

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

Maestría en Ingeniería



“INTEGRACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA PARA
ENSAMBLE DE PIEZAS”

PROTOCOLO DE TESIS NUMERO

FROYLAN PÉREZ SERRANO

Juan C. Bonilla, Puebla.

Diciembre 2012

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

Maestría en Ingeniería



“INTEGRACIÓN DE UNA CELDA DE MANUFACTURA PARA
ENSAMBLE DE PIEZAS”

FROYLAN PÉREZ SERRANO

PROTOCOLO DE TESIS

COMITÉ EVALUADOR

M.C. AZGAD CASIANO RAMOS

ASESOR

M.C. JOSÉ PEDRO SÁNCHEZ SANTANA

SINODAL

DR. ANTONIO BENITEZ RUÍZ

SINODAL

Juan C. Bonilla, Puebla.

Diciembre 2012

Índice

1. Introducción	1
2. Marco teórico	6
2.1. Automatización	6
2.1.1. El origen de la automatización	6
2.1.2. Tipos de automatización	10
2.1.3. Niveles de automatización	12
2.1.4. Niveles de automatización de una CIM	16
2.1.5. Tecnologías de la automatización	19
2.2. Celdas de manufactura industriales	31
2.2.1. Manufactura manual y semi-manual	31
2.2.2. Manufactura automatizada	34
2.2.3. Definición de celda de manufactura	36
2.2.4. Configuraciones de las celdas de manufactura	36
2.2.5. Definición de robot, tipos y aplicaciones	41
2.2.6. Sistemas de visión por computadora	47
2.2.7. Efectos de la automatización industrial en personas, sociedad y ambiente	57
3. Planteamiento de la investigación	59

3.1. Objetivo general	61
3.2. Objetivos específicos	62
3.3. Justificación	62
3.4. Planteamiento del problema	65
3.5. Metodología	66
4. Diseño de la celda de manufactura	68
4.0.1. Trabajo a desarrollar por la celda de manufactura a implementar	68
4.0.2. Características generales de la celda de manufactura a implementar	72
4.0.3. Características técnicas de los elementos que forman parte de la celda de manufactura	73
5. Implementación	87
5.1. Estrategia de implementación	87
5.1.1. Detección automática de las piezas mediante visión artificial . .	90
5.1.2. Sistema de visión y control	91
5.1.3. Algoritmo de visión	92
5.1.4. Conexión eléctrica de los robots Motoman	96
5.1.5. Sincronización de los robots de ensamble (Motoman 1 y Motoman 2)	98
5.1.6. Interfaz de comunicación entre robots	98
5.1.7. Programación de rutinas en los robots Motoman	99
5.1.8. Control del traslado del carro metálico transportador	104
6. Resultados	109
6.0.9. Área de almacenes	109
6.0.10. Área carro metálico transportador	110

<i>ÍNDICE</i>	III
6.0.11. Área de visión	110
6.0.12. Área de ensamble	111
7. Conclusiones	112
8. Algoritmo en Lab-View de la máquina de estados	115
. Bibliografía	126

Lista de tablas

2.1. Diferencias visión humana - visión artificial	51
4.1. Especificaciones técnicas de los robots Motoman	83
4.2. Especificaciones técnicas del robot Kuka	84
4.3. Especificaciones técnicas de la cámara	84
4.4. Especificaciones técnicas de la cDAQ	85
4.5. Especificaciones Técnicas del Módulo 9474 de salidas digitales	85
4.6. Especificaciones Técnicas del Módulo 9401 bidireccional de E/S digitales	86
4.7. Especificaciones técnicas del riel y el carro metálico transportador . . .	86
4.8. Especificaciones Técnicas de los Sensores	86
5.1. Conectores de los robots Motoman	97
5.2. Rutinas programadas a ejecutar por los robots Motoman según su entra- da en código binario	108

Lista de figuras

2.1. Característica más importantes de la manufactura	9
2.2. Flujo de comunicación del Control Centralizado	13
2.3. Flujo de comunicación del Control Multicapa	14
2.4. Flujo de comunicación del Control Distribuido	15
2.5. Niveles de automatización de la CIM Modelo de la NSB (National Bureau of Standards) y Requerimientos de tiempo por nivel	16
2.6. Conjunto de tecnologías de la automatización.	19
2.7. Diagrama de bloques de los componentes de un PLC	24
2.8. Concepto de Manufactura Manual[13]	32
2.9. Diagrama de manufactura automatizada	35
2.10. Layout de un sistema de tecnología de grupos (GT)[10]	37
2.11. Diseño en forma de “U” con manipulación manual entre maquinas (‘ ‘Proc” = Operación de proceso. ‘ ‘Man” = Operación Manual)[7]	39
2.12. Diseño en línea con manipulación semi-integrada [7]	39
2.13. Diseño de bucle con manipulación semi-integrada[7]	40
2.14. .- Diseño rectangular con manipulación semi-integrada[7]	40
2.15. Cuatro tipos de movimientos en un sistema modelo de producción mez- clado. El flujo hacia delante de trabajo es de izquierda a derecha[7]	41
2.16. Inicio del proceso de automatización	46

2.17. Sistema de visión industrial: 1.- Cámara y óptica. 2.- Iluminación. 3.- Sensor de posicionamiento. 4.- Tarjeta para la adquisición de imágenes. 5.- Computador. 6.- Programa de visión/monitor. 7.- Interfase para las comunicaciones.	47
2.18. Imagen de los tipos de iluminación	48
2.19. Imagen de los tipos de cámaras	49
2.20. Imagen de los tipos de tarjeta para la adquisición de imágenes.[25] . . .	50
2.21. Diagrama general de un sistema de visión por computador. [26]	54
4.1. Acotación de las piezas que forman a la pirámide didáctica.	68
4.2. Pieza de 80mm de diámetro	69
4.3. Pieza de 100mm de diámetro	69
4.4. Pieza de 120mm de diámetro	70
4.5. Pieza de 140mm de diámetro	70
4.6. Pieza de 160mm de diámetro	70
4.7. Pieza de 180mm de diámetro	71
4.8. Ensamble de la pirámide didáctica.	71
4.9. cDAQ-9178	74
4.10. Módulo 9474 de salidas digitales	74
4.11. Diseño Almacén Materia Prima.	75
4.12. Layout de la celda de manufactura	77
4.13. Espacio físico de la Celda de Manufactura	77
4.14. Vista superior del área de trabajo de la Celda de Manufactura	78
4.15. Dimensiones del carro metálico transportador	79
4.16. Riel del carro metálico transportador	80
4.17. Diagrama de conexión de la fuente de voltaje	80

4.18. Sensor óptico	81
4.19. Modulo de E/S digitales 9401	82
4.20. Diagrama de conexión Puente “H”	82
4.21. . Esquema de control de la celda de manufactura propuesta	82
5.1. Movimientos PTP con parada exacta.	90
5.2. Dimensiones de la piezas que forman a la pirámide.	92
5.3. Algoritmo para detección de imágenes	93
5.4. Clasificación de imágenes y salida a la cDAQ.	95
5.5. Algoritmo que establece los límites en la detección de imagen.	96
5.6. Salidas de la cDAQ a módulo de lámparas indicadoras	96
5.7. Diagrama de conexión de los robots Motoman	98
5.8. Proceso para la ejecución de rutinas por los robots Motoman	99
5.9. Grupos de entradas digitales a leer por los robots Motoman 1 y 2.	100
5.10. Lógica para la ejecución de rutinas por el Motoman 1	101
5.11. Lógica para la ejecución de rutinas por el Motoman 2	102
5.12. Diagrama general de control	103
5.13. Proceso toma de imagen- ejecución de rutinas M1 y M2	104
5.14. Máquina de estados traslado de carro metálico transportador	105
5.15. Representación en bloque de la conexión eléctrica de los dispositivos de control.	107
8.1. Variables entradas, salidas y estado inicial de la máquina	116
8.2. Estado home	118
8.3. Estado Stop	119
8.4. Estado Activa Kuka	120
8.5. Estado Giro a la derecha	121

8.6. Estado Paro 1	122
8.7. Estado espera	123
8.8. Estado Giro a la izquierda	124
8.9. Estado paro 2	125

Capítulo 1

Introducción

El reto para México en los próximos 30 años es la necesidad de alcanzar un desarrollo rápido en la automatización de la pequeña y mediana empresa. Para llegar al nivel de industrialización requerido, se hace necesaria la aplicación de la automatización y la robótica, como un camino para lograr un alto grado de realización de un país productor y no maquilador [20]. Lo anterior se logra mediante la aplicación de la automatización, que se refiere a la intervención mínima o nula del hombre dentro de un proceso de fabricación, lo que trae como consecuencia el ahorro del esfuerzo laboral para el hombre. En el ámbito industrial la automatización es definida como: “El diseño de todo sistema capaz de llevar a cabo tareas repetitivas realizadas por el hombre, y que mediante acciones sincronizadas, verifique y controle diferentes operaciones en su actuar, asistido todo por un sistema programable” [14]. Otra definición de la Automatización es “un método de controlar automáticamente la operación de un aparato-artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos-electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano” [18]. En la actualidad la parte más evidente de la automatización es la robótica que ofrece ventajas importantes dentro de los procesos de manufactura, dichas ventajas son:

- Repetitividad= Menor mano de obra
- Control de calidad = Mayor satisfacción del cliente.
- Eficiencia =Mayor producción con la misma inversión, menor tiempo muerto y menor costo de mantenimiento.

Un robot industrial se define como un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas [14]. La celda de manufactura es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto [15]. De acuerdo al proceso que se lleve a cabo en la industria, las celdas de manufactura se clasifican en los siguientes tipos [21]:

- Manufactura manual
- Manufactura semi-manual
- Manufactura automatizada

El nivel de automatización que aplica al trabajo aquí presentado es el tercero, ya que corresponde a un proceso completo en el que se incluyen, además del control del proceso la optimización y supervisión del mismo [11]. Control Centralizado es el que aplica en el caso particular de esta celda de manufactura, el cual requiere de una computadora, una interfaz de proceso y una estación de operador. La ventaja principal es que su arquitectura facilita el flujo de información lo que permite el logro de los objetivos de optimización global del proceso. Su desventaja es que depende únicamente del buen funcionamiento de la computadora la cual si falla detiene todo el proceso [11]. El tipo de Automatización que aplica al trabajo aquí presentado es la flexible, que suele

estar constituida por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. En la actualidad la exigencia social a la manufactura de productos y servicios desarrollada en las industrias ha provoca que se integren sistemas automatizados que hagan más eficientes sus procesos, incluyendo tecnología avanzada como sistemas de visión artificial, instrumentación virtual, interfaces HMI, sistemas SCADA, técnicas sofisticadas de control integrados en dispositivos de alto desempeño, entre otros. En este proyecto se plantea el diseño y la implementación de una celda de manufactura para el ensamble de una pirámide de seis piezas, para lo cual se dispone de tres brazos robóticos de seis grados de libertad, un robot Kuka, dos robots Motoman, controladores Compact-DAQ de National Instruments Corp. y visión artificial. El éxito de hacer operaciones de ensamble con robots industriales, esta prácticamente basado en la exactitud del mismo robot y en la precisión del conocimiento de su medio ambiente a través de un sistema de visión por computadora, con el que se obtiene información de la geometría de las partes que se ensamblan y su localización en el espacio de trabajo [14]. Una función fundamental de las Universidades en la actualidad es la de generar conocimiento, sin embargo, el modelo de transferencia de tecnología es una herramienta que permite llevarlo más allá de las puertas de las Universidades teniendo aplicación directamente en el ámbito industrial. Ortega, considera al factor humano como otra característica fundamental para complementar y lograr la productividad industrial; para generar bienes y servicios de calidad y costos competitivos en el mercado mundial [20]. Esto implica la preparación y capacitación de recursos humanos desde las instituciones de educación superior de nuestro país. En la actualidad, la exigencia en el campo laboral al que se integran los estudiantes y egresados de las universidades públicas y privadas es muy alta, se requiere el desarrollo de conocimientos, habilidades, capacidades, actitudes y competencias profesionales, que les permitan tener un buen desempeño laboral. Esto

representa un reto tanto para las nuevas generaciones de profesionistas como para las diferentes instituciones educativas.

