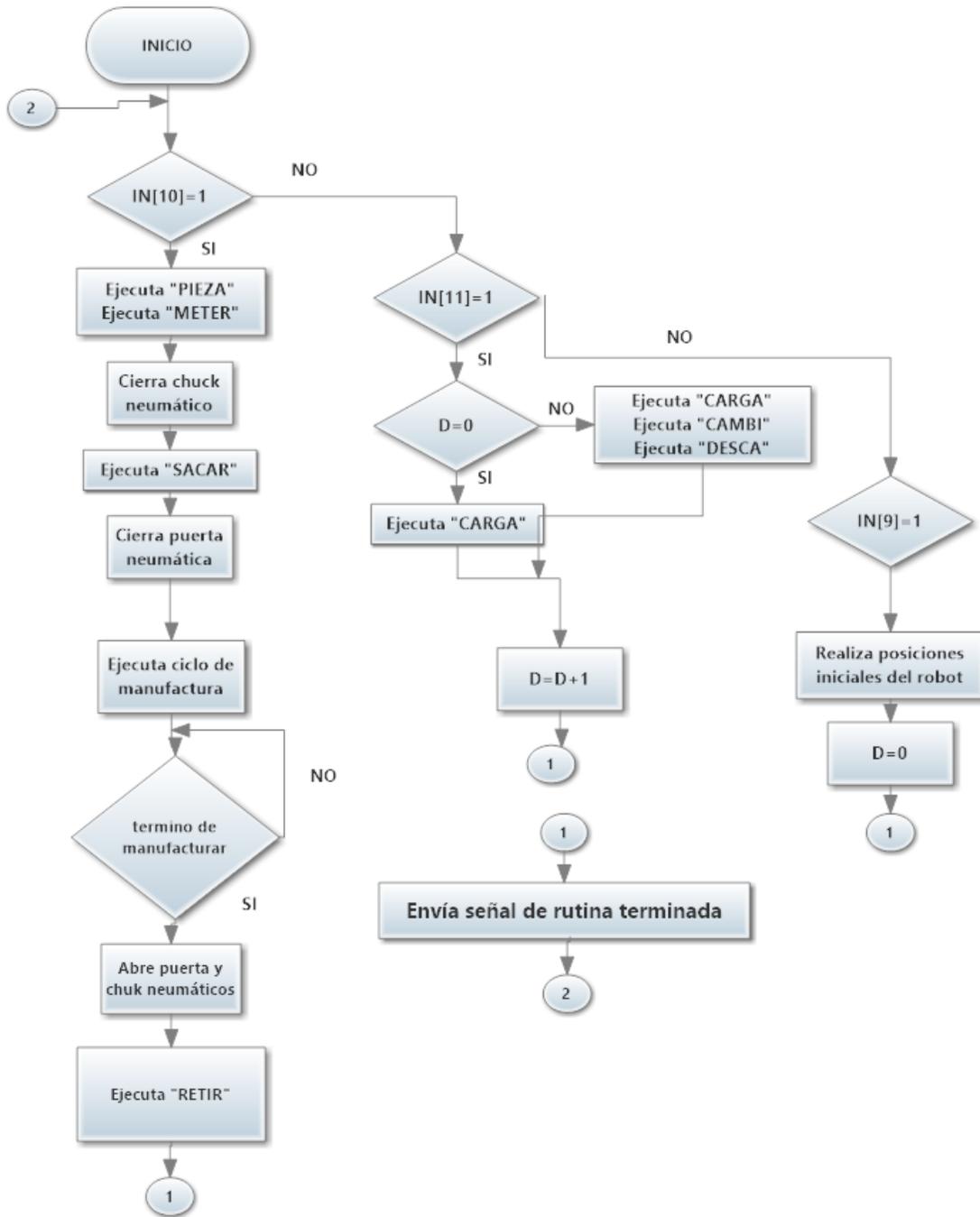


Figura 82. Diagrama de flujo, controlador ACL No. 3, estación de maquinado por torno.



3.6 Programas desarrollados para los PLC's

El SMF se reintegró con tres PLC, para controlar las estaciones de trabajo y el sistema de manejo de materiales primario.

La programación de los PLC's, se realizó en lenguaje escalera, con el software KGL-WIN.

➤ PLC No.1

EL PLC No. 1 es responsable del sistema que gestiona el transporte de los pallets de una estación de trabajo a otra, mediante sensores y topes neumáticos conectados al PLC.

Al PLC No. 1, se conectan todos los sensores y electroválvulas dispuestas sobre la banda eléctrica, con el fin de gestionar el movimiento de los pallets de una estación de trabajo a otra; quien controla todo el proceso es la computadora CIM, sin embargo, el PLC No.1 es el responsable de identificar los pallets en cada estación de trabajo, y activar o desactivar los topes neumáticos.

Por ejemplo, cuando llega un pallet en la estación de almacenamiento, primero activa los topes neumáticos para evitar que otros pallets se metan al proceso en curso, es decir, detienen el pallet y ubica su número de identificación; enseguida, envía una lectura a la computadora CIM, y esta sabe si se trata de una pallet con una pieza manufacturada, o es un pallet sin pieza.

Con esta lectura, la CIM puede tomar decisiones dependiendo en qué punto del programa esté, por ejemplo, descargar pieza, dejar pasar al pallet o descargar la pieza manufacturada y cargar una nueva.

La figura 83 muestra el algoritmo realizado antes de programar el PLC No. 1 para manejar el movimiento de los pallets sobre la banda transportadora.

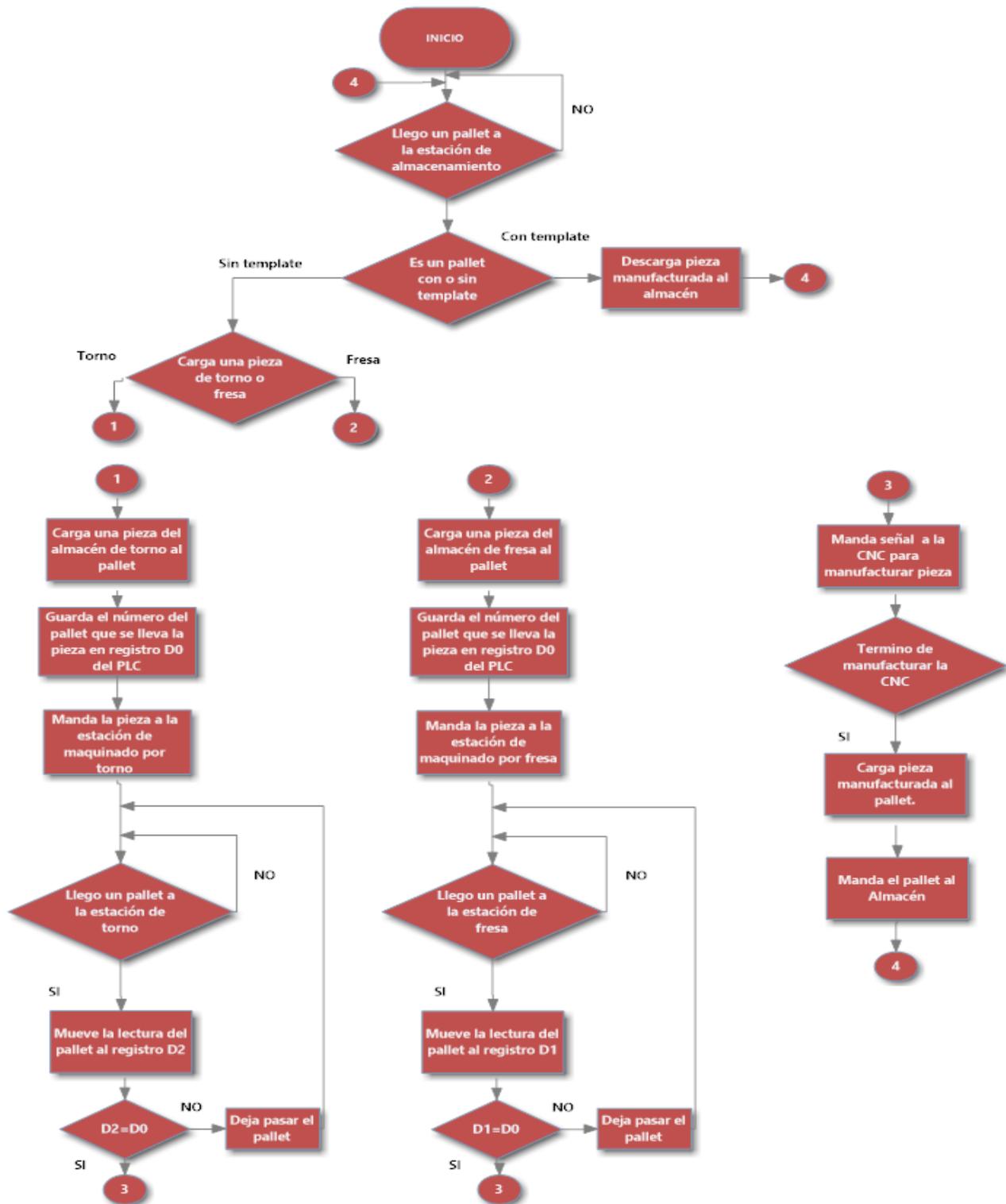


Figura 83. Diagrama de flujo, controlador ACL No. 3, estación de maquinado por torno.

El programa realizado con el software KGL-WIN se encuentra en el anexo No. 7

La figura 83}4, muestra la parte del programa donde un pallet llega a la estación de almacenamiento; las entradas que van de P0012 a P0015 en el PLC No.1, corresponden a los sensores magnéticos que leen el número de pallet; en esta parte del programa, se lee el valor del pallet y se guarda el en el registro D0 del PLC, y activa el relevador M050.

Una vez leído el valor del pallet, si es que el programa principal dentro de la CIM lo solicita, se puede enviar una pieza del almacén a la máquina de control numérico de torno o fresa.

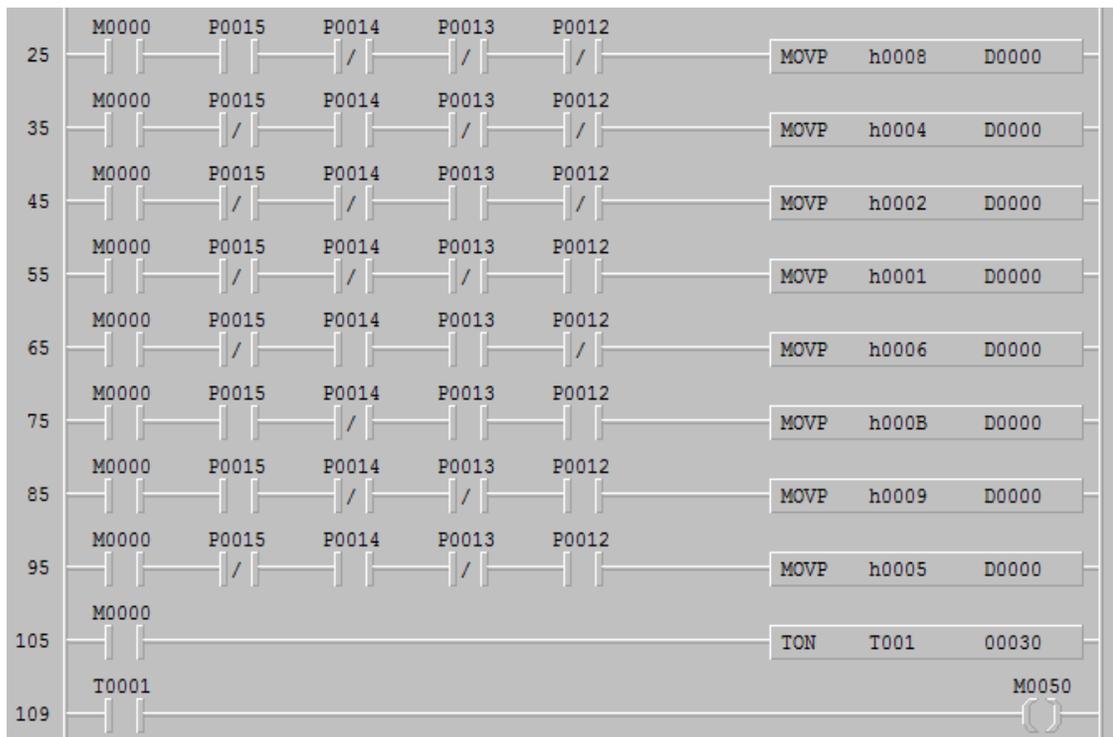


Figura 84. Lectura sensores del pallet estación de almacenamiento.

La figura 85, muestra la parte del programa que se realizó cuando llega un pallet con una pieza para maquinarse a la estación de maquinado por fresa. Las entradas de P04 a P07, corresponden a los sensores magnéticos encargados de leer el identificador del pallet.

Una vez leído el valor del pallet, se almacena en el registro D02, y se compara con el registro D0 de la estación de almacenamiento; si el valor de los

registros es el mismo, detiene el pallet en esa estación para ingresar la pieza para ser manufacturada. En el caso contrario se deja pasar el pallet.

Para la estación de maquinado por torno, se usa el mismo método, y solo se cambian las entradas de los sensores magnéticos.