Para que las universidades contribuyan significativamente en la formación de sus estudiantes, es necesario que cuenten con instalaciones, materiales y equipos que permitan anticiparse a su buen desempeño en el ámbito laboral.

En este trabajo se describe la integración de una celda de manufactura en el Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica de Tlaxcala (UPTx) cuyo proceso de aplicación es el ensamble automático de una pirámide didáctica formada por seis piezas de diferentes diámetros.

El objetivo general es integrar una celda de manufactura para el ensamble de una pirámide de 6 piezas a través de tres robots manipuladores, asistida por un sistema de visión por computadora y un carro metálico transportador.

El proyecto esta formado por cuatro áreas fundamentales:

- a).- Almacenes
- b).- Carro transportador
- c).- Visión
- d).- Ensamble

En el área de almacenes, interactúa el robot Kuka con dos almacenes, tomando del de materia prima las piezas de la pirámide a ensamblar sin tener un orden en particular para colocarlas sobre el carro metálico transportador, el cual traslada la pieza del área de almacenes al área de ensamble en el que se toma la imagen de la pieza en proceso, mediante el sistema de visión por computadora y se indica al robot motaman I o II según corresponda , tome la pieza y la coloque en su correspondiente área de trabajo, para en seguida realizar el ensamble de la mitad de la piramide por cada Motoman en

sus correspondientes áreas de trabajo para después realizar el ensamblaje completo de la pirámide o producto terminado. Una vez teniendo la pirámide completa el Motoman I la toma y la coloca sobre el carro metálico transportador para que éste regrese al área de almacenes, donde el robot Kuka toma el producto terminado y lo coloca en el almacén correspondiente.

Los resultados obtenidos a partir de la fabricación del riel y carro metálico transportador, seguido por el desarrollo del algoritmo para la adquisición, procesamiento y clasificación de las imágenes aplicables al sistema de visión, la implementación de la interfaz de comunicación y la programación de las rutinas que ejecutan los manipuladores han sido exitosas, ya que se ha logrado la integración y funcionamiento adecuado de la celda de manufactura.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Automatización

2.1.1. El origen de la automatización

Fue a partir del Neolítico, tercera etapa de la prehistoria (7000 a.C -4000 a.C) del que se tienen los primeros vestigios del inicio en el uso de distintas herramientas manuales, la cual fue una época de cambio trascendental en la que se pasa de la economía depredadora a la productiva. La fabricación de herramientas sufrió también un cambio ya que se pasó de la construcción de instrumentos de caza a instrumentos agrícolas. En esta época también aparece la cerámica que es utilizada para guardar la cosecha y los pueblos dejan de ser nómadas para volverse sedentarios.

La Revolución Neolítica es la consecuencia de una serie de cambios que se producen en la vida del hombre, mediante la aparición de la agricultura y la ganadería, dando origen al comercio, a la construcción y a la técnica en las primeras culturas de Mesopotamia. Esto favoreció el perfeccionamiento de las operaciones de medición y cálculos matemáticos.

La invención de las herramientas contribuyó en la disminución del trabajo para el

hombre, lo cual propició la creación de las maquinas para la generación de productos y servicios. Lo anterior trajo consigo el desarrollo de la capacidad de medir, controlar, calcular y regular ciertos fenómenos naturales y artificiales, lo que dio origen a la mecanización.

Fue en la Edad Media cuando se aprovechó al máximo la mecanización, aplicándola en actividades productivas y de transformación que permitieran el crecimiento económico de los pueblos. En seguida surge la revolución industrial en Europa, periodo histórico comprendido entre los años 1750 y 1840, en el que se generan cambios socioeconómicos, tecnológicos y culturales importantes. En éste proceso de transición, la economía basada en el trabajo manual fue reemplazada por la dominada por la industria y la manufactura. La revolución comienza con la mecanización de la industria textil y el desarrollo de los procesos para el tratamiento del hierro y el carbón.

A partir del inicio de la revolución industrial, cronológicamente la historia de la automatización se resume en los siguientes hechos:

- 1745 maquinas de tejido controladas por tarjetas perforadas
- 1817-1870 maquinas especiales para corte de metal.
- 1863 primer piano automático.
- 1856-1890 Sir Joseph Whitworth enfatiza la necesidad del uso de piezas intercambiables.
- 1870 primer torno automático.
- 1940 surgen los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos para maquinas de corte automáticas.
- 1945-1948 John Parsons comienza investigación sobre control numérico.

- 1960-1972: Se desarrollan técnicas de control numérico directo y manufactura computarizada. [17]

A partir de la aplicación de la división técnica de las actividades en un trabajo industrial y la creación de métodos para la implementación de procesos de producción en serie de productos y servicios, da inicio una nueva etapa de cambio en la vida del hombre la cual pasa de la mecanización a la automatización. La palabra automatización fue utilizada por primera vez en 1935 en la industria automotriz (General Motors Company).

El concepto automatización del griego autos que significa “por uno mismo” y maiomai que significa “lanzar”, se refiere a la intervención mínima o nula del hombre dentro de un proceso de fabricación lo que trae como consecuencia el ahorro del esfuerzo laboral para el hombre.

En el ámbito industrial la automatización es definida como:

“El diseño de todo sistema capaz de llevar a cabo tareas repetitivas realizadas por el hombre, y que mediante acciones sincronizadas, verifique y controle diferentes operaciones en su actuar, asistido todo por un sistema programable” [14].

Otra definición de la Automatización es “un método para controlar automáticamente la operación de un aparato-artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos-electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano” [18].

Es a partir de la evolución y la integración de las distintas disciplinas que forman parte de la ciencia y la tecnología, tales como la mecánica, la electrónica, la electricidad, el control y la computación lo que da origen al desarrollo de la automatización integral y a los dispositivos automáticos.

Una diferencia entre la Mecanización y la Automatización es la siguiente:

Mecanización: Es algo que se hace u opera por maquinaria y no a mano. No se proporciona retroalimentación; es decir se trata de un control de lazo abierto.

Automatización: Implica un control de lazo cerrado en su forma avanzada en el que se utilizan dispositivos programables y cuya flexibilidad puede ser de dos tipos:

1.- Automatización dura se refiere a métodos de control que requieren de un esfuerzo considerable para reprogramar las diferentes partes u operaciones.

2.- Automatización suave o flexible implica agilidad de reprogramación, con frecuencia solo cambiando el software.[23]

La automatización ha mejorado las condiciones de seguridad en un ambiente laboral, la calidad de los productos que se fabrican y ha aumentado la producción industrial. Para la manufactura las secciones o características más importantes son: (ver Figura. 2.1)



Figura 2.1: Característica más importantes de la manufactura

El objetivo principal de la automatización es minimizar el trabajo del hombre cuando realiza actividades repetitivas en las que se incluye actualmente la “toma de decisiones” mediante dispositivos autómatas o programables.

En la actualidad la parte más evidente de la automatización es la robótica que ofrece ventajas importantes dentro de los procesos de manufactura, dichas ventajas son:

Repetitividad= Menor mano de obra

Control de calidad = Mayor satisfacción del cliente

Eficiencia = Mayor producción con la misma inversión, menor tiempo muerto y menor costo de mantenimiento.

2.1.2. Tipos de automatización

Dentro de los sistemas de manufactura modernos existen seis formas o tipos de automatización, que incluyen diversas tecnologías para operar y controlar a la producción, entre las que destacan herramientas automáticas para procesar ciertas piezas, robots industriales, sistemas de inspección con visión por computadora, maquinas de montaje y ensamble automático, etc. Dichos tipos de automatización son los siguientes:

1.- Control automático de procesos: Este tipo de automatización se refiere básicamente al mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente y comparándolo con el valor deseado, utilizando la diferencia para poder reducirla. Esto da origen a un elemento importante dentro del control automático que es lazo de control realimentado en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida del sistema.

2.- Procesamiento electrónico de datos: Este tiene relación con los sistemas de información y centros de cómputo, sin embargo, en la actualidad tienen la tarea de obtener, analizar y registrar los datos de un proceso, mediante la aplicación de interfaz de comunicación y las computadoras.

3.- Automatización fija: Es aquella que está asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: relevadores, compuertas lógicas e incluso la aplicación de los PLC para

obtener una mayor flexibilidad del sistema. Se diseña y utiliza equipo muy especializado para procesar un producto. Las características elementales de éste tipo de automatización son: a.- Fuerte inversión inicial para obtener el equipo específico de ingeniería, b.- Altos índices de producción, c.- Relativamente inflexible en adaptarse a cambios rápidos en el producto, d.- Su ciclo de vida está en función a la vigencia del producto en el mercado.

4.- Automatización programable: Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software). Las características típicas de este tipo de automatización son: a.- Fuerte inversión en equipo general, b.- Índices bajos de producción en comparación con la automatización fija, c.- Flexibilidad para realizar cambios en la configuración del producto, d.-Conveniente para la producción en secciones.

5.- Automatización flexible: Es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programable. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. Sus características típicas son: a.-Fuerte inversión para obtener el equipo de ingeniería, b.- Producción continua de diferentes tipos de productos, c.-Índices de producción media, d.-Flexibilidad para realizar variaciones en el diseño del producto.

6.- Automatización integrada: Tiene como objetivo principal la integración de los distintos tipos de automatización dentro del sistema productivo. Sus características son: a.-existe una mayor diversificación del producto, superior a la automatización flexible, b.- permite disminuir los plazos de entrega del producto, c.- su implantación

está justificada, ya que funciona en procesos de producción discretos y continuos.

2.1.3. Niveles de automatización

El modelo estructural de un sistema automatizado está compuesto de dos partes importantes, por un lado la parte operativa y por el otro la parte de control. La parte operativa a su vez está integrada por los actuadores cuya función principal es la conversión de información de control a fin de cambiar las variables del proceso y además son elementos de corrección, algunos ejemplos de estos son los relays, magnetos y servomotores. Su ubicación física es en algún punto directamente dentro del proceso.

En la parte de control se disponen los elementos que realizan el procesamiento de la información obtenida mediante los sensores del estado físico del proceso y emiten una señal de respuesta para mantener el control del proceso. Es en esta parte es donde se lleva a cabo el dialogo y se genera la interfaz de comunicación entre los dispositivos que forman parte del sistema. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos son los Controladores Lógicos Programables (PLC), Microcontroladores, Computadoras Personales (PC) y Sistemas de control de proceso.