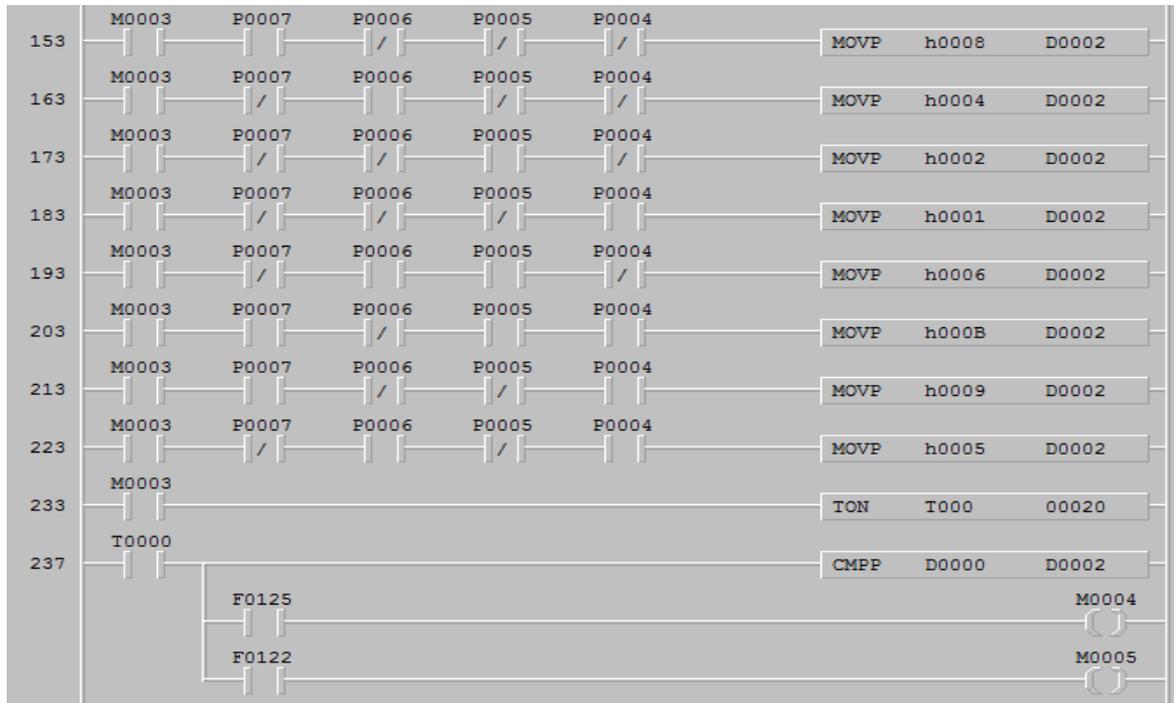


Figura 85. Lectura del pallet estación de maquinado por fresa.

La tabla 10 muestra los relevadores más importantes dentro del PLC No. 1. Estos relevadores son los que monitorean y activan la computadora central CIM, incluidos en su programa principal.

Tabla 10.Relevadores del PLC#1.

Relevadores internos	Comentarios
M100	Inicia el programa, o manda por un nuevo carrito para el almacén
M020	Baja la electroválvula de la estación de almacenamiento, para dejar pasar el pallet
M021	Activa el ciclo de manufactura
M101	Selecciona CNC fresa
M102	Selecciona CNC torno
M004	Señal que indica que el pallet que llegó a la fresa, no es el mismo que salió del almacén



M005	Señal que indica que el pallet que llegó a la fresa, es el mismo que salió del almacén
M006	Se lleva la pieza manufacturada del proceso de fresado al almacén
M121	Bandera que indica que se encuentra un pallet en el proceso de fresado
M0122	Bandera que indica que se encuentra un pallet en el proceso de torneado
M011	Señal que indica que el pallet que llegó al torno, no es el mismo que salió del almacén
M012	Señal que indica que el pallet que llegó al torno es el mismo que salió del almacén
M013	Se lleva la pieza manufacturada del proceso de torneado al almacén
M050	Indica que un pallet ha llegado al almacén

➤ PLC No. 2

El PLC No. 2, es responsable de la estación de almacenamiento.

Gestiona todos los subprogramas que se encuentran dentro del controlador ACL No. 1, y además recibe una señal que le indica que han terminado de correr los programas deseados.

El programa del PLC No. 2, es pequeño comparado con el programa del PLC que controla el movimiento de los pallets.

Este PLC a diferencia del PLC No. 1, no realiza toma de decisiones, solo activa procesos del almacén, por lo que no se desarrolló un diagrama de flujo.

El programa principal de la pantalla CIM, es el que maneja todos los procesos de este PLC. La figura 86 muestra el diagrama de escalera realizado.

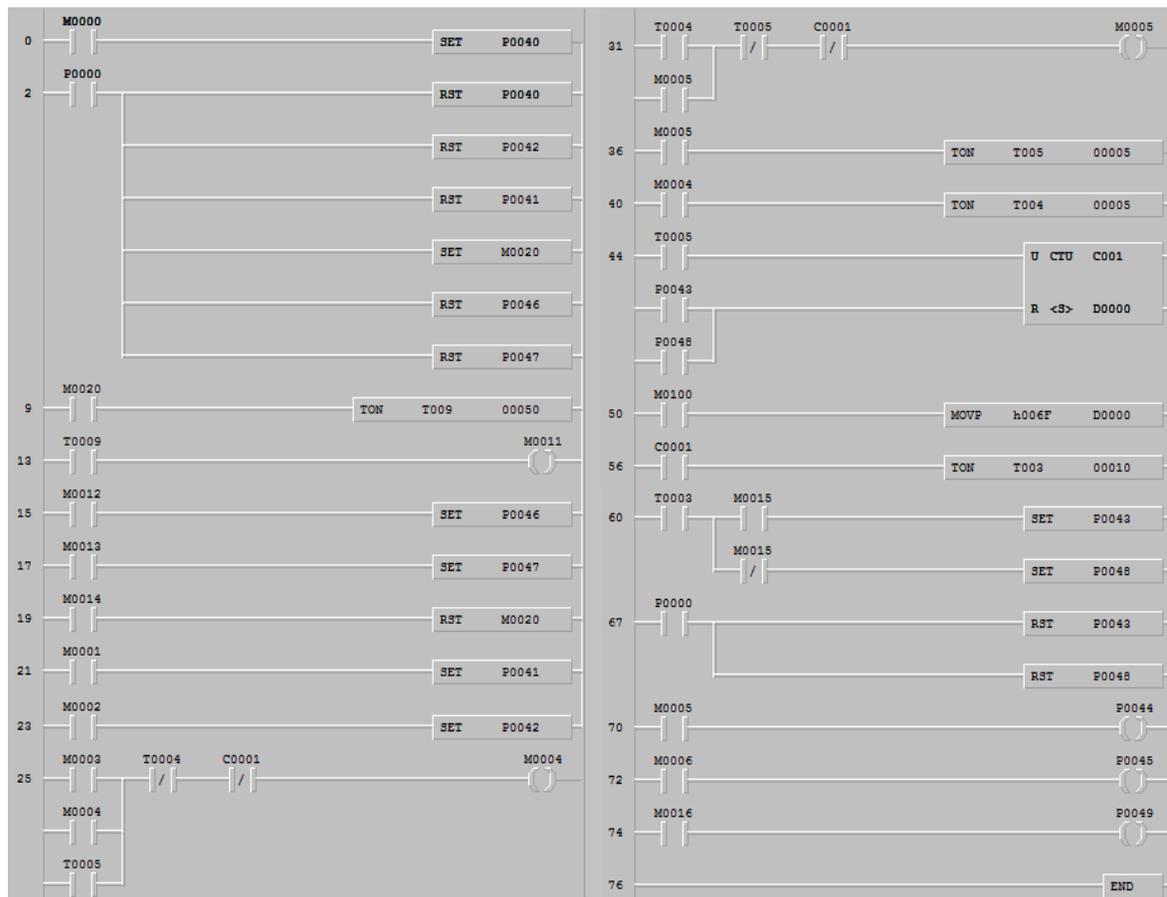


Figura 86. Programa de la estación de almacenamiento PLC #2.

La tabla 11 muestra los procesos que activan los relevadores en el controlador ACL No. 1. Al igual que en los demás PLC, la pantalla CIM controla la activación de los relevadores.

Tabla 11. Relevadores del PLC No. 2.

Relevadores	Comentarios
M00	Carga una pieza de fresa sin manufacturar del almacén al pallet
M01	Descarga una pieza manufacturada de fresa del pallet al almacén
M02	Parámetros iniciales del robot y almacén(HOME)
M03	Se mueve a la posición requerida en la CIM del almacén, para operar piezas de fresa
M06	Carga o descarga de la posición requerida en el almacén para piezas de fresa
M11	Bandera que muestra en el PLC, indicando que el proceso requerido ha terminado
M12	Carga una pieza de torno sin manufacturar del almacén al pallet
M13	Descarga una pieza de torno manufacturada del pallet al almacén



M14	Apaga bandera de proceso terminado
M15	Carga o descarga de la posición requerida en el almacén para piezas de torno
M16	Se mueve a la posición requerida en la CIM del almacén, para piezas de torno

➤ **PLC No. 3**

EL PLC No. 3, gestiona los programas de los controladores ACL de las estaciones de maquinado de torno y fresa; al igual que en la estación de almacenamiento, el PLC no realiza toma de decisiones, solo activa procesos requeridos por la computadora CIM.

Este PLC No. 3, contiene un programa principal donde se activan procesos para dos estaciones de trabajo; la primera es la estación que realiza ciclos de fresa, con una máquina de control numérico EMCO modelo 100 y, la segunda, es una estación que realiza ciclo de torneado con la maquina EMCO modelo 120.

La figura 87, muestra la primera parte del programa del PLC, y es el diagrama de escalera que se realizó para comunicar el PLC No. 3, con el controlador ACL No. 2, que activa las rutinas de la estación de trabajo así como banderas de procesos terminados en la fresa CNC.

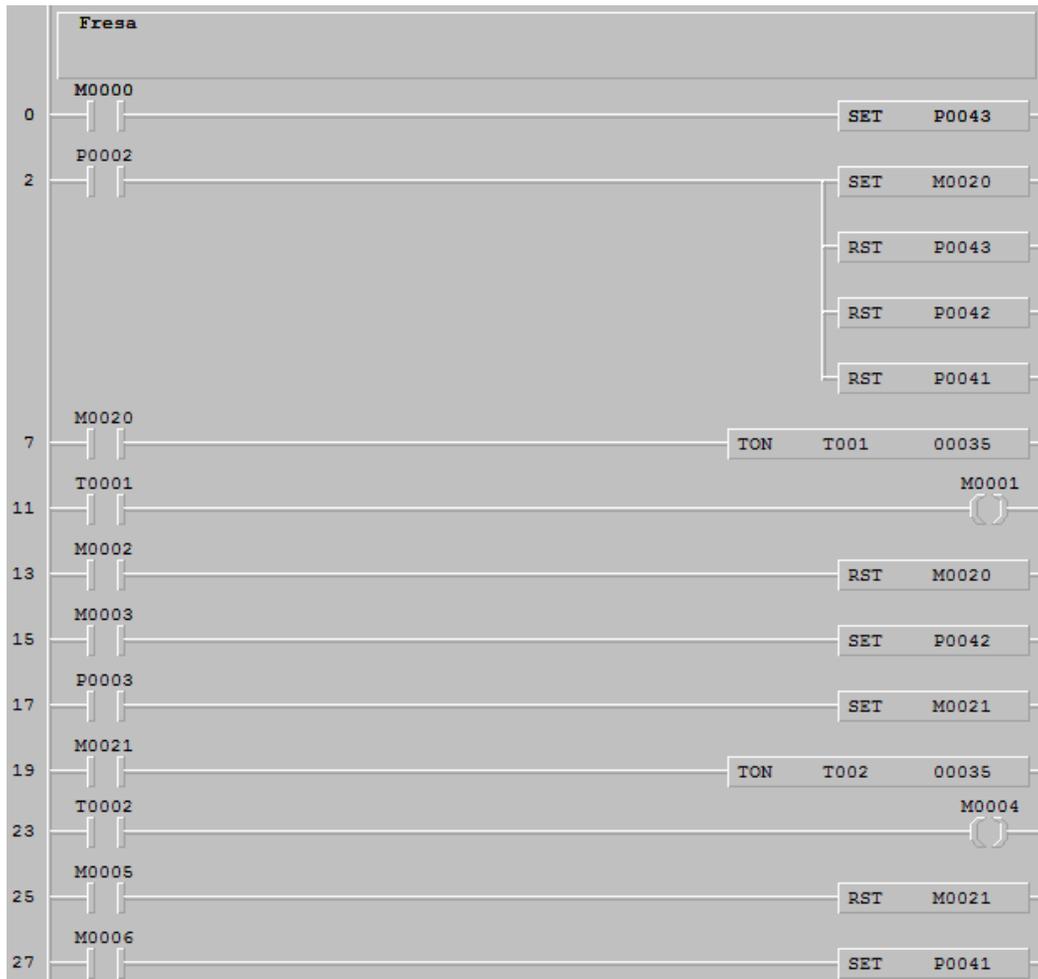


Figura 87. Programa de la estación de maquinado fresa PLC No. 3.

La tabla 12 muestra los procesos que activan los relevadores en el controlador ACL No. 2; la pantalla CIM controla la activación de los relevadores.

Tabla 12.Relevadores de PLC No. 3 fresa.

Relevadores	Comentarios
M00	Activa subprograma para cargar un template a la fresa
M01	Es una bandera que indica que el proceso deseado en fresa ha terminado
M02	Apaga bandera que indica proceso terminado M01
M03	Activa ciclo de manufactura en fresa
M04	Bandera que le indica a la CIM que la fresa puede recibir una pieza nueva
M05	Apaga bandera M04
M06	Activa parámetros iniciales del robot de la CNC fresa (HOME)

La figura 88, muestra la segunda parte del programa que se procesó en el PLC; es el diagrama de escalera que se realizó para comunicar el PLC No.3 con el controlador ACL No.3, que activa las rutinas de la estación de trabajo, así como banderas de procesos terminados en el torno CNC.

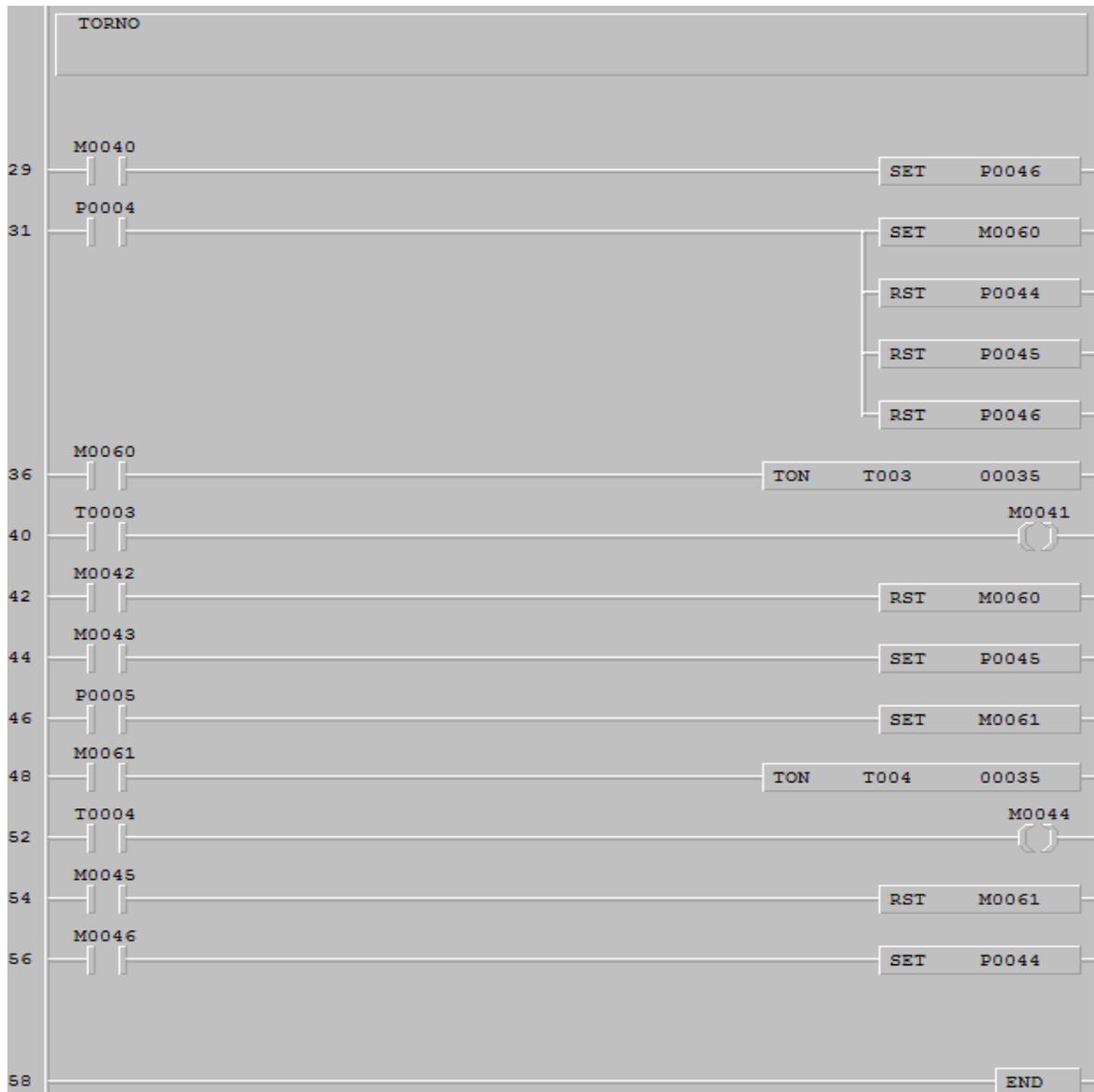


Figura 88. Programa de la estación de maquinado por torno PLC No. 3.

La tabla 13 muestra los procesos que activan los relevadores en el controlador ACL No. 3; de la misma forma que en los demás PLC, la pantalla CIM controla la activación de los relevadores.



Tabla 13. Relevadores del PLC#3 torno.

Relevadores	Comentarios
M40	Activa subprograma para cargar un template al torno
M41	Es una bandera que indica que el proceso deseado en torno ha terminado
M42	Apaga bandera que indica proceso terminado M41
M43	Activa ciclo de manufactura en torno
M44	Es una bandera que indica a la CIM que el torno puede recibir una pieza nueva
M45	Apaga bandera M44
M46	Activa parámetros iniciales del robot de la CNC torno(HOME)

3.7 Programas desarrollados para la interfaz de usuario

Como ya se describió, se dispuso la computadora CIM para monitorear y gestionar todos los procesos dentro del SMF, con el propósito de que pudiera configurarse el ciclo de manufactura, con la cantidad y tipo de piezas a manufacturar.

La pantalla LS XP90, es la computadora que funciona como la CIM del SMF, conectada con todos los dispositivos PLC, por medio del protocolo de comunicación RS-485, y es un dispositivo maestro. La pantalla puede leer y escribir registros y relevadores internos de los PLC, ya que estos son los elementos que se usan en la programación.

Para este resultado, se efectuaron tres ciclos principales de manufactura:

- ❖ Ciclo de manufactura con CNC fresa únicamente
- ❖ Ciclo de manufactura con CNC torno únicamente
- ❖ Ciclo de manufactura con CNC fresa y torno

Después de generar la programación de los controladores y los PLC's, se procedió a realizar una serie de algoritmos que permitirán efectuar los ciclos de manufactura para las máquinas de CNC, de torno y fresa.

La figura 89 muestra la primera parte del algoritmo de la pantalla CIM, donde se deberá especificar el tipo de ciclo de manufactura que se desea realizar y, a continuación, se deberá especificar el número de piezas a manufacturar.

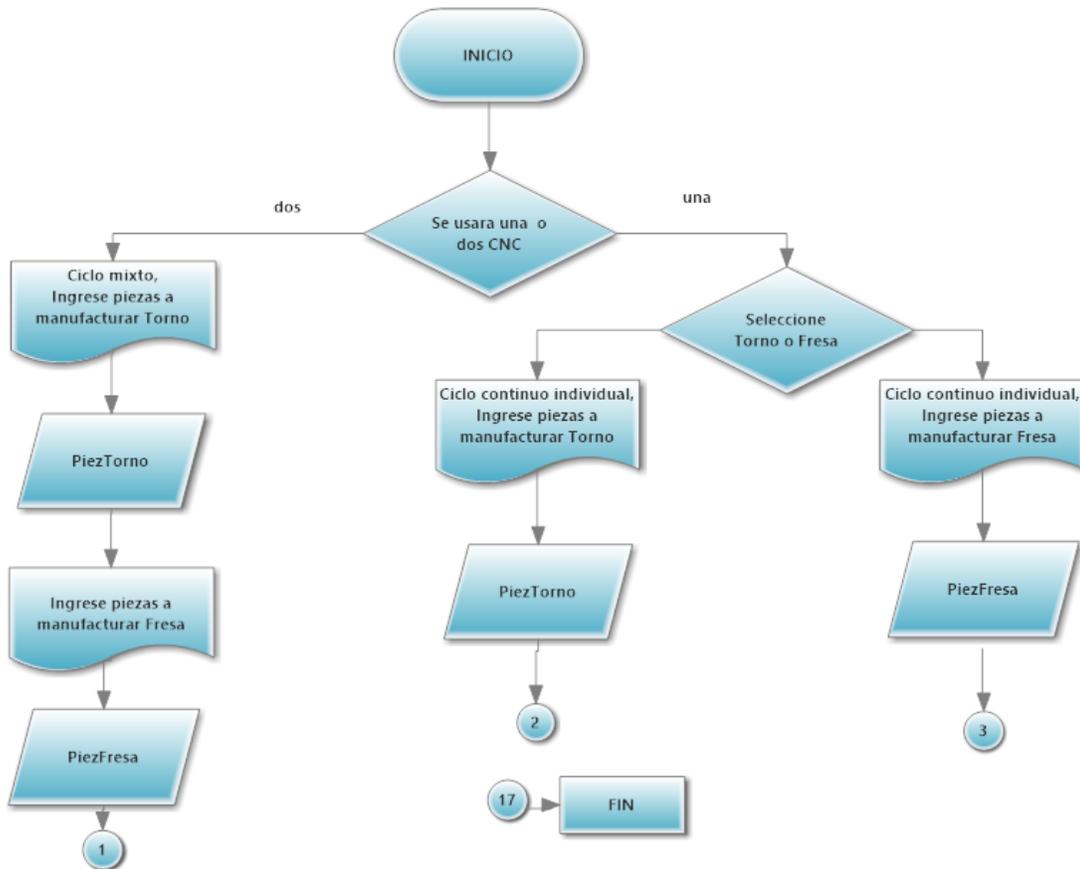


Figura 89. Diagrama de flujo de selección de ciclo.

Al diagrama de flujo de la figura 90, se accede cuando fue seleccionado el ciclo continuo por torno; en este ciclo de manufactura sólo se utiliza el torno de control numérico para manufacturar piezas, además, en esta sección del diagrama, se realiza la toma de decisiones para especificar qué hacer cuando llega una pieza con material manufacturado.

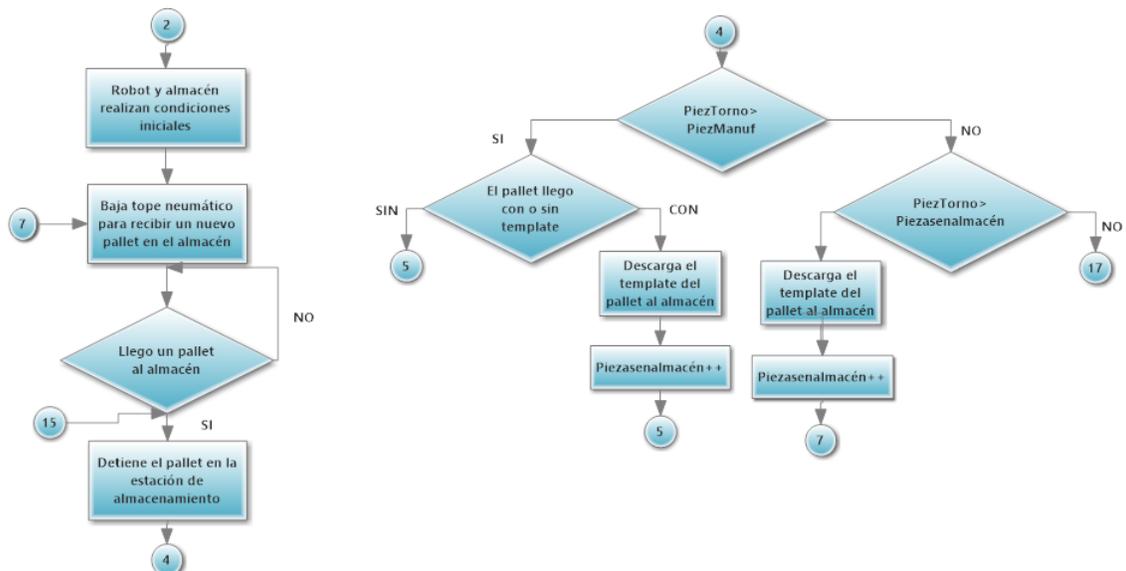


Figura 90. Diagrama de flujo de ciclo continuo torno, primera parte.

La figura 91, es la segunda parte del diagrama de flujo del ciclo continuo por torno; a esta parte del programa se accede cuando el sistema CIM decide que aún faltan piezas por manufacturar, ya que dispone de un contador que lleva el cálculo de piezas manufacturadas, y otro que lleva la relación de piezas manufacturadas que ya están en el almacén.

Cuando una pallet llega a la estación de almacenamiento, y la CIM decide que aún existen piezas por manufacturar, se envía una pieza de torno a la máquina CNC para que se machine, y luego se regresa la pieza manufacturada para ser depositada en las localidades vacías del almacén.

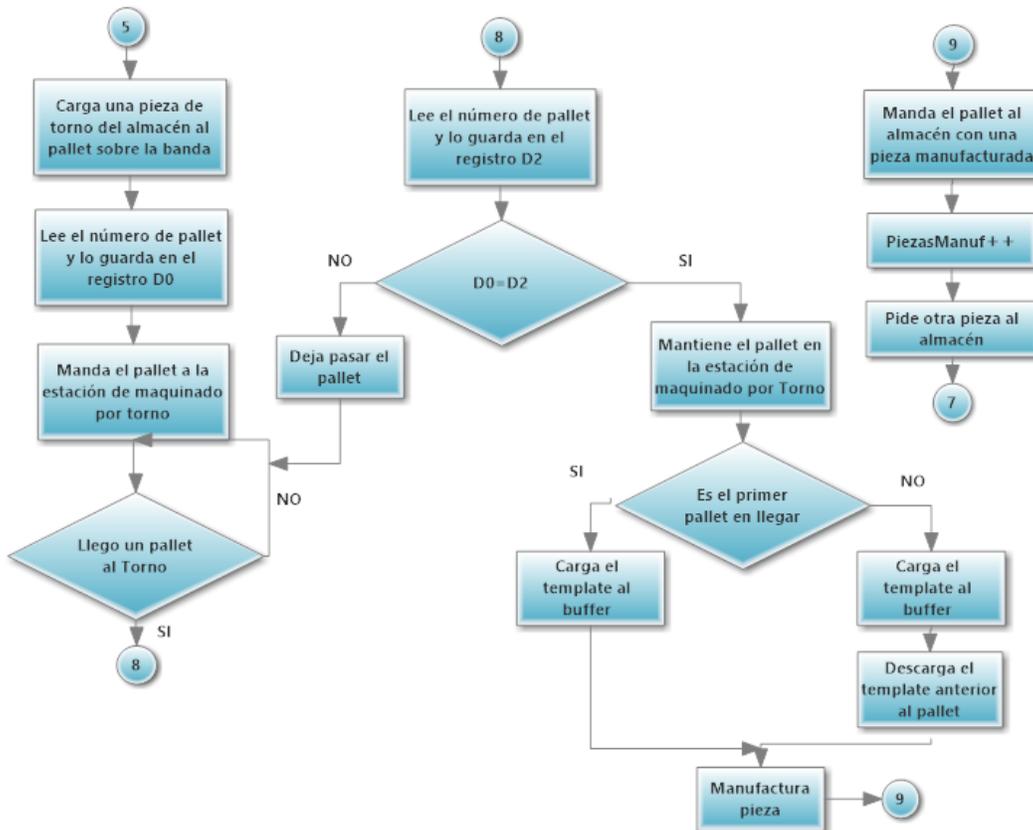


Figura 91. Diagrama de flujo de ciclo continuo torno segunda parte.

El diagrama de flujo de la figura 92, muestra el proceso realizado cuando se selecciona un ciclo continuo por fresa; ejecuta el mismo procedimiento en un ciclo continuo por torno.

Puede observarse que primero llega un pallet al almacén y, mediante los contadores, se gestiona el envío de material para fresa a la CNC.

Todos los procesos se realizan sin tomar en cuenta el tiempo de manufactura de las maquinas CNC, y el conjunto de tomas de decisión y programación de la computadora central CIM, son independientes del tiempo de manufactura y el tipo de piezas en las CNC, por lo que la CIM no puede acceder a las maquinas CNC, y seleccionar algún programa dentro de esta; solo puede activar el programa que esté en la pantalla de las máquinas CNC.