De manera general los niveles de automatización de un proceso de producción son los siguientes:

Nivel elemental

Este corresponde a una máquina o un proceso sencillo, cuya finalidad es la vigilancia de tiempos muertos, posicionamiento de piezas en el proceso y funciones de seguridad mediante la operación de alarmas y paros de emergencia de la máquina.

Nivel intermedio

Es la integración y utilización de un conjunto de máquinas elementales o bien una máquina compleja.

Tercer nivel

Este nivel de automatización se caracteriza por ser un proceso completo, en el que se incluye además del control elemental del proceso, otros aspectos como la Supervisión, Optimización, Gestión del Mantenimiento, Control de Calidad y el Seguimiento de la Producción.[11]

Los tipos de control que se aplican en el tercer nivel de automatización son los siguientes:

Control centralizado

Este control requiere de una computadora, una interfaz de proceso y una estación de operador. La ventaja principal es que su arquitectura facilita el flujo de información lo que permite el logro de los objetivos de optimización global del proceso. Su desventaja es que depende únicamente del buen funcionamiento de la computadora la cual si falla detiene todo el proceso.

Esquemáticamente el flujo de comunicación es el siguiente (ver Figura 2.2):[11]

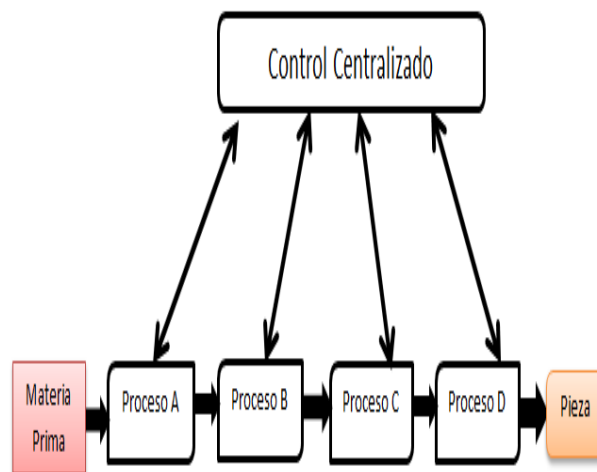


Figura 2.2: Flujo de comunicación del Control Centralizado

Control multicapa o de supervisión

Este tipo de control presenta una variante con respecto al control centralizado la cual consiste en la integración de un nivel jerárquico más de control (ver Figura 2.3).[11]

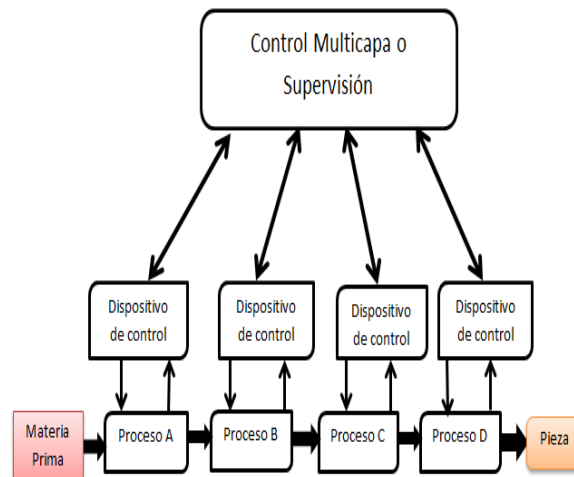


Figura 2.3: Flujo de comunicación del Control Multicapa

Control distribuido

En éste existen varias unidades de control y fabricación que ejecutan las mismas tareas dentro de un proceso de fabricación y en caso de falla o sobre trabajo en alguna unidad de control, es posible transferir una parte de las tareas a otras unidades. La finalidad de hacer el “by-pass” a las unidades de control, es evitar bloqueos innecesarios del sistema y se requiere de una gran capacidad de acceso a la comunicación y tratamiento de la información por parte de las islas que componen al sistema (ver Figura 2.4) [11]

Cuarto nivel

Este nivel de automatización está formado por la CIM (Computer Integrated Manufacturing), Manufactura Integrada por Computadora la cual incluye conceptos tales como, Gestión Empresarial, Planificación y Programación, entre otros.[11]

Una CIM se planifica de arriba hacia abajo, pero se implanta de abajo hacia arriba.

En un sistema automatizado intervienen los “Procesos Técnicos” que se definen

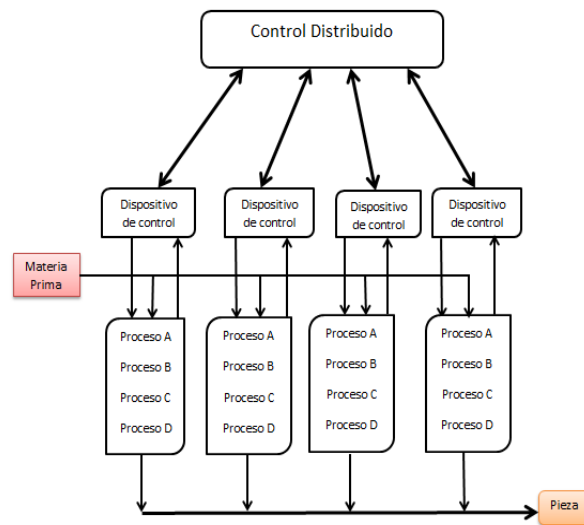


Figura 2.4: Flujo de comunicación del Control Distribuido

como “el conjunto de todos los subprocessos interactuantes dentro de un sistema que transforman y almacenan material, energía o información” [11].

Proceso Técnico = Manufactura Integrada por Computadora (CIM)

Una CIM implica una estrategia progresiva de automatización, la cual avanza en las siguientes etapas:

- Células: En esta etapa se racionaliza la planta, determina la cantidad de elementos técnicos necesarios para manufacturar un producto.
- Islas de Automatización: Implica la automatización y el sistema de control de las células.
- Integración de las Islas en FMS (Flexible Manufacturing System).
- Integración de planta: Coordinación de FMS, Implantación de AMH (Automated Materials Handling)
- Unión de CAD/CAM con la planta

- Integración de los MPCS (Manufacturing Planning Control Systems).

2.1.4. Niveles de automatización de una CIM

Este concepto responde a una estructura piramidal jerarquizada, en cuya cúspide se producen las decisiones de la política empresarial. En la base, lo que se pretende es que las denominadas islas de automatización (Autómatas Programables, maquinas de control numérico, robots, etc.), Se integren en un sistema de control jerarquizado y distribuido que permita la conversión de decisiones de política empresarial en operaciones de control de bajo nivel en tiempos cortos (Ver Figura 2.5)

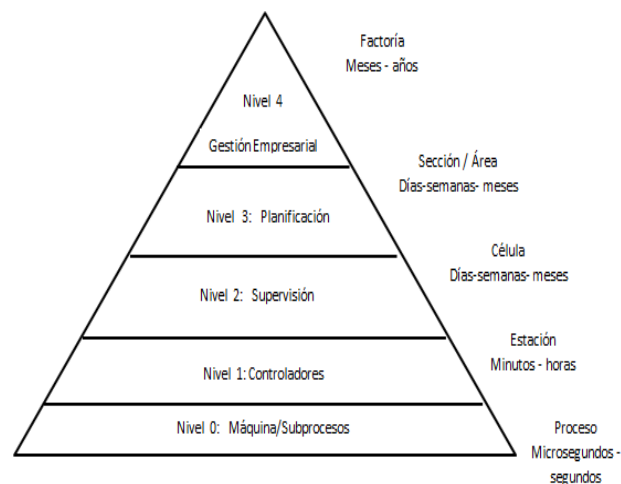


Figura 2.5: Niveles de automatización de la CIM Modelo de la NSB (National Bureau of Standards) y Requerimientos de tiempo por nivel

[11]

En seguida se realiza la descripción general de las características principales y elementos que integran a cada uno de los niveles de la pirámide.

Nivel 0

Lo integran el conjunto de dispositivos, subprocesos y maquinaria en general, con que se realizan las operaciones elementales de producción de la empresa. También forman

parte de éste nivel los dispositivos de campo que intervienen en el proceso tales como los sensores y actuadores. Aquí se obtienen las variables de proceso y es la información de menor rango en la pirámide.

Nivel 1

Está integrado por los dispositivos lógicos de control, tales como: Autómatas programables, tarjetas de control, ordenadores industriales, etc. Estos elementos proporcionan el mando y el control directo a la maquinaria del nivel 0 y además proveen información del estado del nivel 0 al nivel 2.

Nivel 2

En este nivel se realiza la supervisión y el control del sistema, mediante la intervención humana o recursos informáticos que ejecutan las siguientes tareas:

- Adquisición y procesamiento de información
- Monitoreo permanente
- Gestión de alarmas y asistencia
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Control de calidad
- Sincronización de células
- Coordinación de transporte
- Seguimiento de lotes
- Seguimiento de órdenes de trabajo

El nivel 2 emite órdenes de ejecución al nivel 1 y recibe información del nivel 1 para saber su estado.

De igual forma, el nivel 2 recibe los programas de producción, calidad y mantenimiento emitidos por el nivel 3 y realimenta a dicho nivel con las incidencias que se tengan, tales como estado de las órdenes de trabajo, situación de la maquinaria y estado del proceso de producción.

Nivel 3

Es el nivel de Planificación, del que se emiten los programas de producción, calidad y mantenimiento hacia el nivel 2 y éste recibe las incidencias de la planta. El nivel 3 recibe del nivel 4 la información correspondiente a pedidos en firme, previsiones de venta e ingeniería de producto y proceso. La información enviada por éste nivel es en relación al cumplimiento de programas, costos de fabricación y operación así como cambios en ingeniería.

En este nivel se realizan las siguientes tareas: Programación de la producción, gestión de compras, análisis de costos de fabricación, control de inventarios, gestión de recursos de fabricación, gestión de calidad y de mantenimiento.

Nivel 4

Este nivel de automatización envía al nivel 3 la información relativa a la situación comercial en cuanto a pedidos y previsiones, así como información de ingeniería de producto y proceso. En el nivel 4 se ajusta la planificación global ya que recibe la información sobre el cumplimiento de programas y costos del nivel 3 de automatización.

Las tareas que se realizan en este nivel 4 de automatización son: Gestión comercial y marketing, planificación estratégica, financiera y administrativa, gestión de recursos humanos, ingeniería de proceso y producto, gestión de tecnología y sistemas de información e investigación y desarrollo.

En términos generales, los dos primeros niveles de automatización son parte del ambiente de la fábrica y los tres últimos corresponden a un ambiente de oficina dentro de una empresa.

2.1.5. Tecnologías de la automatización

El presente trabajo de investigación se centraliza en las tecnologías de la automatización, particularmente en la aplicación para las celdas de manufactura en la que interviene principalmente tres robots industriales de seis grados de libertad, un sistema de visión por computadora y un carro metálico transportador, para realizar el ensamble de una “pirámide didáctica” la cual es el producto final obtenido del proceso.