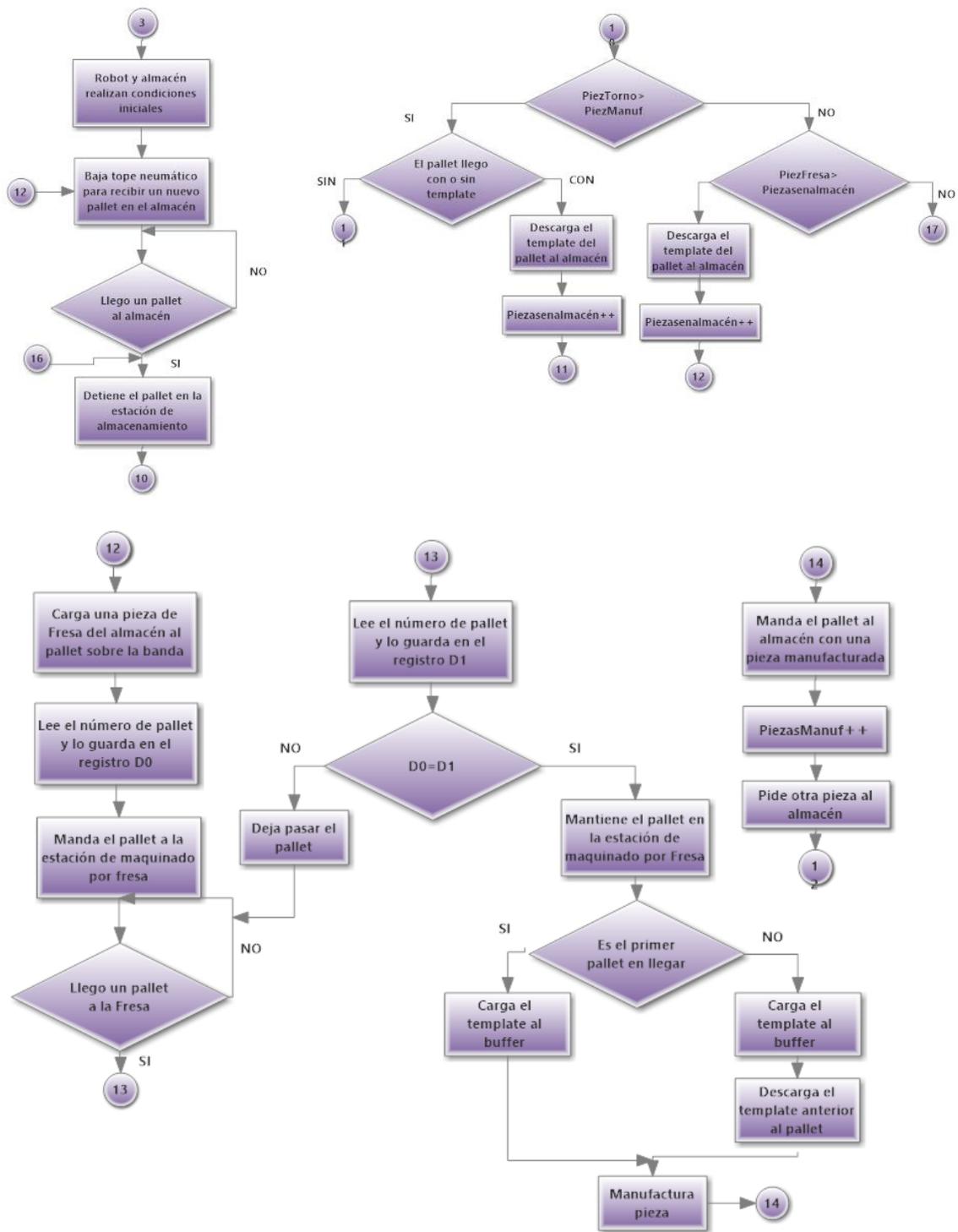


Figura 92 .Diagrama de flujo de ciclo continuo torno segunda parte.

La Figura 93, muestra el diagrama de flujo cuando se manufacturan piezas de fresa y torno en un ciclo mixto; es una combinación de los ciclos continuos de fresa y torno propuesto anteriormente. La única consideración es que, como son dos máquinas CNC, se deben duplicar los contadores para la gestión de piezas disponibles en el almacén y su remisión.

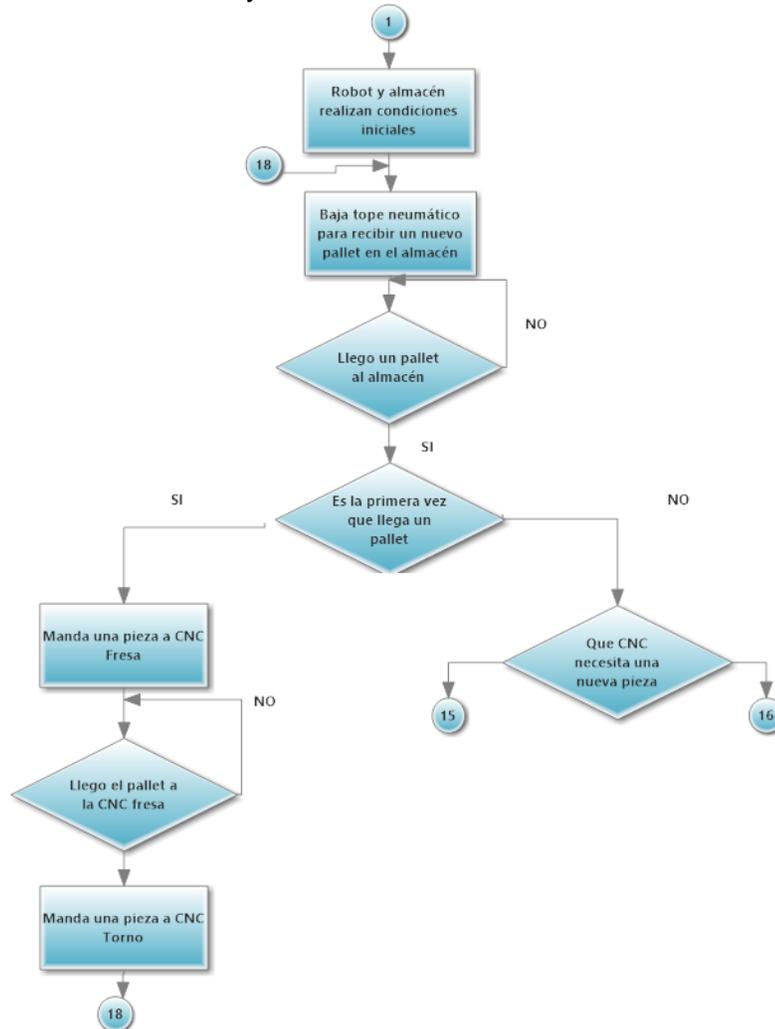


Figura 93. Programa de flujo, ciclo mixto

Después de que se realizaron los algoritmos mediante diagramas de flujo, se realizó la programación de la computadora CIM. La pantalla LS XP-90, basa su programación en el software XP-Builder; los algoritmos propuestos se realizaron mediante subrutinas de lenguaje C, y programación orientada a eventos.

Para realizar la programación de la pantalla CIM, y establecer la posibilidad de interactuar con el SMF, lo primero que se desarrolló fue el diseño de configuración de las pantallas que integrarían la interfaz gráfica mediante la programación

orientada a eventos. Para el caso, se realizó un guion gráfico (Story board), con la finalidad de contar con la opinión de alumnos y académicos sobre el diseño de la interfaz gráfica.

La figura 94 muestra la pantalla principal, ejecutada con la programación orientada a eventos; se programaron diferentes pantallas con el fin de configurar los diversos ciclos de manufactura.



Figura 94. Programación programa principal

La figura 94 muestra la pantalla principal, ejecutada con la programación orientada a objetos; se programaron diferentes pantallas con el fin de configurar los diversos ciclos de manufactura.

Los usuarios seleccionan el tipo de ciclo de manufactura a realizar, así como el número de piezas a manufacturar, y monitorean los procesos en las estaciones de trabajo.

Una vez creadas todas las pantallas de la interfaz gráfica, se realizó la programación de los algoritmos mediante subrutinas de lenguaje C básico, se establecieron una serie de programas basados en los diagramas de flujo, para ejecutar los diferentes ciclos de manufactura.

La figura 95, muestra las subrutinas realizadas dentro del software de programación XP-BUILDER.

```
1 // Copyright (c) 2001-2004
2 // All rights reserved.
3 // Visit us: http://www.lsis.biz
4 |
5
6 // Alexis cortes villarauz febrero 2015
7 // Esta script se usa para que el carrito sea leído y realice carga o descarga
8
9
10 //***** carga y descarga normal almacen*****
11
12 if(@[W:HW020]>@[W:#1:D0101])/// HW20 SON LAS PIEZAS SELECCIONADAS A MANUFACTURAR
13 {
14     /// le carro 2
15     if(@[W:#1:D0000]==2) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARR
16     {
17         if(@[W:HW0202]==0) //// HW0202 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 2
18         {
19             //// carga al carrito con una pieza nueva
20             @[X:#2:M0000]=1; //// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
21             @[X:#2:M0000]=0; //// APAGA LA SEÑAL
22             @[X:#2:M0401]=1; //// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
23             @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA
24         }
25     }
26     else
27     {
28         //// descarga pza del sistema al almacen
29         @[X:#2:M0001]=1; //// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SIST
```

Figura 95. Scripts de lenguaje C.

Las subrutinas utilizan los relevadores internos y los registros de los PLC ya programados, para activar y monitorear las diferentes estaciones de trabajo. También se programaron banderas que le indican a la pantalla LS XP90, cuando un proceso se ha terminado.

Todo el sistema de toma de decisiones, se programó para ejecutarlo desde la interfaz gráfica mediante subrutinas. EL software permite programar variables y toma de decisiones en lenguaje C.

Para acceder a los registros o relevadores de los PLC se utilizó el siguiente procedimiento.

Ejemplo lectura o escritura de los relevadores internos de los PLC:

@ [X: #2:M0000]

- ❖ X-Indica que es una variable booleana.
- ❖ #2-Indica que es el PLC2 para protocolo RS-485.
- ❖ M000-Indica el relevador interno.



Ejemplo lectura o escritura de los registros del PLC:

@ [W #1:D0000]

- ❖ W-Indica que es un registro.
- ❖ #1-Indica que es el PLC1 para el protocolo RS-485.
- ❖ D000-Indica que es el registro a manipular.

El número de estación en la red RS-485 para el SMF se repartió de la siguiente manera:

- ❖ Estación #0, computadora CIM, LS XP90 como un dispositivo maestro.
- ❖ Estación #1, PLC encargado del sistema de manejo de materiales primario.
- ❖ Estación #2, PLC encargado de la estación de almacenamiento
- ❖ Estación #3, PLC encargado de las estaciones de maquinado por fresa y torno por control numérico.

Una vez realizados las subrutinas se procedió a ingresarlos a las pantallas creadas con la programación orientada a eventos.

Las subrutinas se pueden ejecutar en forma continua, periódica, o como se muestra en la figura 96, cuando detecte flancos de subida o de bajada en los relevados internos de los PLC. Se puede decir que los script ejecutan subprogramas cuando detectan alguna bandera; para este caso son los relevadores internos.

Si se compara con un microcontrolador, las subrutinas funcionan como interrupciones, ya que se tiene un programa principal ejecutándose y las subrutinas entran en funcionamiento dependiendo de la señal que detecte la computadora CIM.

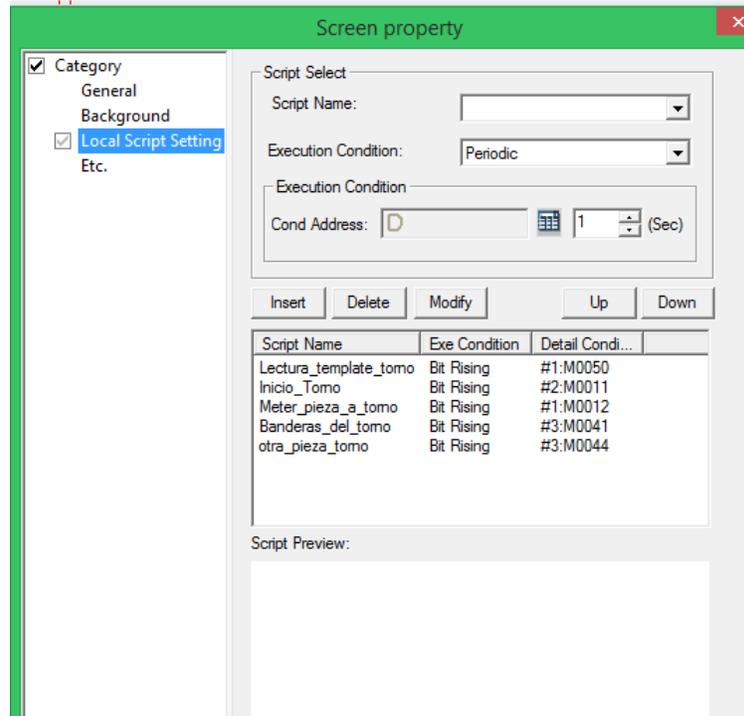


Figura 96. Ingreso de los scripts a las pantallas realizadas.

PRUEBAS

Una vez que se obtuvo la reintegración del SMF, a partir de la programación adecuada y la conexión de todos los sistemas, se efectuaron una serie de pruebas para validar las conexiones de las diferentes estaciones de trabajo, y del sistema de manejo de materiales primario, con el protocolo de comunicación propuesto.

Para desarrollar las pruebas, se creó una interfaz de mantenimiento que cuenta con una serie de botones, indicadores y registros para controlar todos los sistemas, máquinas y robots del SMF, como se muestra en la Figura 97.