Existe un contexto teórico sobre la aplicación de las celdas de manufactura flexibles, en el que se involucran las distintas áreas del conocimiento científico y tecnológico necesario para crear a la manufactura automatizada. Lo anterior se conceptualiza en la figura 2.6 [13]

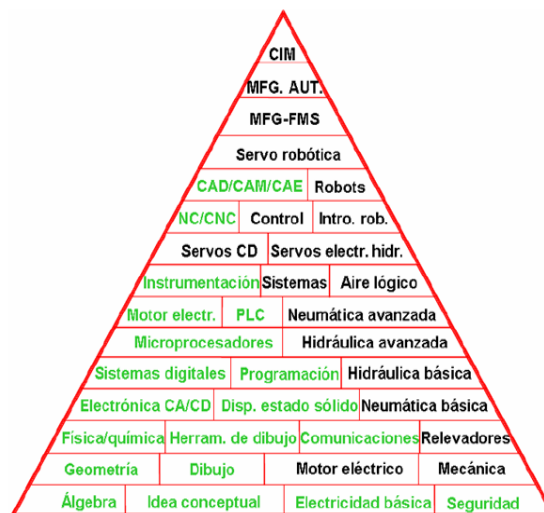


Figura 2.6: Conjunto de tecnologías de la automatización.

Con la aplicación de esta pirámide, que incorpora a las tecnologías de la automatización, se comprueba su eficiencia para el desarrollo de la manufactura moderna debido a su formación sistemática.

La interpretación para la aplicación de esta pirámide es la siguiente:

La base de la pirámide que integra al conjunto de tecnologías de la automatización

está compuesta principalmente de la conceptualización de una idea del proceso a desarrollar, del álgebra, rama de las matemáticas que comprende la generalización de los cálculos aritméticos cuyo símbolos son los números y las letras que representan cantidades constantes y variables. Así mismo, de la electricidad que es una forma de energía que da significado al movimiento de las cargas eléctricas formadas por paquetes de electrones que fluyen en cierto sentido a través de los conductores capaz de generar movimientos mecánicos, manifestaciones luminosas y térmicas que tienen aplicación en las celdas de manufactura. La seguridad es el elemento más importante de todos, ésta debe ser considerada en el diseño de cualquier tipo de proyecto y con ello garantizar la integridad física de las personas.

En el segundo nivel de la pirámide se ubica la geometría la cual se encarga del estudio del espacio y las formas de los cuerpos mediante el uso de un sistema de coordenadas, la cual es la base para crear o interpretar mediante alguna técnica un dibujo que del papel pasa a ser una realidad. Lo anterior da paso a la mecánica que combinada con la energía eléctrica da origen al movimiento de motores y a ciertos mecanismos.

En el tercer nivel aparecen áreas como la física que tiene como objetivo principal estudiar las propiedades generales de la materia y las leyes que rigen su estado de reposo o movimiento lo que permite entender de manera más clara los fenómenos que ocurren en la naturaleza, aunado a esta área se encuentra la química, que estudia las propiedades y composición de la materia, sus transformaciones, así como la clasificación de elementos orgánicos e inorgánicos. El dibujo es una valiosa herramienta que permite plasmar lo más cercano a la realidad las formas que tienen los objetos y con ello se facilita su interpretación. Un ejemplo de comunicación es la que existe entre los niveles de esta pirámide de automatización, ya que cada nivel superior recibe información del nivel anterior para posteriormente emitir información al siguiente nivel, lo que facilita el flujo constante de información y el mejor desarrollo y aprendizaje de la automatización.

En este nivel de la pirámide, también se incluye a los relevadores, primeros dispositivos utilizados para ejecutar operaciones lógicas para controlar la operación de ciertos actuadores. Los relevadores trabajan en conjunto, todos bajo una secuencia lógica para realizar una tarea específica dentro de un proceso.

El cuarto nivel, es a partir del cual se desarrolla importantemente la automatización y hay un mejor aprovechamiento de la electricidad aplicada a la electrónica cuya versatilidad radica tanto en el funcionamiento con corriente directa (CD) y con corriente alterna (CA) a los que actualmente se les denomina dispositivos de estado sólido, aunado a estos, se aplican también los resistores, inductores y capacitores.

Una fuente alternativa de energía que tiene aplicación en los procesos industriales automáticos es la del aire comprimido cuya parte de la ciencia que se encarga de su estudio es la neumática, la cual trata los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión y depresión (vacío) del aire. Las señales generadas en la neumática funcionan de manera lógica, presencia de presión (1) y ausencia de presión (0). El manejo de estas señales se realiza por dispositivos de control cuyo mando neumático sigue la siguiente lógica, abastecimiento de energía (compresores y acumuladores), sensores (válvulas de vías con pulsador, de rodillos), procesadores (válvulas de vías, de presión, temporizadores o circuitos de pasos secuenciales), elementos de maniobra (Válvulas de vías), actuadores (cilindros, motores, pinzas, ventosas).

Conforme la tecnología avanza, da origen al quinto nivel en el que se fortalece el desarrollo conceptual del diseño de sistemas digitales básico (combinacionales y secuenciales) así como el procesamiento de señales, la aplicación de dispositivos como memorias, contadores y de lógica programable como los PIC's, DSP, FPGAS y las GAL entre otros. La programación de estos elementos digitales en conjunto con las computadoras son ahora elementos vitales para lograr la automatización de diversos procesos de fabricación. Otra área del conocimiento importante en la automatización es

la hidráulica básica, que significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión los cuales son el medio para la transmisión de la energía.

Los microprocesadores son el resultado de la evolución tecnológica de la década de los 90's y son circuitos integrados que contienen un procesador digital completo junto a diversos periféricos auxiliares que facilitan el desarrollo de las aplicaciones a las que se dedican. Los Microcontroladores son parte de los microprocesadores y se pueden definir como elementos de control secuencial que vinculan las funciones del software con las del hardware en una aplicación determinada. Los Microcontroladores se puede configurar "a la medida" de las necesidades de la aplicación.

La velocidad de los microprocesadores se mide en megahertzios (MHz) o gigahertzios (GHz), su equivalencia es $1\text{GHz}=1000\text{MHz}$.

Los microprocesadores requieren de la intervención del hombre (programador) quien introduce la información al embebido mediante un código de programación de alto nivel de acuerdo a la aplicación para la que se destine el microprocesador.

En un medio industrial, es muy común que exista la necesidad de manipular, transportar y almacenar materiales o productos pesados, para lo cual se hace uso de la hidráulica avanzada que al igual que la neumática avanzada han permitido perfeccionar los elementos de mando y control dentro de los sistemas hidráulicos y neumáticos para que funcionen de manera eficiente, con lo que se obtienen movimientos más precisos aplicados a procesos industriales de fabricación cada vez más complejos.

La complejidad de los procesos de fabricación actuales, exigen se cuente con los elementos de automatización capaces de manejar y procesar una cantidad importante de información y a su vez posea una velocidad de respuesta inmediata. La respuesta a esta necesidad industrial la tiene el Controlador Lógico Programable (PLC) de cuyas siglas en inglés "Programmable Logic Controller.

En Europa un Autómata Programable es sinónimo del PLC y una definición apropi-

ada del PLC es:

“Un sistema industrial de control automático que trabaja bajo una secuencia, almacenada en memoria, de instrucciones lógicas”. [13]

Se define como un sistema ya que contiene todo lo necesario para operar de manera autónoma, e industrial porque tiene la capacidad de realizar los registros necesarios de un proceso determinado.

El término “Control Automático” se aplica únicamente a los dispositivos que tienen la capacidad de comparar ciertas señales provenientes de una máquina controlada, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento previamente programadas, y emiten señales de control para mantener estable y en óptimas condiciones el funcionamiento a una máquina. Las instrucciones almacenadas en la memoria de un PLC, permiten realizar modificaciones en su funcionamiento y también su monitoreo externo.

Fue en la empresa General Motors en 1969 cuando se instaló el primer PLC, para reemplazar a los sistemas flexibles alambrados que se utilizaban en ese tiempo en las líneas de producción automotriz, lo anterior, permitió la expansión de este dispositivo a otras industrias en 1971.

Fue en los años ochenta, cuando el desarrollo de los componentes electrónicos dio paso a la realización de un conjunto de operaciones con 16 bits que fue un gran avance en comparación con los 4 bits que se manejaban en la década de los setentas. Fue en los años noventa, cuando aparecieron los microprocesadores de 32 bits, dispositivos capaces de realizar operaciones matemáticas complejas y establecer la comunicación entre PLC's de diferentes marcas con la PC's en tiempo real, lo que propició la automatización completa de las plantas industriales.

Actualmente existen PLC's compactos tipo micro hasta de tipo modular, cuyas entradas y salidas van desde 6, en los micros, hasta miles de ellas en los de tipo modular.

En un sistema de control el componente más importante es el PLC y su programa.

Las partes principales de un PLC son las siguientes (ver Fig. 2.7):

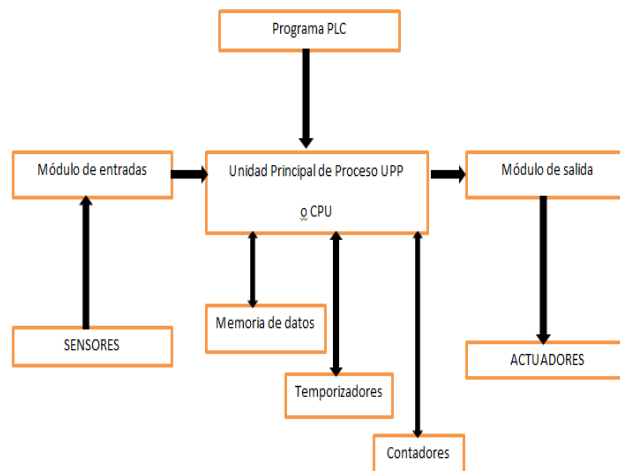


Figura 2.7: Diagrama de bloques de los componentes de un PLC

- Unidad Principal de Proceso o Control (CPU)
- Memorias Internas
- Memoria de programa
- Interfase o módulos de entrada y salida
- Fuentes de alimentación

CPU o Unidad principal de proceso lógico. Construida alrededor de un circuito integrado denominado microcontrolador o microprocesador la cual se encarga de ejecutar el programa de usuario y ordenar la transferencia de información en el sistema de entradas y salidas, adicionalmente puede establecer comunicación con periféricos externos, con unidades de programación y con otros autómatas.

Un CPU se caracteriza por el tiempo que requiere para procesar 1K de instrucciones, que oscila entre menos de un milisegundo a varias decenas de milisegundos y por el

número de operaciones diferentes que puede procesar al mismo tiempo, cuyo rango va de 40 a 200 operaciones diferentes.

Memoria. Es el sitio donde se alojan tanto el programa como los datos que se van obteniendo al ejecutarse el programa. En función a su ubicación, existen dos tipos de memorias, la interna que está ubicada junto a la CPU del autómeta y la exterior que puede ser retirada por el usuario para su modificación o copiado. De acuerdo a la aplicación de las memorias exteriores, hay borrables como las RAM y las EEPROM.

Las memorias de programa contienen la secuencia de operaciones que deben realizarse sobre las señales de entrada para obtener las señales de salida, así como los parámetros de configuración del autómeta. En esta memoria es donde se almacenan los códigos encargados de ejecutar las funciones programadas para controlar un proceso determinado. Las instrucciones son almacenadas en Bytes, la cantidad de instrucciones que se pueden almacenar depende de la cantidad de memoria que la CPU puede direccionar.

Ejemplo

16 bits 65,535 posiciones 64 KB 2a la 16

20 bits 1,048.576 posiciones 1MB 2 a la 20

1 Kilobyte = 1024 bytes

Módulos de entradas y salidas. Establecen la comunicación del autómeta con la planta, es decir, estos módulos son la interfaz de comunicación del PLC con el exterior, el número de entradas en los PLC's va desde 6 en los tipo micro o compactos a varios miles en los tipo modular.

Las características importantes de las entradas y las salidas de los PLC's son:

- Corriente Alterna 24,48, 120 y 220 V. Salidas: Triac, Relevador.
- Corriente Directa (digital) 24 y 120 V. Entradas: sink, source. Salidas: Transistor

PNP, Transistor NPN y relevador.

- Corriente Directa (Analógica) 0-5 V, 0-10 V, 0-20 V, 4-20 mA. Para entradas y salidas Analógicas. [13]

Otra parte importante en el área de la automatización es la instrumentación en la que se agrupan y estudian todos los dispositivos de entrada en un sistema. Para la instrumentación el principal elemento de estudio son los diferentes tipos de sensores, los cuales tienen dos métodos de registro de las variables físicas que detectan, el analógico y el digital.

El método analógico tiene la particularidad de presentar el valor de las variables físicas que cambian en forma continua con respecto al tiempo, proporcionando valores inestables y poco precisos. Estas magnitudes son enviadas y registradas por instrumentos clásicos analógicos como termómetros, manómetros, voltímetros y amperímetros, entre otros.

En el método digital, la información indica que la magnitud de la señal “existe o “no existe”, cuyo valor a cada posibilidad es 1 y 0 respectivamente. Lo anterior permite un funcionamiento discontinuo y de alta precisión. En la aplicación a la automatización, este es el método que mejor se adapta a las condiciones del entorno facilitando las operaciones de control de un sistema tales como, precisión, repetitividad, reproducibilidad, sensibilidad, resolución, tiempo de respuesta, función de transferencia, error de linealidad, etc.

De manera general, un sistema automático de control es un conjunto de elementos interconectados y relacionados entre sí que son capaces de realizar por sí mismos una tarea o función específica, sin la intervención externa de un operador.

Fundamentalmente existen dos sistemas de control que tienen aplicación importante a nivel industrial, estos son:

1.- Sistema de control en lazo abierto

Es aquel en el que la acción de control es independiente de la salida del sistema. Este tipo de sistemas son temporizados, es decir, su precisión de funcionamiento depende de la calibración del temporizador y tienen un inconveniente de no ser capaces de reaccionar ante perturbaciones externas al sistema, que son completamente imprevistas.

2.- Sistema de control de lazo cerrado

Es aquel en el que la acción de control depende de la salida del sistema. Este sistema tiene la particularidad de que la señal de entrada se modifica cada cierto lapso de tiempo, en función a lo obtenido en la salida, mediante una realimentación (feedback). La ventaja principal de estos sistemas radica en la capacidad que tienen para mantener la acción de control en sus valores correctos aun cuando existan perturbaciones externas imprevistas que puedan alterar el funcionamiento del sistema. A la señal de entrada modificada por la salida se la llama “señal de error del sistema”, y divide a los sistemas realimentados en:

Realimentación Positiva: Cuando la señal de error es el resultado de la suma de la entrada y la salida. Estos sistemas son siempre inestables, ya que la señal de error tiende a crecer cuando más se desvía la salida de la deseada (resonancia).

Realimentación negativa: Cuando la señal de error es el resultado de la diferencia entre la entrada y la salida, es decir, la señal de error tiende a anularse y por lo tanto a la estabilidad, son por lo tanto, los únicos indicados para el control.

Dentro del tema de la automatización se realizan constantes innovaciones e implementaciones, tal es el caso de los motores a pasos, de corriente continua y los servomotores a los que se les puede llamar “motores inteligentes” ya que se adaptan a las condiciones de su aplicación.

Un paso más en el avance de la tecnología en automatización, es sin duda las Maquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN) y las de última generación

dotadas de control programable con computadora (CNC) que facilitan y agilizan las operaciones de torneado y fresado principalmente, en un sistema de altos volúmenes de producción en el que la fatiga del operador y el incumplimiento de los niveles de producción son una constante.

Las maquinas CNC generalmente son controladas por computadora y están diseñadas para ejecutar instrucciones cargadas en un programa determinado, razón por la que se les añade el sistema de Diseño Asistido por Computadora o “Computer Aided Design” (CAD), el cual tiene como función principal asistir al diseñador para que de manera automática obtenga el programa de maquinado de la pieza a fabricar por el CNC dentro del proceso de fabricación.

El sistema de Manufactura Asistida por Computadora o “Computer Aided Manufacturing (CAM) es la transformación de la materia prima con dispositivos y herramientas especiales en un producto útil o de consumo.

Para el desarrollo de trabajos con CAD/CAM, se requiere de una configuración como sistema interactivo en las funciones de modelado, dibujo y simulación para ejecutar el proceso de fabricación continuo en el que intervienen maquinas automáticas como robots, maquinas -herramientas y algunas especiales. La aplicación de los sistemas CAD/CAM es una opción para innovar productos, flexibilizar la producción y conquistar mercados.

La integración de los Robots industriales con las maquinas CNC, se forma una célula de trabajo, lo que da origen a un conjunto de Sistemas Flexibles de Manufactura o “Flexible Manufacturing System” (FMS).

El término “Robot” tiene sus orígenes en la ciencia ficción, corresponde al uso original de la palabra eslava “**Robota**” que significa esclavo y hace referencia al trabajo realizado de manera forzada, difundida en 1921, por el escritor checo Karel Capek en su obra de teatro denominada “Rossum’s Universal Robots” (R.U.R).

Actualmente se pueden diferenciar cinco niveles en cuanto a la complejidad de las actividades que desarrollan los robots: [13]

Primer nivel:

En este nivel se encuentra cualquier tipo de máquina que, independientemente de su tamaño, forma o posibilidad de movilidad, es capaz de realizar en forma desatendida y autónoma las acciones para las que fue diseñada.

Segundo nivel:

Corresponde a los robots con habilidades múltiples, capaces de realizar distintos trabajos mediante un simple cambio en su programación.

Tercer nivel:

Corresponde a la posibilidad de que los robots sean capaces de detectar las condiciones ambientales que lo rodean y efectuar las tareas si esas condiciones son las adecuadas, o bien suspenderlas, diferirlas en el tiempo o intentar modificar en lo posible esas condiciones para realizar el trabajo.

Cuarto nivel:

Es el de los robots capaces de autoprogramarse, esto es, aprender a relacionarse con las condiciones ambientales existentes con base a los acontecimientos pasados y aplicar la solución llamada inteligencia artificial (I.A).

Quinto nivel:

Se atribuye a los robots que tengan autoconciencia plena y una inteligencia que va más allá de la capacidad del autoaprendizaje mediante el método de prueba y error.

Partiendo del desarrollo que está teniendo la robótica, en función a estos cinco niveles de complejidad, bien valdría la pena reflexionar y plantear algunas preguntas de orden futurista sobre éste tema.

¿La fuerza humana de trabajo será sustituida por los robots?

¿El hombre servirá en un futuro a los robots?

¿El hombre será destruido por los robots?

Fue Isaac Asimov, quien en sus diversas obras imagino las leyes de la Robótica, las cuales controlarían el comportamiento de los robots:

1.- Un robot no puede dañar a un ser humano, ni por inacción, permitir que éste sea dañado.

2.- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando estas órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.

3.- Un robot debe proteger su propia existencia hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

El estudio y diversos tratados de la robótica aplicados a la industria tienen como finalidad asegurar tres aspectos que intervienen en un proceso de fabricación, la seguridad, la calidad y la producción, mediante la integración de los robots.

Lo anterior ha contribuido importantemente en el desarrollo de nuevos e innovadores sistemas de producción, más flexibles, versátiles y polivalentes, en los que la robótica juega un papel primordial.

La robótica, además de estudiar a los robots de manera general, incluye también el control de motores, sensores, sistemas de cómputo, mecanismos automáticos, neumáticos e hidráulicos.

Un **robot industrial** es un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas. [13]

Para el diseño de un robot industrial se consideran cuatro características principales, grados de libertad, su campo de trabajo, su comportamiento estático y dinámico.

A la **robótica industrial** se le define como:

“El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poliarticuladas, dotadas de

un determinado grado de inteligencia y destinado a la producción industrial y a la sustitución del hombre en tareas de riesgo extremo y repetibilidad” [13]

Considerando los niveles de automatización descritos con anterioridad y el conjunto de tecnologías de la automatización que forman los tres niveles superiores de la pirámide, en los que se incluyen los Sistemas de Manufactura Flexible (SMF), la Fabrica Automatizada (FA) y a la Manufactura Integrada por Computadora (CIM), los cuales son la agrupación de todas las técnicas de automatización con un enfoque hacia los sistemas de producción, con variantes en sus objetivos pero con un mismo propósito, optimizar las condiciones de Seguridad, Calidad y Producción en un proceso de fabricación [13]

2.2. Celdas de manufactura industriales

Es cada vez más frecuente encontrar empresas, con un alto grado de automatización, que utilizan celdas de manufactura en sus procesos de fabricación. El uso de tales dispositivos les permite obtener altos grados de eficiencia en la producción, mantener estándares elevados de calidad y la capacidad de realizar, con rapidez, las modificaciones que requiere el proceso productivo, para adecuarse a nuevas necesidades del mercado.

Aunque se pretende que una celda de manufactura permita adecuaciones eficientes; en la realidad, la reprogramación de una celda es una labor delicada y compleja. Adecuar una celda, para la fabricación de un nuevo producto, requiere de tiempo y de personal especializado; además, la celda debe detenerse durante el tiempo que dure la adecuación, interrumpiendo así el proceso productivo.

2.2.1. Manufactura manual y semi-manual

La principal característica de la manufactura manual es que en ella intervienen prioritariamente los operadores humanos, para el manejo y armado de componentes

previamente manufacturados, dicho armado depende de la habilidad, destreza y juicio del hombre.

En este tipo de manufactura el operador puede estar ubicado en una estación de trabajo o bien puede formar parte del medio de transporte de las piezas para el armado o del producto terminado dentro del proceso, además se utilizan algunos medios mecánicos para alimentar, manejar, colocar y supervisar ciertas operaciones (ver Fig. 2.8).

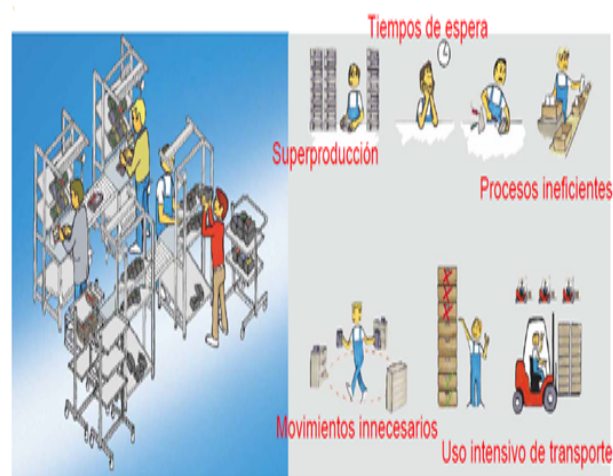


Figura 2.8: Concepto de Manufactura Manual[13]

De manera general las características de la Manufactura manual y semi-manual son las siguientes:

- Se ejecuta en estaciones de trabajo simples, continuas e intermitentes.