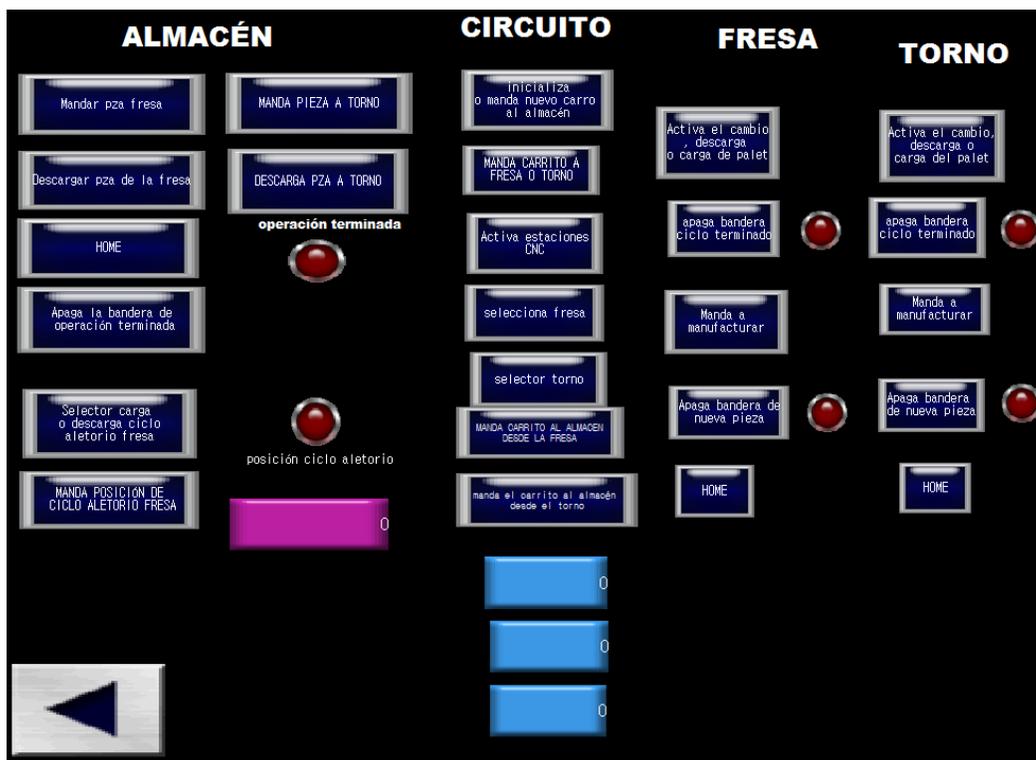


Figura 97. Interfaz de mantenimiento.

Mediante la interfaz, se probó que los PLC se comunicaran con la computadora CIM y, a su vez, los PLC enviaran las señales respectivas a los controladores ACL para activar rutinas de robots y máquinas CNC.

Con esta interfaz se pueden realizar ciclos de forma manual, y si surge algún error en el SMF o mal funcionamiento, desde esta pantalla se pueden probar los periféricos y detectar el error.



Después de probar el protocolo de comunicación, los subprogramas de los controladores ACL, y verificar que todos los sistemas se comunicaran con la pantalla CIM, se procedió a verificar la programación de los ciclos de manufactura propuestos, mediante la interfaz de usuario. Al realizar las pruebas se detectaron dos problemas.

El primer error se detectó en la programación de la interfaz de usuario, ya que no se podían leer en forma inmediata las señales de los PLC. Este problema se ubicó cuando un pallet llega a la estación de almacenamiento y el sensor responsable manda la señal al PLC, pero la computadora central CIM no detecta al instante el arribo del pallet. El error se corrigió ingresando temporizadores en los PLC, ya que de esta manera se da tiempo para que la interfaz de usuario pueda detectar lo que pasa en todos los sensores del sistema.

El segundo error que se ubicó fue en la programación de los robots, ya que al momento de configurar la computadora central CIM, después de seleccionar el ciclo y las piezas que se deseaban producir, los robots manufacturaban dos o tres piezas y se pasmaban, por lo que no terminaba el ciclo esperado.

En los manuales de los robots se precisa que los actuadores disponen de contadores, que describen el movimiento de cada articulación, mediante encoders de cuadratura almacenados en buffers, por lo que después de cierto tiempo se desborda el registro y el robot se queda estático.

El problema se corrigió ingresando en el programa la instrucción "CLRBUF" en diferentes secciones de los programas en los controladores ACL. Con el ingreso de la instrucción se borran los contadores de movimiento del robot evitando desbordamiento en el registro.

Una vez corregidos los problemas de programación y de comunicación, se llevaron al cabo una serie de pruebas en las máquinas CNC, donde se realizaron programas de control numérico que corren en vacío, ya que la herramienta nunca toca la pieza ingresada a la máquina. Se procedió a realizar pruebas en los robots de las estaciones para determinar el porcentaje de error de estos al manipular las piezas.

❖ Robot estación de maquinado por CNC torno.

Se realizaron 40 pruebas continuas donde el robot de la estación de maquinado por torno debía ingresar la pieza a la CNC, correr el programa en vacío y retirar la pieza. Si lo realizaba de forma adecuada se registraba como proceso realizado correctamente y de lo contrario se tomaba como proceso incorrecto

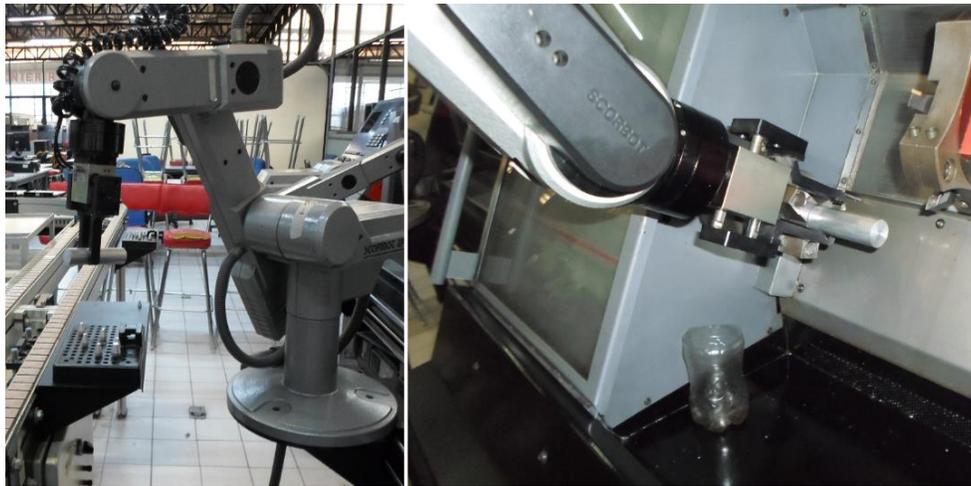


Figura 98. Manufactura en vacío en torno.

En la tabla 14 se muestran los valores que se obtuvieron al realizar las pruebas en donde de 40 piezas ingresadas al torno CNC, dos de ellas no realizaron el proceso correctamente ya que el robot no las ingreso correctamente al Chuck neumático.

Tabla 14. Pruebas de la estación de maquinado por torno.

Número de piezas ingresadas	Proceso realizado correctamente	Proceso incorrecto
40	38	2

❖ Robot estación de maquinado por CNC fresa.

Al igual que en la CNC por torno se realizaron 40 pruebas continuas donde el robot de la estación de maquinado por fresa debía ingresar la pieza a la CNC, correr el programa en vacío y retirar la pieza. Si lo realizaba de forma adecuada se registraba como proceso realizado correctamente y de lo contrario se tomaba como proceso incorrecto.

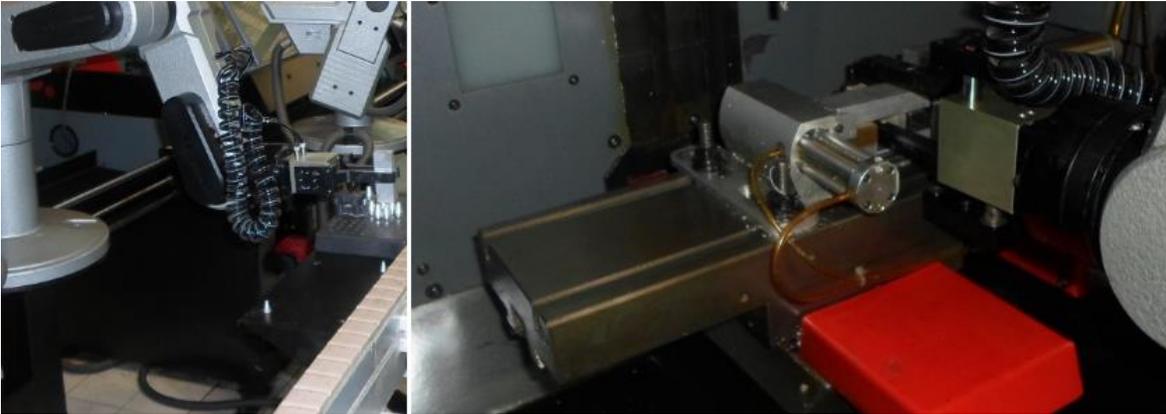


Figura 99. Manufactura en vacío en fresa.

En la tabla 15 se muestran los valores que se obtuvieron al realizar las pruebas en donde de 40 piezas ingresadas a la fresa CNC, tres de ellas no realizaron el proceso correctamente ya que el robot no las ingreso correctamente a la prensa neumática..

Tabla 15. Pruebas de la estación de maquinado por fresa.

Número de piezas ingresadas	Proceso realizado correctamente	Proceso incorrecto
40	37	3

❖ Robot estación de almacenamiento.

Se realizaron 80 pruebas continuas, 40 para de piezas de torno y 40 de piezas de fresa donde el robot de la estación de almacenamiento debía suministrar piezas a la CNC fresa y torno, cuando las CNC terminaban la corrida en vacío, el almacén debía recoger las piezas. Si lo realizaba de forma adecuada se registraba como proceso realizado correctamente y de lo contrario se tomaba como proceso incorrecto



Figura 100. Suministro de piezas del almacén.

En la tabla 16 se muestran los valores que se obtuvieron al realizar las pruebas en donde de 80 piezas del almacén fueron suministradas al sistema y reingresadas por el robot solo 71 recorrieron el ciclo exitosamente.

Tabla 16. Pruebas de la estación de almacenamiento.

Número de piezas monitoreadas	Proceso realizado correctamente	Proceso incorrecto
80	71	9

RESULTADOS

Se obtuvo una interfaz de usuario en la cual se pueden manipular y monitorear los ciclos de manufactura

En la Fig. 101, Se muestra la pantalla principal que se obtuvo como resultado de la programación del software XP-Builder donde se puede seleccionar el acceso a la pantalla de mantenimiento que se programó para realizar las pruebas y a los Ciclos de manufactura.



Figura 101. Pantalla Principal del computador CIM

Al seleccionar un ciclo continuo de manufactura, se despliega una nueva pantalla donde se puede seleccionar el ciclo continuo requerido. Ciclo Continuo de Fresa, Torno y Mixto (ver Fig. 102).



Figura 102. Pantalla selectora de ciclo.

Una vez dentro y seleccionado el ciclo, se debe ingresar el número de piezas a manufacturar. Ver Fig.103. Como ejemplo se mandó a manufacturar ocho piezas.



Figura 103. Pantalla de selección de piezas a manufactura

La programación de esta interfaz solo permite manufacturar un máximo de 18 piezas, las cuales están limitadas por los espacios asignados en el almacén, por lo

que la interfaz cuenta con un control de errores básicos delimitados por el sistema. Una vez que se tiene la selección lista, se da inicio al ciclo, Fig. 99.



Figura 104. Pantalla inicio de ciclo.

La figura 105 muestra la pantalla que se despliega antes de comenzar el ciclo de manufactura, ya que se requiere enviar a home los robots, y poner en condiciones iniciales los subsistemas de SMF.

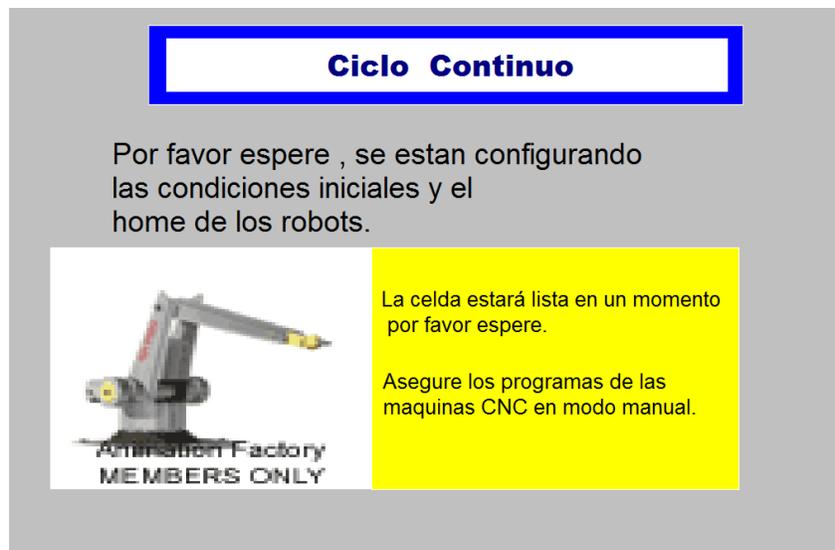


Figura 105. Condiciones y parámetros iniciales de los robots y almacén.

Al comenzar el ciclo de manufactura, el programa principal despliega la interfaz de monitoreo, la cual gestiona la ejecución de los subprogramas de las estaciones de maquinado, almacenamiento y del sistema de manejo de materiales primario.

Se observa en la pantalla desplegada de la fig.106, la distribución de la interfaz de monitoreo del sistema.



Fig. 106 Pantalla monitoreo y ejecución del ciclo continuo.

❖ Errores de manejo de piezas en las estaciones de trabajo

Al realizar las pruebas del sistema no se encontraron errores de programación en la interfaz de usuario; los errores se encontraron en los robots debido a que fueron diseñados con fines didácticos, y no cuentan con una precisión óptima para manufacturar continuamente grandes cantidades de piezas.

Los errores encontrados en los movimientos de los robots se encuentran en los siguientes casos:

- ❖ Ingreso incorrecto de piezas al chuck y prensa neumática de las estaciones de maquinado.
- ❖ Manejo de templates.



De las pruebas realizadas a los robots de las estaciones de trabajo se obtuvo la tabla 17.

Tabla 17. Pruebas realizadas a los robots de las estaciones de trabajo.

Robot por estación de trabajo	Número de pieza probadas	Procesos correctos por estación	Procesos incorrectos por estación
Maquinado CNC torno	40	38	2
Maquinado CNC fresa	40	37	3
Almacenamiento	80	71	9

De las pruebas realizadas en las estaciones de trabajo se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 18.

$$ERROR\ RELATIVO\ PORCENTUAL = \frac{|PIEZAS\ PROBADAS - PIEZAS\ PROCESADAS\ CORRECTAMENTE|}{PIEZAS\ PROCESADAS\ CORRECTAMENTE} * 100$$

Tabla 18 .Error relativo de las estaciones de trabajo.