Simple: En este tipo de estación el trabajador atiende a una máquina y opera independientemente de las otras estaciones de trabajo

Continuas: Está compuesta por operaciones elementales y el trabajo se desplaza en forma sucesiva o continua de una estación a otra en las que el trabajo tiene un grado de avance distinto.

Intermitentes: Se caracteriza por tener un bajo volumen de producción, contantes cambios en el programa de producción y en consecuencia flujo de productos con un alto grado de interrupción.

- Su desarrollo se fundamenta en la aplicación de las 5M´s. Material, Mano de obra, Maquinaria, Método y Medio ambiente
- Es un sistema de ensamble muy flexible en el que se tienen muchas variantes de producción y lo hace un sistema muy común
- El uso de herramientas mecánicas básicas es en escala importante.
- Su nivel de producción es bajo o intermedio, lo que está en función al número, tamaño y complejidad de las piezas y ensambles a realizar.
- Este tipo de manufactura se basa en la técnica de diseño para la manufactura y el ensamble (Desing for Manufacture and Assembly) (DFMA), en el que se considera número de partes, alimentación, manejo, revisión y reducción de costos de ensamble.
- Se aplica el método de prueba y error (Poka Yoke), es un conjunto de técnicas que permiten eliminar errores cometidos por el operador en el ensamble de piezas. Es una manufactura gráfica que facilita que la secuencia de ensamble sea la óptima [13]

Algunos factores que influyen en la obtención de una mala calidad en los ensambles de productos terminados:

- No cumplen con las tolerancias establecidas en el diseño de una pieza.
- Desalineamiento de las piezas.

- Contaminación de los materiales
- Inexistencia de componentes de un producto terminado.
- Abastecimiento de componentes incorrectos.
- Ensamble manual en el manejo de piezas pesadas.
- Fatiga del operador en el desarrollo de operaciones repetitivas.
- Componentes de baja calidad para un ensamble.

Lo que determina que la manufactura sea manual o semi-manual es el porcentaje de maquinaria que se utilice en el proceso de producción de acuerdo al producto que se está fabricando.

2.2.2. Manufactura automatizada

La organización de los procesos de manufactura es de vital importancia para la competitividad de las empresas, es por este medio que se logran los objetivos de productividad y eficiencia. Además de que se disminuyen costos utilizando los recursos con los que cuenta la organización [10]

Por lo tanto, la distribución, las estaciones o puestos de trabajo y la maquinaria en los procesos productivos determinan fuertemente los beneficios que se obtienen de una celda de manufactura; una buena distribución de los recursos productivos dará como resultado los volúmenes de producción requeridos, con el cumplimiento de los requisitos establecidos por el cliente y en el tiempo requerido [6]

Las celdas de manufactura son una herramienta que han sido utilizadas de manera importante en las empresas que se encuentran inmersas en la filosofía Lean (Manufactura esbelta), complementando esta aplicación con la Ergonomía, la empresa ob-

tendrá grandes beneficios al reducir el tiempo de entrega, incrementar el flujo de sus materiales y mejorar las condiciones ergonómicas de operación. [6]

La flexibilidad como concepto fundamental en los actuales procesos de producción es la habilidad para adaptarse a los continuos cambios del mercado. Ahora, dentro de la máxima escala evolutiva de los procesos de producción Automatizados se sitúa la Manufactura Integrada por Computadora (CIM) [10].

Los sistemas de manufactura automatizada emplean dispositivos de movimiento permanente controlado, para componer piezas manufacturadas previamente y/o sub-ensambladas en un producto terminado o unidad de producto, tal como se puede en la figura 2.9.

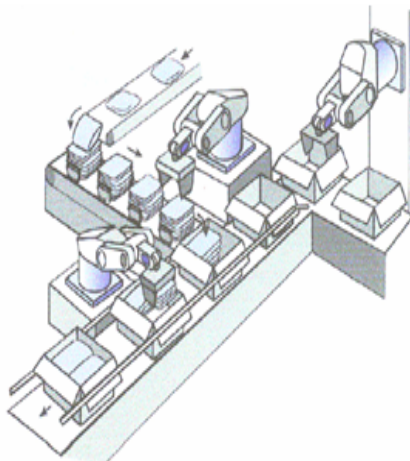


Figura 2.9: Diagrama de manufactura automatizada

Se utilizan robots, maquinas especiales, sistemas de alimentación o transferencias mecánicas para realizar las acciones que normalmente harían los trabajadores, este tipo de manufactura requiere de altos conocimientos para su manejo y control, los operadores deben estar capacitados en el uso de la maquinaria. Este tipo de manufactura se utiliza para procesos repetitivos, grandes volúmenes, entornos peligrosos o extremos.

2.2.3. Definición de celda de manufactura

Existen diversas formas de definir a las celdas de manufactura, en éste trabajo se citan las más importantes:

Celda de manufactura es un conjunto de componentes electromecánicos, que trabajan de manera coordinada para el logro de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto [15].

Celda de manufactura, es un conjunto de máquinas altamente automatizadas y consiste en un grupo de estaciones de trabajo interconectadas por sistemas automáticos de manejo de materiales y almacenaje, controladas por un sistema computacional y su organización involucra una operación específica apoyada en la tecnología de robótica [6]

Celda de manufactura es una serie de actividades y operaciones interrelacionadas que involucran diseño, selección de materiales, planeación, producción, aseguramiento de la calidad, administración y mercado de bienes discretos y durables de consumo [23]

2.2.4. Configuraciones de las celdas de manufactura

Tecnología de grupos (GT)

Es un concepto de organización de los recursos de manufactura para incrementar la productividad y donde se tiene una distribución por proceso en celdas para situaciones de producción de pequeños lotes de piezas y productos que son similares.

La agrupación de todas las piezas y todos los productos que se fabrican en las empresas, se realiza de tres formas:

1.- Inspección visual: Los grupos o familias de piezas son creados tras observar la similitud que existe en su apariencia física. Este método es el más inexacto.

2.- Análisis del flujo de manufactura Las Familias de piezas se agrupan apoyándose

de diagramas de flujo del proceso, cuando las piezas tienen secuencias similares. Este procedimiento es el más sencillo.

3.- Clasificación y Codificación: Consiste en desarrollar un sistema de codificación multidigital a partir de atributos individuales de manufactura y diseño para cada pieza. Este es el más difundido y el que mejores resultados puede arrojar.

En la figura 2.10 se observa el layout de un sistema de tecnología de grupos (GT).

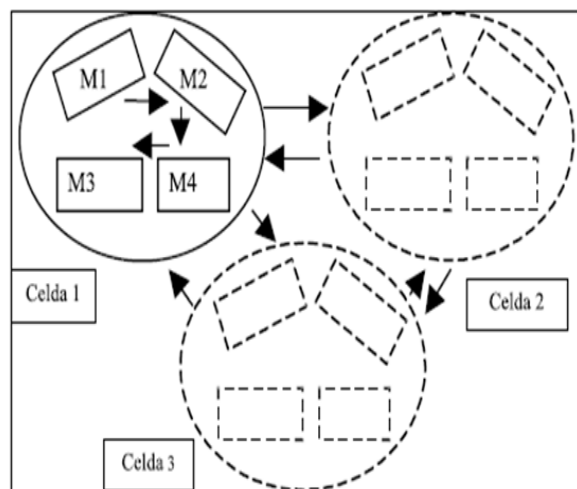


Figura 2.10: Layout de un sistema de tecnología de grupos (GT)[10]

Manufactura celular

La manufactura celular es una estrategia de manufactura que divide un sistema de producción en pequeños grupos o células cada una de ellas enfocada a la producción de un conjunto de partes o componentes. [24]

Uno de los objetivos principales de la manufactura celular es el de minimizar los movimientos e intercambio de material entre los grupos, objetivo que es logrado si se generan células que garanticen la fabricación completa de los productos asignados. [16]

Las celdas de fabricación o manufactura GT pueden ser clasificadas de acuerdo con el número de máquinas y el grado en el que el flujo de material es mecanizado entre

máquinas. En el esquema de clasificación de sistemas de fabricación, todas las celdas GT son clasificadas como tipo X en términos de una parte de la variedad de productos. [7]

Se tienen cuatro configuraciones comunes de celdas GT:

1. Celda de máquina individual

Consiste en una máquina más instalaciones y herramientas de apoyo. Este tipo de celda puede ser aplicado a piezas cuyos atributos les permiten ser fabricadas en un tipo de proceso básico como un torno o pulidora.

2. Celda de grupo de maquinas con manipulación manual

Las celdas de grupo de máquinas con manipulación manual es una combinación de más de una máquina utilizadas colectivamente para producir una o más familias de piezas. No hay disposición para el movimiento mecanizado de piezas entre las maquinas de la celda. En lugar de realizar la manipulación de las piezas por medio de los operarios, estos ejecutan la celda. A menudo la celda se organiza en un diseño en forma de “U”. Este diseño se considera apropiado cuando hay variación en el flujo de trabajo entre las piezas fabricadas en la celda. Esto también permite la multifuncionalidad de los trabajadores en la celda para moverse con facilidad entre las maquinas (ver Fig. 2.11).

3. Celdas de grupo de maquinas con manipulación semi-integrada

Las celdas de grupo de maquinas con manipulación semi-integrada usan sistemas mecanizados de manipulación, como una cinta transportadora, para mover partes entre las maquinas de la celda. (Ver Figuras 2.12, 2.13 y 2.14)

4. Celda de fabricación flexible o sistema de fabricación flexible

El sistema de fabricación flexible (FMS) combina un completo sistema integrado de manipulación de material con estaciones de procesos automatizadas. El FMS es el más automatizado de las celdas de maquinas de tecnología de grupo.

Para determinar el diseño de la celda más apropiado depende del enrutamiento de

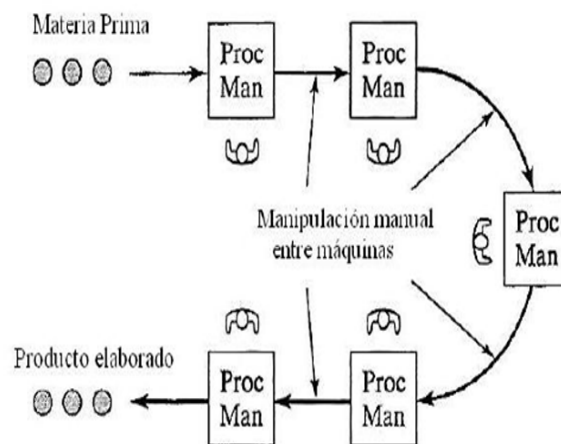


Figura 2.11: Diseño en forma de “U” con manipulación manual entre máquinas (‘ ‘Proc” = Operación de proceso. ‘ ‘Man” = Operación Manual)[7]

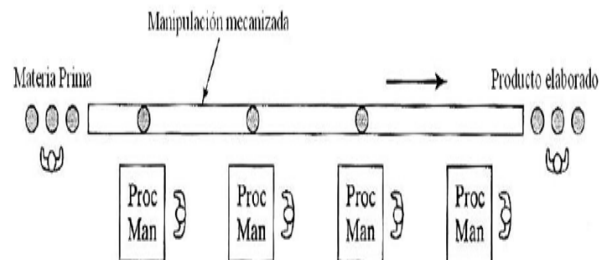


Figura 2.12: Diseño en línea con manipulación semi-integrada [7]

las piezas producidas en la celda. Cuatro tipos de movimiento de piezas se pueden distinguir en un modelo mixto del sistema de producción de piezas.