Robot por estación de trabajo	Error relativo porcentual
Maquinado CNC torno	5%
Maquinado CNC fresa	7.5%
Almacenamiento	11.25%



CONCLUSIONES

Se logró el objetivo mediante la elaboración de diferentes subprogramas, desarrollar una interfaz de usuario general que permitiera la comunicación y el control con las estaciones de trabajo, la banda transportadora, el almacén y los robots del SMF.

Se programaron tres PLC's, que activan el cien por ciento de los subprogramas realizados en los controladores ACL de las estaciones de trabajo de almacenamiento, maquinado por CNC fresa y torno.

Se desarrolló una interfaz de usuario que cuenta con tres interfaces gráficas, y veintiséis subprogramas que monitorean y activan procesos del sistema de manufactura flexible, de manera manual y automatizada.

Se realizaron 16 subprogramas dentro de los controladores ACL, logrando el 100% de la movilidad de material en el proceso del sistema de manejo de materiales secundario.

Se logró reintegrar el 100% del SMF utilizable, ya que de cuatro estaciones, solo tres se lograron implementar con los nuevos equipos, dejando fuera la estación de inspección y ensamblado.

Se realizó la comunicación RS-485, entre los PLC's y la interfaz de usuario al 100%, donde se cuenta con tres PLC's esclavos y una pantalla XP-90 maestro.

En forma complementaria, debe acotarse que el protocolo de comunicación y conexiones realizadas, permiten la adición de estaciones de trabajo.

Debido a la complejidad de los protocolos de comunicación con los diferentes componentes, periféricos, sensores, y estaciones de trabajo del sistema de manufactura flexible, así como la ya obsoleta tecnología de los controladores, actuadores, y el software de la consola central, se debe de mantener una enseñanza continua de las aplicaciones de automatización de los años venideros, algunos de los dispositivos conectados al sistema deben ser reemplazados en un futuro no muy lejano.



TRABAJO A FUTURO

Después de considerar las conclusiones establecidas en este trabajo de tesis, y como resultado de la experiencia adquirida, conviene asentar algunas líneas que pueden constituir una ruta de trabajo, no sólo para asegurar el funcionamiento de un equipo estratégico como el SMF, sino para mantener los equipos utilizados en la automatización.

Estas líneas pueden ubicarse en dos vertientes: Mejora de procesos y Programación.

MEJORA DE PROCESOS

Es necesario adherir al SMF la estación de ensamblado, con nueva tecnología, reparando los robots y los controladores de manera que esta celda se pueda integrar al sistema realizado.

Para evitar interrupciones de mantenimiento en los ciclos de manufactura es necesario investigar los mecanismos que permitan reducir el error relativo, a cero.

Con la finalidad de tener una SMF funcional es necesario establecer un sistema de monitoreo remoto, capaz de monitorear y gestionar los procesos de la SMF mediante cámaras.

Para explotar al máximo el SMF es necesario adherir más ciclos de manufactura, donde el alumno pueda decidir diferentes secuencias, variando las máquinas y posiciones del almacén que se considere utilizar.

PROGRAMACIÓN

No puede dejar de señalarse que para realizar ciclos de manufactura eficientes, es conveniente realizar una mejor programación del SMF, reduciendo los tiempos de transporte de piezas.

Es necesario tener un método matemático que modele y genere algoritmos para implementarlo en los ciclos de manufactura, por lo que se pueden llegar a desarrollar algoritmos más ambiciosos; uno de estos métodos pueden ser las redes de Petri.



REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS:

1. MIKELL P.GROOVER. *Automation, Production Systems, and Computer-integrated manufacturing*, 3rd Ed.2008, Prentice Hall, USA.
2. GANESHA PRASAD. *Computer Integrated Manufacturing*, 1st Ed.2007, Laxmi, New Delhi.
3. A.ALAVUDEEN, N. VENKATESHWARAN. *Computer Integrated Manufacturing*, 2^a Ed.2010,Prentice-Hall,USA.
4. KALPAKJANSEROPE Y SCHMID STEVEN R, *Manufactura, Ingeniería y tecnología*, 4^a Ed.2002, Pearson education, México
5. <https://sites.google.com/site/iireyespaniagualluis/2-marco-historico/2-4-cuarta-fase> Consulta: 18 de Febrero de 2015.
6. www.ignou.ac.in/upload/UNIT6-55.pdf Consulta:18 de Febrero de 2015.
7. H. K. SHIVANAND, *Flexible Manufacturing System*, 1st Ed.2006, New age International, New Delhi.
8. <http://www.referenceforbusiness.com/management/Ex-Gov/Flexible-Manufacturing.html> Consulta: 11 de Febrero de 2015.
9. <http://scnavigator.avnet.com/wp-content/uploads/2014/12/The-Future-of-Manufacturing-Maximum-Flexibility-at-Competitive-Prices.pdf> Consulta: 10 de junio de 2015.
10. http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html Consulta: 16 de Febrero de 2015.
11. ESHED ROBOTEC. *ER-CIM user's manual*.

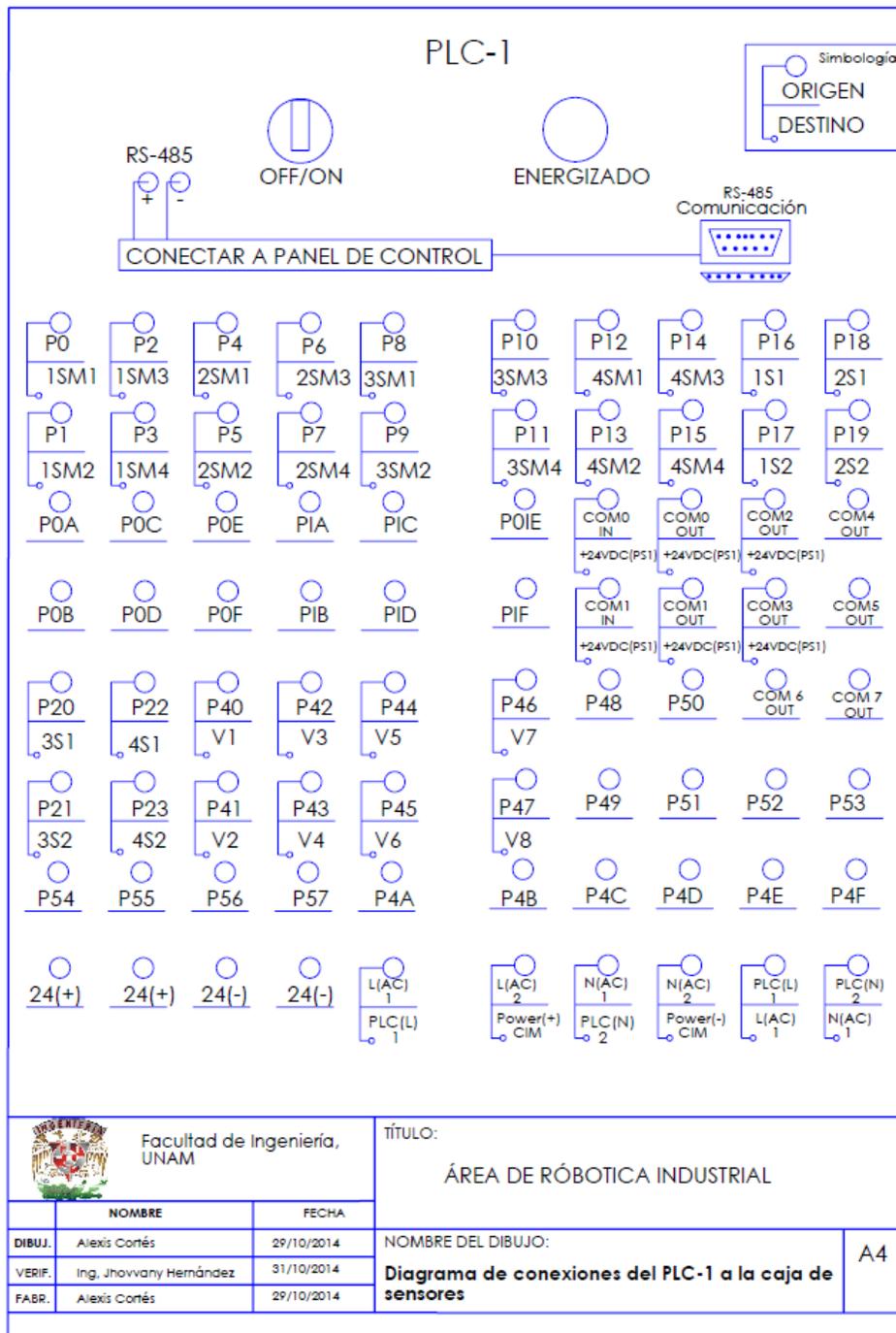


12. ESHED ROBOTEC, *Scorbot ER-VII user's manual*.
13. [http://i.ebayimg.com/00/s/MTAwMFgxMDAw/z/o7wAAOxyE-dRyxgA/\\$T2eC16hHJGkFFmyR\)!6jBRy\)g!lkPg~~60_35.JPG](http://i.ebayimg.com/00/s/MTAwMFgxMDAw/z/o7wAAOxyE-dRyxgA/$T2eC16hHJGkFFmyR)!6jBRy)g!lkPg~~60_35.JPG) Consulta: 3 de Abril de 2015.
14. LS INDUSTRIAL SYSTEMS, *Masterk 120s User's manual*.
15. LS INDUSTRIAL SYSTEMS, *XGT PANEL User's manual*.



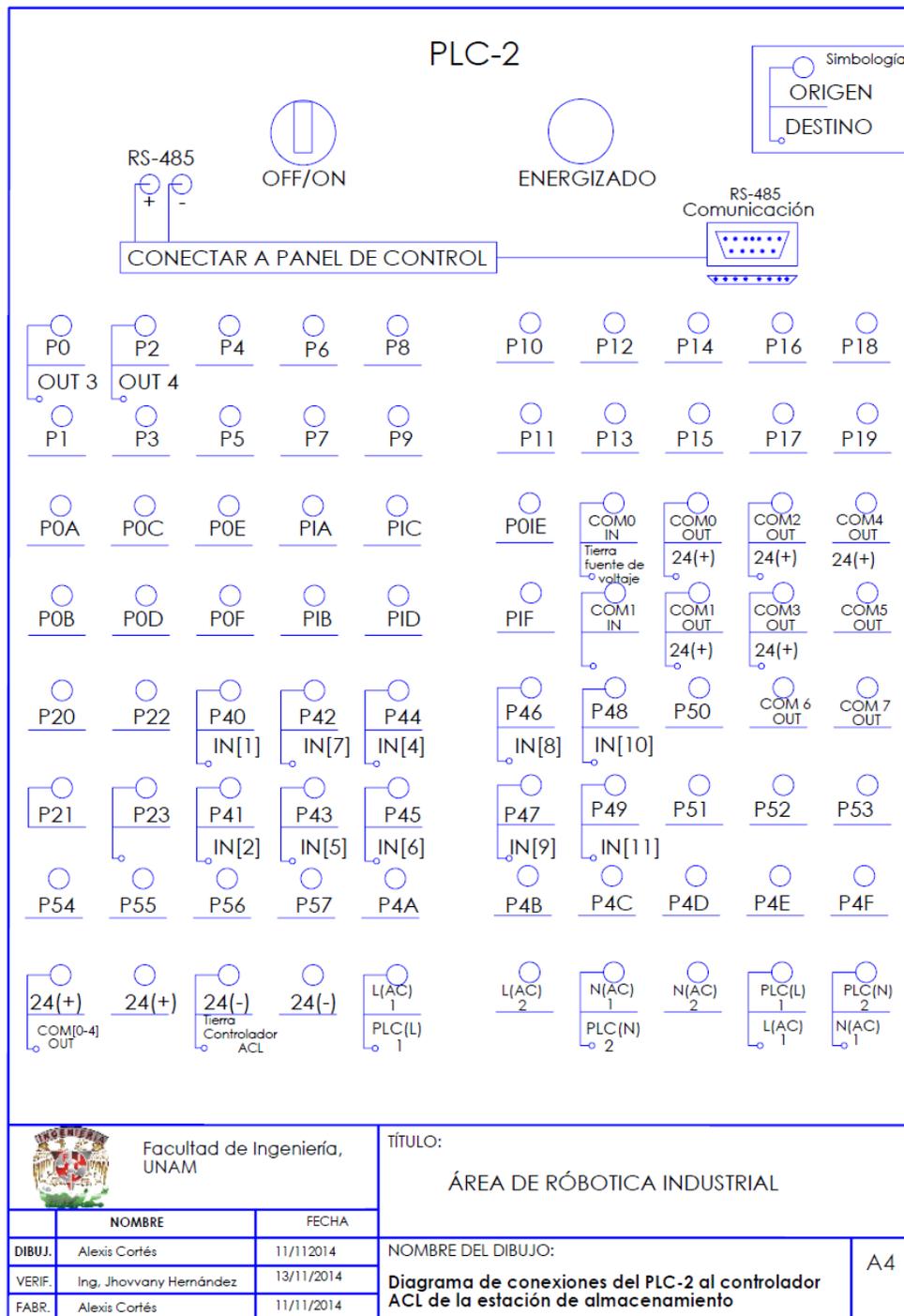
ANEXOS.

Anexo No.1, Conexiones PLC 1.



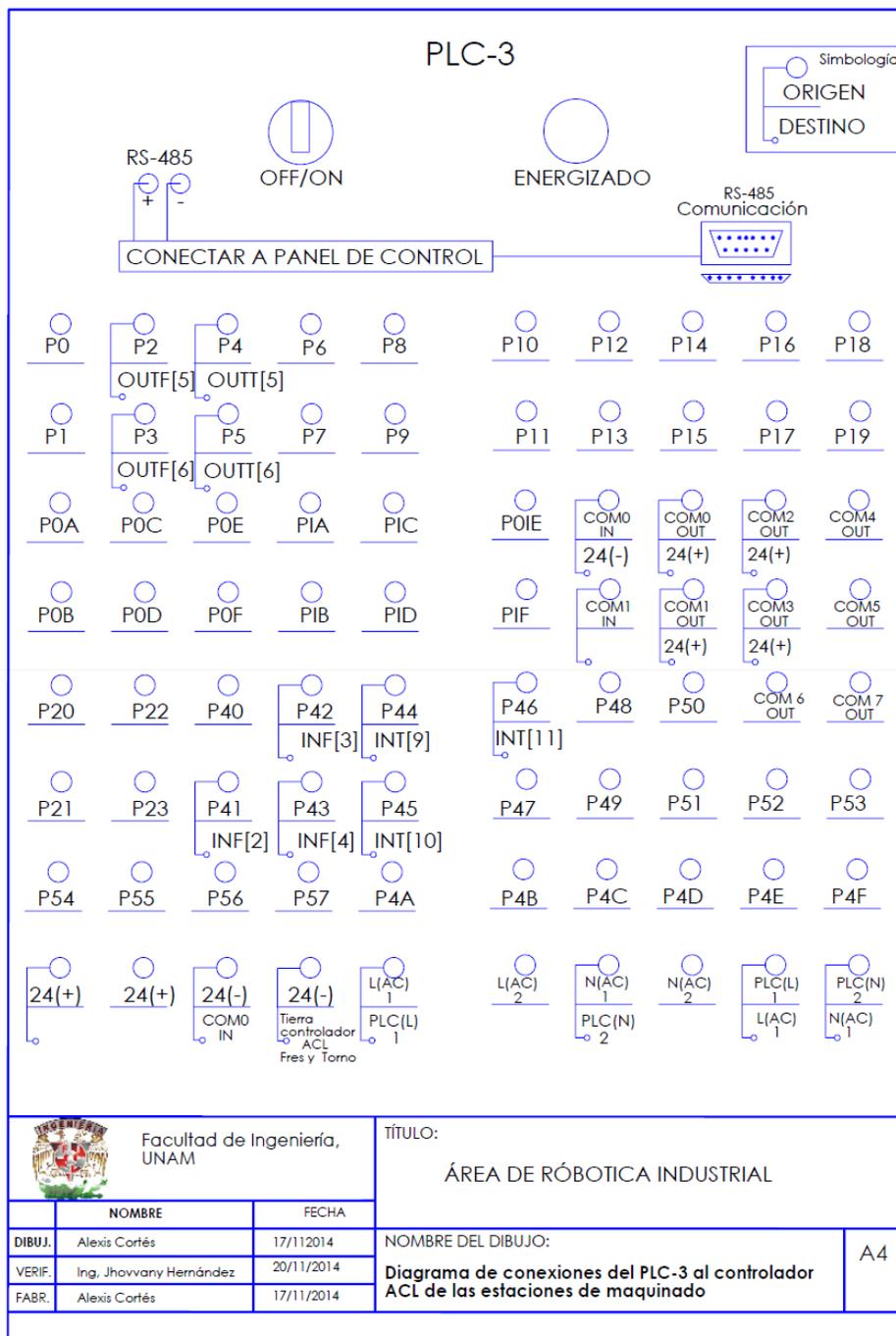


Anexo No.2, Conexiones PLC 2.





Anexo No.3, Conexiones PLC 3.





Anexo No.4, programa principal Controlador ACL estación de almacenamiento.

```
PROGRAM MANUF
*****
LABEL 1
SET OUT[2] = 0
IF IN[1] = 1
  SET C=C + 1
  MOVED POS[C]
  GOSUB CARGF
  DELAY 20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 200
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
IF IN[2] = 1
  SET D=D + 1
  MOVED POS[D]
  GOSUB DESC1
  DELAY 20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 200
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
IF IN[4] = 1
  SET E=E + 1
  SET OUT[4] = 1
  LABEL 2
  IF IN[4] = 0
    GOTO 3
  ENDIF
  GOTO 2
  LABEL 3
  SET OUT[4] = 0
ENDIF
IF IN[5] = 1
  MOVED POS[E]
  IF IN[6] = 0
    GOSUB CARGF
    DELAY 20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
    GOTO 4
  ENDIF
  GOSUB DESC1
  DELAY 20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  LABEL 4
  SET E = 0
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 100
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
IF IN[7] = 1
  SET OUT[2] = 1
  HOME
  SPEEDB 2
  HOME 7
  SET C = 0
  SET D = 0
  SET E = 0
  SET F = 0
  SET G = 0
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 150
  SET OUT[3] = 0
  SET OUT[2] = 0
ENDIF
IF IN[8] = 1
  SET F=F + 1
  MOVED POS[F]
  GOSUB CARG2
  DELAY 20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 200
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
ENDIF
IF IN[9] = 1
  SET G=G + 1
  MOVED POS[G]
  GOSUB DESC2
  DELAY 20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 200
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
IF IN[10] = 1
  MOVED POS[E]
  IF IN[11] = 0
    GOSUB CARG2
    DELAY 20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
  ENDIF
  IF IN[11] = 1
    GOSUB DESC2
    DELAY 20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
  LABEL 8
  ENDIF
  SET E = 0
  SET OUT[3] = 1
  DELAY 100
  SET OUT[3] = 0
ENDIF
GOTO 1
END
```



Anexo No.5, programa principal Controlador ACL estación de maquinado por Fresa.

```
PROGRAM  MANUF
*****
LABEL    1
SET      OUT[5] = 0
IF       IN[3] = 1
  GOSUB  PIEZ1
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  GOSUB  METER
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET    OUT[4] = 1
  DELAY  150
  SET    OUT[1] = 1
  GOSUB  SACAR
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET    OUT[3] = 1
  DELAY  100
  SET    OUT[3] = 0
  SET    OUT[13] = 1
  DELAY  100
  SET    OUT[13] = 0
  LABEL  2
  IF     IN[8] = 1
    SET  C = 1
  ENDIF
  IF     C = 1
    IF   IN[8] = 0
      GOTO 3
    ENDIF
  ENDIF
  GOTO  2
  LABEL 3
  DELAY 200
  SET   OUT[6] = 1
  DELAY 150
  SET   OUT[6] = 0
  GOSUB RETIR
  DELAY 50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET   OUT[5] = 1
  DELAY 150
  SET   OUT[5] = 0
  SET   C = 0
ENDIF

IF       IN[4] = 1
SET      OUT[5] = 0
IF       D = 0
  GOSUB  CARGA
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
ENDIF
IF       D = 1
  GOSUB  CAMBI
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  GOSUB  CARGA
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  GOSUB  DESCA
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
ENDIF
SET      D = 1
SET      OUT[5] = 1
DELAY    150
SET      OUT[5] = 0
ENDIF
IF       IN[2] = 1
  GOSUB  PINIC
  DELAY  50
  CLRBUFA
  CLRBUFB
ENDIF
GOTO    1
END
```



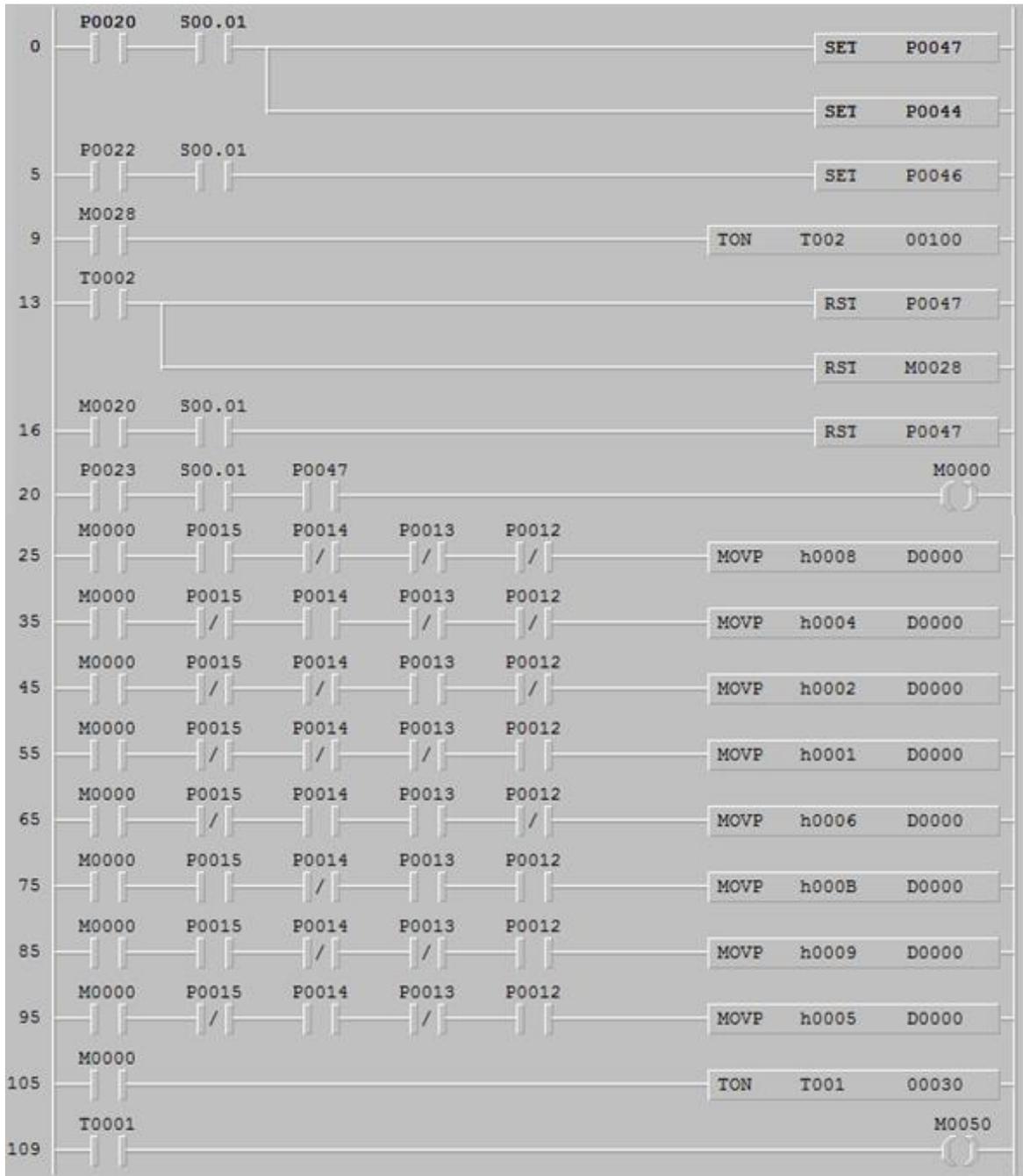
Anexo No.6, programa principal Controlador ACL estación de maquinado por Torno.