La dirección de avance del flujo de trabajo se define de izquierda a derecha (ver Fig. 2.15)

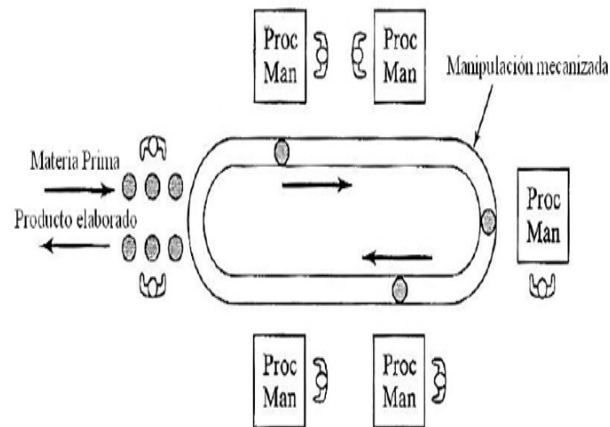


Figura 2.13: Diseño de bucle con manipulación semi-integrada[7]

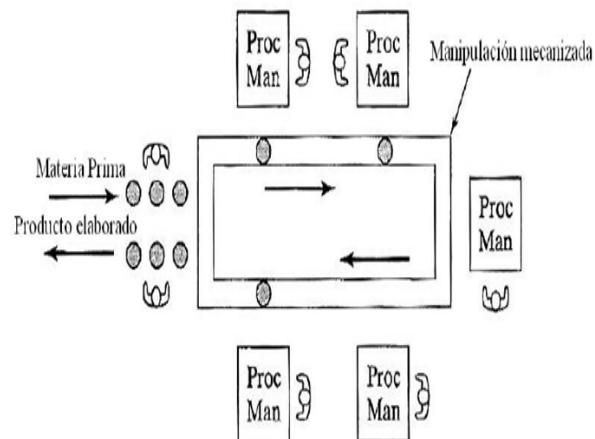


Figura 2.14: .- Diseño rectangular con manipulación semi-integrada[7]

(1) **Operación de repetición**, en el cual una operación consecutiva es llevado a cabo en la misma máquina de modo que la pieza en realidad no cambia de máquina.

(2) **Movimiento secuencial**, en el cual la pieza se mueve desde la máquina actual hasta la siguiente máquina en la dirección del flujo.

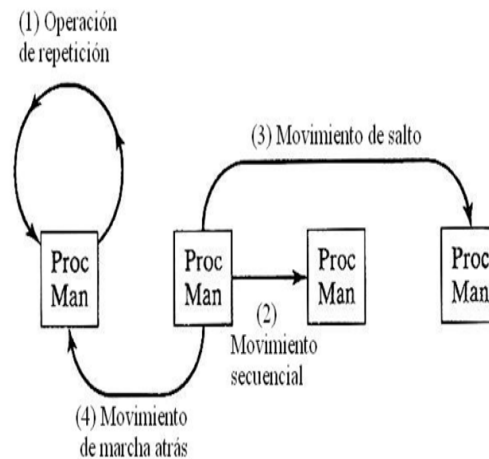


Figura 2.15: Cuatro tipos de movimientos en un sistema modelo de producción mezclado. El flujo hacia delante de trabajo es de izquierda a derecha[7]

(3) Movimiento de salto, en el cual la pieza se mueve en la dirección del flujo desde la máquina actual hasta otra máquina situada dos o más máquinas hacia adelante.

(4) Movimiento marcha atrás, en el cual la pieza se mueve desde la máquina actual en dirección contraria al flujo hasta otra máquina. [7]

2.2.5. Definición de robot, tipos y aplicaciones

Un robot es una máquina programable que puede manipular objetos y realizar operaciones que antes sólo podían realizar los seres humanos. El robot puede ser tanto un mecanismo electromecánico físico como un sistema virtual de software. Ambos coinciden en brindar la sensación de contar con capacidad de pensamiento o resolución, aunque en realidad se limitan a ejecutar órdenes dictadas por las personas (Definiciones de robot).

La “Organización Internacional para la Estandarización” provee su definición de “robot” en ISO 83737: un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados

de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas. [8]

El “Instituto de Robótica de América” (RIA) usa una definición más amplia que la anterior. Un “robot” es un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o artefactos especializados a través de movimientos variables programados para la realización de una variedad de tareas [8].

La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) define al Manipulador y al Robot como sigue:

Manipulador: Mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivos lógicos.

Robot: Manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tienen la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es de realizar tareas de manera cíclica. [8]

Tipos de robots

Según la Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) clasifica a los robots de la siguiente manera:

Tipo A: Manipulador con control manual o telemando

Tipo B: Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control con PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.

Tipo C: Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre su entorno.

Tipo D: Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función a éstos. [8]

La clasificación de los robots industriales en generaciones:

1ª. Generación: Repite la tarea programada secuencialmente, no toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.

2ª. Generación: Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia, puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.

3ª Generación: Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural , posee capacidad para la planificación automática de tareas [8]

De manera general se tienen los siguientes tipos de robots:

Robots inteligentes: son manipuladores o sistemas mecánicos multifuncionales controlados por computadores capaces de relacionarse con su entorno a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real. Concepto de “Inteligencia Artificial”.

Robots con control por computador: similares a los anteriores pero carecen de la capacidad de relacionarse con el entorno que les rodea.

Robots de aprendizaje: se limitan a repetir una secuencia de movimientos realizada con la intervención de un operador y luego lo memorizan todo. También se denominan Robots de Macro.

Robots manipuladores: son sistemas mecánicos multifuncionales cuyo sencillo sistema de control permite gobernar el movimiento de sus elementos de las formas siguientes:

Manual: el operador lo controla directamente.

De Secuencia variable: es posible alterar algunas de las características de los ciclos de trabajo.

Aplicaciones de los robots

La implementación de un robot industrial en un proceso determinado se realiza previo estudio en el que se analizan las ventajas y desventajas de la inclusión del robot en dicho proceso. Un aspecto importante a considerar es la posibilidad de realizar cambios en el programa original, dependiendo de diseño de las piezas a manipular, la configuración del proceso, etc, siempre buscando que se facilite y sea viable la aplicación del robot en el proceso.

Las aplicaciones industriales más importantes de los robots son las siguientes:

- Trabajos de fundición soldadura
- Aplicación de materiales (pintura, sellantes y adhesivos)
- Alimentación de maquinas
- Procesado
- Corte
- Montaje
- Paletización
- Manipulación en salas blancas
- Control de Calidad
- Industria Nuclear
- Medicina
- Construcción [8]

Estructura de los robots manipuladores

Los robots manipuladores son, esencialmente, brazos articulados, es decir, es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos.

Existen diversos tipos de articulaciones de los robots, las más utilizadas son:

Rotación: proporciona 1 grado de libertad

Prismática: proporciona 1 grado de libertad

Cilíndrica: proporciona 2 grados de libertad

Planar: proporciona 2 grados de libertad

Esférica: proporciona 3 grados de libertad

Cinemática de un robot: Es la que se encarga de estudiar el movimiento de un robot con respecto a un sistema de referencia sin considerar las fuerzas que intervienen. La cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares.

Existen dos problemas fundamentales a resolver en cinemática de robots:

Cinemática directa: Consiste en encontrar las relaciones que permiten conocer la localización y orientación espacial del extremo final del robot a partir de los valores de sus coordenadas articulares.

Cinemática inversa: Resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocida. [8]

Estructura general del proceso de automatización

Para desarrollar el proceso de automatización aplicable en una industria, es necesario considerar los siguientes aspectos que son de importancia:

- La organización de los procesos de manufactura, ya que contribuyen en la competitividad de la empresa, se cumple con los objetivos de productividad y eficiencia y además se disminuyen costos de fabricación.
- La flexibilidad del proceso, cuya aportación recae en la habilidad para adaptarse a los continuos cambios del mercado.
- Lograr la máxima escala evolutiva de la tecnología en la implementación de Manufactura integrada por computadora (CIM).

En la Figura 2.16 se ilustra el diagrama de flujo con el que se inicia el proceso de automatización.

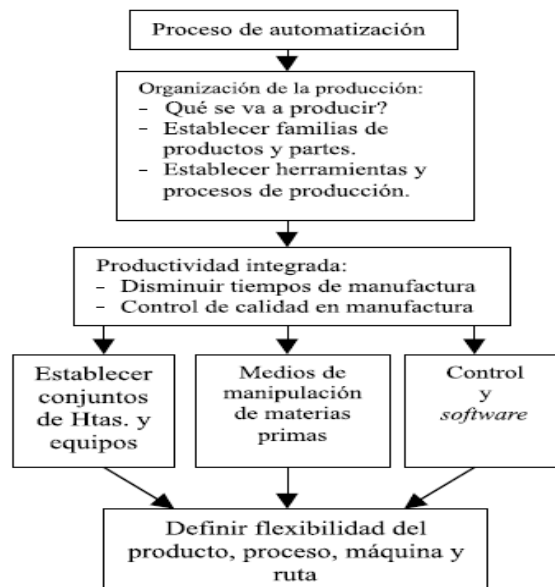


Figura 2.16: Inicio del proceso de automatización

2.2.6. Sistemas de visión por computadora

La tecnología conocida como visión por computadora o visión técnica, consiste en la captación de imágenes en línea mediante cámaras de Dispositivo de Carga Acoplada (CCD), dichas cámaras son dispositivos electrónicos muy sensibles, ideados para captar la luz y formar una imagen a partir de ella y su posterior tratamiento a través de técnicas de procesamiento digital avanzadas, permitiendo así poder intervenir sobre un proceso (modificación de variables del mismo) o producto (detección de unidades defectuosas), para el control de calidad y seguridad de toda la producción. [4]

Un sistema de visión es un conjunto de elementos que permiten obtener imágenes del entorno, procesarlas y tomar ciertas decisiones basadas en la evaluación de la(s) imagen(es) adquirida(s), los elementos que conforman a estos sistemas se muestra en la Fig. 2.17

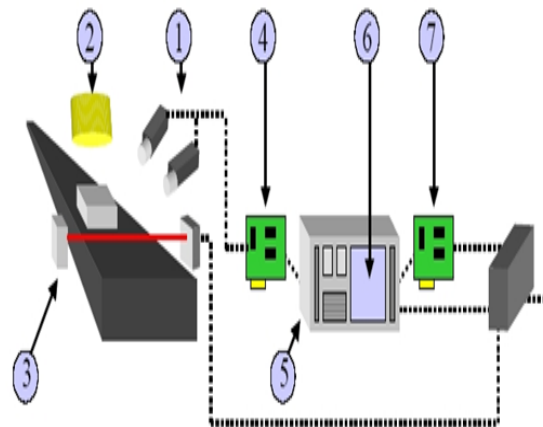


Figura 2.17: Sistema de visión industrial: 1.- Cámara y óptica. 2.- Iluminación. 3.- Sensor de posicionamiento. 4.- Tarjeta para la adquisición de imágenes. 5.- Computador. 6.- Programa de visión/monitor. 7.- Interfase para las comunicaciones.