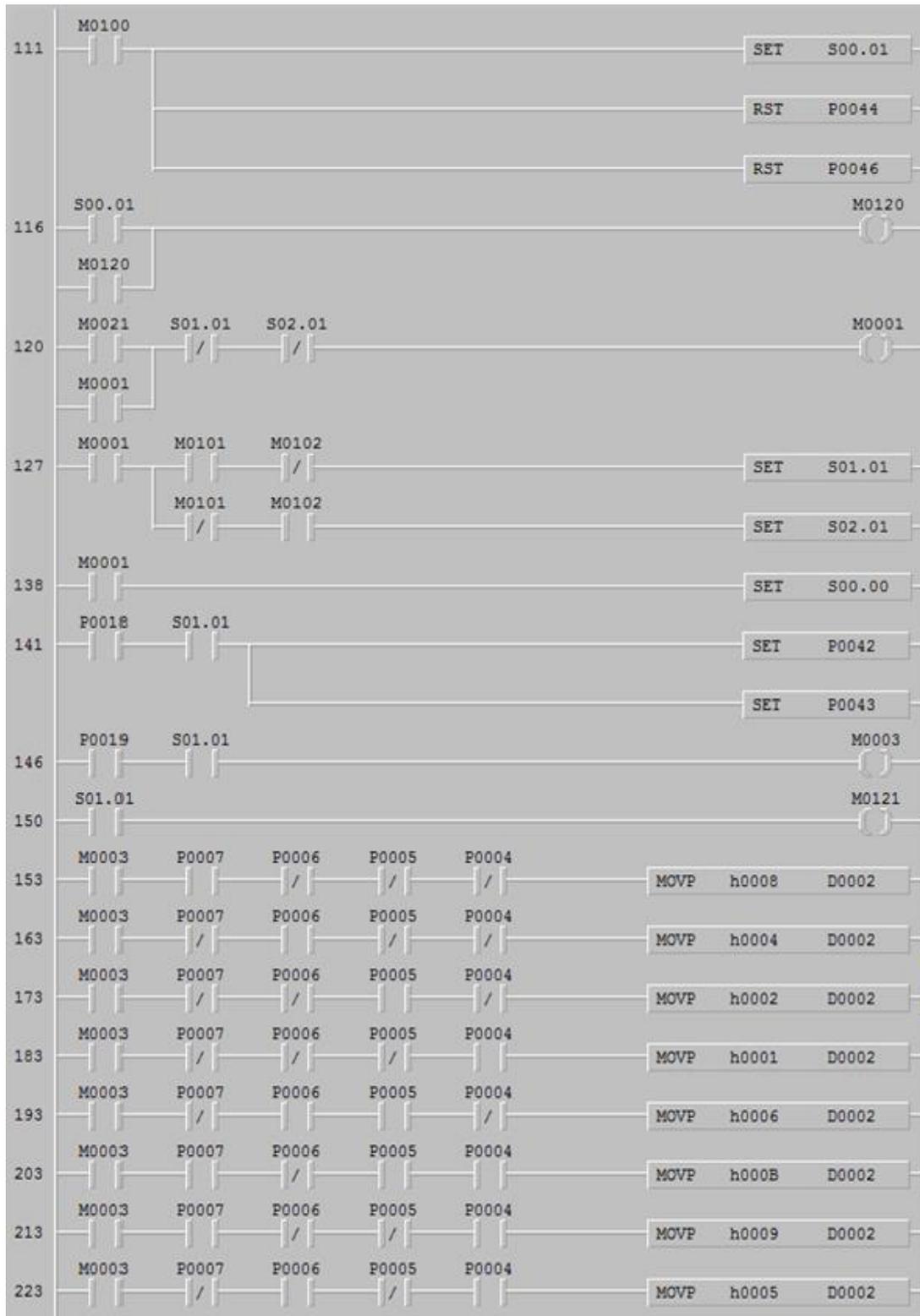
```
PROGRAM  MANUF
*****
LABEL      1
IF         IN[10] = 1
  GOSUB    PIEZA
  DELAY    20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  GOSUB    METER
  DELAY    20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  GOSUB    SACAR
  DELAY    20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET      OUT[4] = 1
  DELAY    500
  SET      OUT[2] = 0
  SET      OUT[2] = 1
  DELAY    200
  SET      OUT[2] = 0
  DELAY    200
  LABEL    2
  IF       IN[3] = 1
    SET    C = 1
  ENDIF
  IF       C = 1
    IF     IN[3] = 0
      GOTO 3
    ENDIF
  ENDIF
  GOTO     2
  LABEL    3
  DELAY    200
  SET      OUT[6] = 1
  DELAY    150
  SET      OUT[6] = 0
  GOSUB    RETIR
  DELAY    20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
  SET      OUT[5] = 1
  DELAY    150
  SET      OUT[5] = 0
  SET      C = 0
ENDIF

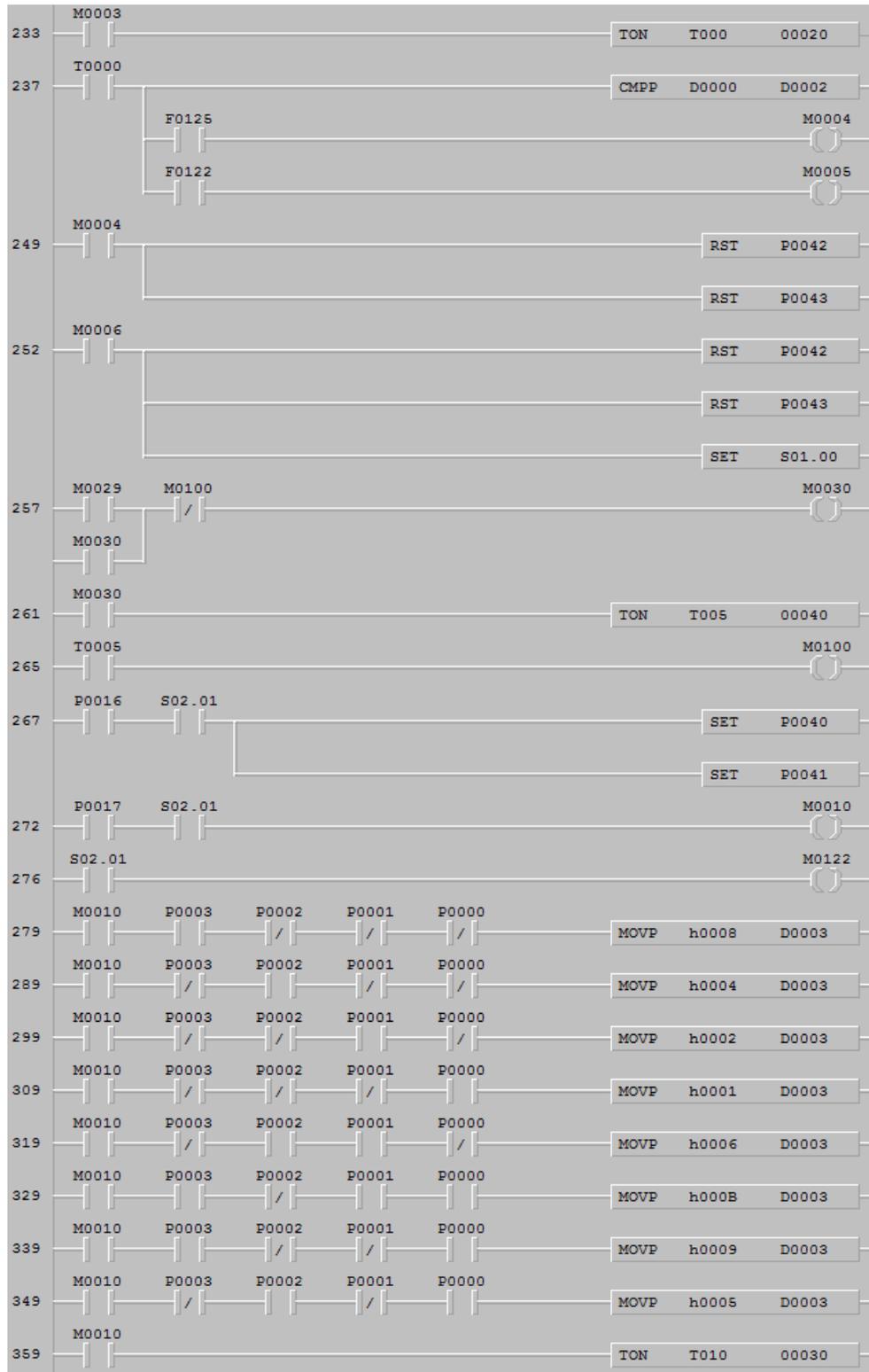
IF         IN[11] = 1
  SET      OUT[5] = 0
  IF       D = 0
    GOSUB    CARGA
    DELAY    20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
  ENDIF
  IF       D = 1
    GOSUB    CAMBI
    DELAY    20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
    GOSUB    CARGA
    DELAY    20
    CLRBUFA
    CLRBUFB
  ENDIF
  SET      D = 1
  SET      OUT[5] = 1
  DELAY    150
  SET      OUT[5] = 0
ENDIF
IF         IN[9] = 1
  GOSUB    PINIC
  DELAY    20
  CLRBUFA
  CLRBUFB
ENDIF
GOTO      1
END
```



Anexo No.7, programa del sistema de manejo de materiales primario PLC No.1.











Anexo No.8, Script para gestionar el movimiento de pallets.

```
2 // All rights reserved.
3 // Visit us: http://www.lsis.biz
4
5
6 // Alexis cortes villarauz febrero 2015
7 // Esta script se usa para que el pallet sea leído y realice programas de carga o descarga
8 // del controlador ACL #1
9
10
11 //***** carga y descarga normal almacen*****
12
13 if (@[W:HW020]>@[W:#1:D0101]) // HW20 SON LAS PIEZAS SELECCIONADAS A MANUFACTURAR
14 {
15     // D0101 ES UN REGISTRO DONDE SE ACUMULAN LAS PIEZAS QUE SE HAN MANDADO
16     // le carro 2
17     // A LA FRESA
18     if (@[W:#1:D0000]==2) // D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN
19     //EN ESTE CASO FUE EL CARRO 2
20     {
21         if (@[W:HW0202]==0) // HW0202 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 2 LLEGO CON UN PALET CON
22         //UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
23         {
24             // carga al carrito con una pieza nueva
25             @[X:#2:M0000]=1; // MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
26             @[X:#2:M0000]=0; // APAGA LA SEÑAL
27             @[X:#2:M0401]=1; // BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
28             @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1; // INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
29         }
30         else
31         {
32             // descarga pza del sistema al almacen
33             @[X:#2:M0001]=1; // MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
34             @[X:#2:M0001]=0; // APAGA LA SEÑAL
35             @[X:#2:M0402]=1; // BANDERA QUE INDICA QUE SE ESTA DESCARGANDO PIEZA DEL CARRO AL ALMACEN
36             @[W:#1:D0102]=@[W:#1:D0102]+1; // INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
37             //EXISTEN EN EL ALMACEN
38             @[W:#1:D0105]=1; // D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
39             @[W:HW0202]=0;
40         }
41     }
42 //lee carro 6
43 if (@[W:#1:D0000]==6) // D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN EN
44 // ESTE CASO FUE EL CARRO 6
45 {
46     if (@[W:HW0206]==0) // HW0206 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 6 LLEGO CON UN PALET CON
47     //UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
48     {
49         // carga al carrito
50         @[X:#2:M0000]=1; // MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
51         @[X:#2:M0000]=0; // APAGA LA SEÑAL
52         @[X:#2:M0401]=1; // BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
53         @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1; // INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
54     }
55     else
56     {
57         // descarga al carrito
58         @[X:#2:M0001]=1; // MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
59         @[X:#2:M0001]=0; // APAGA LA SEÑAL
60         @[X:#2:M0402]=1; // BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
61         @[W:#1:D0102]=@[W:#1:D0102]+1; // INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
62         // EXISTEN EN EL ALMACEN
63         @[W:#1:D0105]=1;
64         @[W:HW0206]=0;
65     }
66 }
67 //lee carro 8
68 if (@[W:#1:D0000]==8) // D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN EN
69 //ESTE CASO FUE EL CARRO 8
70 {
71     if (@[W:HW0208]==0) // HW0208 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 8 LLEGO CON UN PALET CON
72     // UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
73     {
74         // carga al carrito
75         @[X:#2:M0000]=1; // MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
76         @[X:#2:M0000]=0; // APAGA LA SEÑAL
77         @[X:#2:M0401]=1; // BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
78         @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1; // INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
79     }
80 }
```



```
76 else
77 {
78     //// descarga al carrito
79     @X:#2:M0001=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
80     @X:#2:M0001=0;    /// APAGA LA SEÑAL
81     @X:#2:M0402=1; /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
82     @W:#1:D0102=@W:#1:D0102)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
83     // EXISTEN EN EL ALMACEN
84     @W:#1:D0105=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
85     @W:HW0208=0;
86 }
87 }
88 //lee carro 4
89 if (@W:#1:D0000)==4) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN
90 // EN ESTE CASO FUE EL CARRO 4
91 {
92     if(@W:HW0204)==0) //// HW0204 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 4 LLEGO CON UN PALET CON
93     // UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
94     {
95         //// carga al carrito
96         @X:#2:M0000=1;    //// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
97         @X:#2:M0000=0;    /// APAGA LA SEÑAL
98         @X:#2:M0401=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
99         @W:#1:D0101=@W:#1:D0101)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
100     }
101     else
102     {
103         //// descarga al carrito
104         @X:#2:M0001=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
105         @X:#2:M0001=0;    /// APAGA LA SEÑAL
106         @X:#2:M0402=1; /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
107         @W:#1:D0102=@W:#1:D0102)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
108         //EXISTEN EN EL ALMACEN
109         @W:#1:D0105=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
110         @W:HW0204=0;
111     }
112 }
113 //lee carro 1
114 if (@W:#1:D0000)==1) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN
115 //EN ESTE CASO FUE EL CARRO 1
116 {
117     if(@W:HW0201)==0) //// HW0201 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 1 LLEGO CON UN PALET CON
118     //UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
119     {
120         //// carga al carrito
121         @X:#2:M0000=1;    //// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
122         @X:#2:M0000=0;    /// APAGA LA SEÑAL
123         @X:#2:M0401=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
124         @W:#1:D0101=@W:#1:D0101)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
125     }
126     else
127     {
128         //// descarga al carrito
129         @X:#2:M0001=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DECARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
130         @X:#2:M0001=0;    /// APAGA LA SEÑAL
131         @X:#2:M0402=1; /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
132         @W:#1:D0102=@W:#1:D0102)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
133         // EXISTEN EN EL ALMACEN
134         @W:#1:D0105=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
135         @W:HW0201=0;
136     }
137 }
138 //lee carro 11
139 if (@W:#1:D0000)==11) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN
140 //EN ESTE CASO FUE EL CARRO 11
141 {
142     if(@W:HW0211)==0) //// HW0211 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 11 LLEGO CON UN PALET CON
143     //UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
144     {
145         //// carga al carrito
146         @X:#2:M0000=1;    //// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
147         @X:#2:M0000=0;    /// APAGA LA SEÑAL
148         @X:#2:M0401=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
149         @W:#1:D0101=@W:#1:D0101)+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
150     }
151     else
152     {
153         //// descarga al carrito
```



```
151         @[X:#2:M0001]=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DESCARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
152         @[X:#2:M0001]=0;    /// APAGA LA SEÑAL
153         @[X:#2:M0402]=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
154         @[W:#1:D0102]=@[W:#1:D0102]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
155         //EXISTEN EN EL ALMACEN
156         @[W:#1:D0105]=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
157         @[W:HW0211]=0;
158     }
159 }
160 //lee carro 9
161 if (@[W:#1:D0000]==9) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL ALMACEN
162 //EN ESTE CASO FUE EL CARRO 9
163 {
164     if (@[W:HW0209]==0) /// HW0209 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 9 LLEGO CON UN PALET CON
165     // UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
166     {
167         /// carga al carrito
168         @[X:#2:M0000]=1;    /// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
169         @[X:#2:M0000]=0;    /// APAGA LA SEÑAL
170         @[X:#2:M0401]=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
171         @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
172     }
173     else
174     {
175         /// descarga al carrito
176         @[X:#2:M0001]=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DESCARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
177         @[X:#2:M0001]=0;    /// APAGA LA SEÑAL
178         @[X:#2:M0402]=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
179         @[W:#1:D0102]=@[W:#1:D0102]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS PIEZAS MANUFACTURADAS
180         //EXISTEN EN EL ALMACEN
181         @[W:#1:D0105]=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
182         @[W:HW0209]=0;
183     }
184 }
185 //lee carro 5
186 if (@[W:#1:D0000]==5) /// D0000 ES UN REGISTRO DONDE SE ALMACENA EL VALOR DEL CARRO QUE LLEGO AL
187 // ALMACEN EN ESTE CASO FUE EL CARRO 5
188 {
189     if (@[W:HW0205]==0) /// HW0205 ES UN REGISTRO QUE NOS INDICA SI EL CARRITO 5 LLEGO CON UN
190     // PALET CON UNA PZA MANUFACTURADA O LLEGO VACIO
191     {
192         /// carga al carrito
193         @[X:#2:M0000]=1;    /// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA CARGAR UNA PIEZA AL CARRO.
194         @[X:#2:M0000]=0;    /// APAGA LA SEÑAL
195         @[X:#2:M0401]=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
196         @[W:#1:D0101]=@[W:#1:D0101]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO PARA INDICAR QUE LLEVA UNA PIEZA
197     }
198     else
199     {
200         /// descarga al carrito
201         @[X:#2:M0001]=1;// MANDA AL PLC LA SEÑAL PARA DESCARGAR UNA PIEZA DEL SISTEMA AL ALMACEN.
202         @[X:#2:M0001]=0;    /// APAGA LA SEÑAL
203         @[X:#2:M0402]=1;    /// BANDERA QUE INDICA QUE SE ENCUENTRA CARGANDO UNA PIEZA
204         @[W:#1:D0102]=@[W:#1:D0102]+1;/// INCREMENTA EL REGISTRO QUE INDICA QUE CUANTAS
205         // PIEZAS MANUFACTURADAS EXISTEN EN EL ALMACEN
206         @[W:#1:D0105]=1;//D0105 NOS INDICA QUE SE DESCARGO LA PIEZA Y FALTAN PIEZAS POR LLEVAR A LA FRESA
207         @[W:HW0205]=0;
208     }
209 }
210 }
```