Los componentes de un sistema de visión son:

Iluminación: Es un componente fundamental de cualquier sistema de visión. Las fuentes de iluminación importantes son las luces fluorescentes, LEDs y luces halógenas, las cuales se muestran en la Fig. 2.18 [25].



Figura 2.18: Imagen de los tipos de iluminación

Cámara y óptica: Es el elemento primario de adquisición de la imagen. Incorpora el sensor CCD (Dispositivo de carga acoplada, es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados, es sensible a la luz) cuyo tamaño de píxel y características de la lente, determinará la resolución del objeto presente en el campo de visión. Puede integrar la electrónica necesaria para adquirir la información y enviarla directamente a un monitor, sin necesidad de ordenador o transferir la información a una red de área local. Adicionalmente, puede poseer software para evaluar las características de la imagen, los tipos de cámaras se muestran en la Fig. 2.19 [25].

Una adecuada calidad de imagen (que determina la extracción de la información para su análisis) depende de tres elementos: La iluminación, la lente u óptica y la



Figura 2.19: Imagen de los tipos de cámaras

cámara.

Tarjetas para la adquisición de imágenes: Son tarjetas encargadas de transferir las imágenes capturadas por el sensor CCD de la cámara a la memoria del centro de procesamiento de las mismas (computador). A las mismas se les exige fundamentalmente alta velocidad de adquisición de los grandes volúmenes de datos que genera la cámara. Poseen memoria interna de alta velocidad de transferencia para el almacenamiento temporal de los datos y acceden a los canales de acceso directo a memoria del ordenador para aumentar la velocidad de adquisición y transferencia, los tipos de tarjetas para llevar a cabo la adquisición de imágenes se muestran en la Fig. 2.20:

Programa para el procesamiento de imágenes: Es el encargado de extraer la información de la imagen, necesaria para tomar cierta decisión. El programa de procesamiento aplica filtros, detecta bordes, segmenta la imagen, ecualiza el histograma y ejecuta los algoritmos necesarios para ejecutar las tareas que se le exige al sistema de visión: reconocimiento de caracteres, lectura de matrículas de vehículos, seleccionar piezas defectuosas con un brazo robótico en una línea de producción, leer códigos de

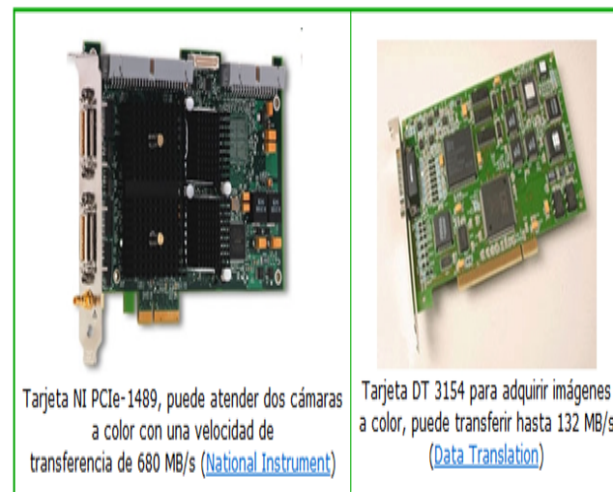


Figura 2.20: Imagen de los tipos de tarjeta para la adquisición de imágenes.[25]

barras, seleccionar la calidad de las frutas por análisis del color, inspeccionar la calidad de las piezas mecánicas, etc.[25]

Comunicaciones: Las comunicaciones en el sistema de visión permiten conectar el mismo (básicamente a través de una red Ethernet) a otros dispositivos, como pueden ser controladores lógicos programables (PLC), centro de decisiones de vehículos autónomos, interfaz con un operador, etc. Son un elemento fundamental que, junto a la adecuada selección de interfaz y conectores, determina la velocidad con que puede actuar el sistema en su conjunto.[25]

Introducción a la visión por computadora

Los sistemas de visión industrial miden, guían, inspeccionan, cuentan e identifican productos en líneas de producción rápidas.

Los sistemas de visión ayudan a optimizar los procesos de producción, relacionando la captura y procesando imágenes a alta velocidad, para comparar imágenes que ayuden a inspeccionar los productos a través de un proceso de fabricación, ayudando a las

empresas a reducir los desechos y duplicación del trabajo.

Las principales diferencias entre la visión humana y la visión artificial son las que se mencionan a continuación:

Visión humana	Visión artificial
Reconocimiento. inspección. Coordinación vista mano. Localización de posición. Seguridad. Recopilación de información. Alta resolución de imagen.	Identificación. Guía de robots. Inspección. Localización de posición. Medidas. Consistentes. Operación en luz visible, infrarrojos y rayos X.
Interpretación rápidamente en escenas complicadas. Operación en luz visible. Adaptación a las variables.	Operación en entornos complicados. Seguimiento de programas precisos.

Tabla 2.1: Diferencias visión humana - visión artificial

Existen múltiples aplicaciones de la visión artificial, tales como, en la guía de robots puede determinar la posición con respecto a X, Y y Z, en la identificación y clasificación de objetos por sus características, la restauración de alguna falla, la presencia o ausencia de objetos en la posición correcta, la medición de objetos y superficies, detección de defectos y cálculo de los mismos, así como en la industria automotriz, electrónica, computacional, etc., en nuestro caso se empleara como una forma de control de un proceso de producción industrial.

Técnicas de visión artificial

Su propósito es programar un computador para que entienda una escena o las características de una imagen. Los objetivos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (ej.: segmentación, registro).

- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, y hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; tal modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de técnicas de visión, tales como reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesado de imágenes, teoría de gráficos y otros campos.

Procesamiento digital de imágenes

En la actualidad, las industrias están implementando sistemas de inspección, supervisión y control mediante visión artificial o visión por computador, ya que los errores y límites de detección de defectos han superado la percepción del ojo humano, han hecho promover y desarrollar sistemas capaces de resolver las tareas repetitivas de forma automática.

La Visión Artificial se define como: Un sistema informático que captura la imagen de un objeto determinado para proceder a realizar su respectivo procesamiento, análisis y lograr identificar los diferentes parámetros para el control de calidad, como el color, la textura entre otros [26]

El procesamiento digital de imágenes se realiza en las siguientes etapas :

1.- Adquisición de la imagen

Para efectuar este paso se necesita de sensores y la capacidad para digitalizar la señal producida por el sensor. El sensor puede ser una cámara digital o analógica que produzca una imagen completa del objeto, después de capturar la imagen a inspeccionar se envía esta información a la computadora para ser analizada.

2.- Pre procesamiento

El objetivo es modificar la imagen que se acaba de adquirir con el fin de enriquecerla en detalles de acuerdo a los parámetros a analizar, las modificaciones pueden ser: En caso de existencia de ruido se procederá a su eliminación. Acentuar o perfilar las características de una imagen tales como bordes y límites. Contrastar la imagen para que sea más útil la visualización gráfica y el análisis de la misma.

3.- Segmentación

Su objetivo es dividir la imagen en las partes que la constituyen y de esta manera se puede obtener la región de interés. Un ejemplo de este proceso puede ser la diferencia entre el objeto y el fondo.

4.- Descripción

En esta etapa se pretende etiquetar los objetos teniendo en cuenta la información suministrada por la inspección que puede ser:

Cuantitativa: Realización de medidas (áreas, longitudes, perímetros etc.) y ángulos de orientación.

Cualitativa: Verificación de la correcta realización del trabajo como el ensamblado, el embotellado, el etiquetado, el empaquetado etc.

5. -Reconocimiento

Con base en los datos analizados se identifica los objetos de una escena.

6.- Interpretación

Por último con las imágenes de interés captadas y segmentadas se les debe dar una interpretación para poder tomar decisiones. Frecuentemente los sistemas de visión

artificial controlan aparatos mecánicos que efectúan la manipulación de los productos. [26]

El diagrama general de un sistema de visión por computador se observa en la Figura 2.21.

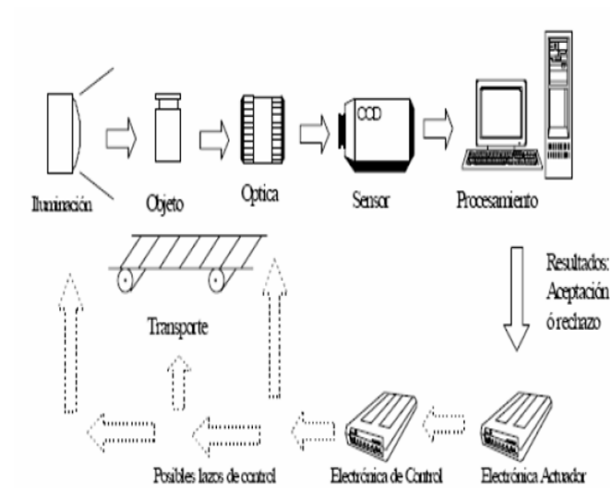


Figura 2.21: Diagrama general de un sistema de visión por computador. [26]

Reconocimiento de patrones

Al reconocimiento de patrones llamado también lectura de patrones, identificación de figuras y reconocimiento de formas, consiste en el reconocimiento de patrones de señales. Los patrones se obtienen a partir de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción dónde cada objeto queda representado por una colección de descriptores.

Para poder reconocer los patrones se realizan los siguientes procesos:

- Adquisición de datos
- Extracción de características

- Toma de decisiones

El punto esencial del reconocimiento de patrones es la clasificación: se quiere clasificar una señal dependiendo de sus características. Señales, características y clases pueden ser de cualquiera forma, por ejemplo se puede clasificar imágenes digitales de letras en las clases A a la Z dependiendo de sus píxeles o su escala de grises.

Algunas definiciones básicas al respecto son:

Objeto: Es un concepto con el cual representamos los elementos sujetos a estudio. Pueden ser concretos o abstractos.

Patrón: Es sinónimo de objeto. En ocasiones se le llama así a los objetos ya clasificados.

Rasgo: Propiedad, factor, característica, etc. que se toma en cuenta para estudiar los objetos. Existen dos tipos:

Esenciales: No pueden ser eliminados de la descripción de los objetos sin confundirlos.

Accidentales: Pueden ser ignorados en una descripción y los objetos no se confunden.

Clase: Es un conjunto de objetos. Al agrupar en clases, se puede hacer de dos formas distintas:

Por pertenencias duras: Un objeto pertenece o no a una clase.

Por pertenencias difusas: Los objetos pertenecen parcialmente a una clase.

Reconocimiento: Proceso de clasificación de un objeto en una o más clases.

Filtración: Consiste en quitar información o datos indeseados de entrada. Dependiendo del uso, el algoritmo o método de filtrado cambia.

Reconocimiento de patrones: Existen varios enfoques para definir este término:

“La disciplina dedicada a la clasificación de objetos y el pronóstico de fenómenos.”

“Rama del conocimiento, de carácter multidisciplinario, cuyo objeto de estudio son los procesos de identificación, caracterización, clasificación y reconstrucción sobre conjuntos de objetos o fenómenos, así como el desarrollo de teorías, tecnologías y metodologías relacionadas con dichos procesos.”

“Es la ciencia que se ocupa de los procesos sobre ingeniería, computación y matemáticas relacionados con objetos físicos y/o abstractos, con el propósito de extraer información que permita establecer propiedades de o entre conjuntos de dichos objetos.”

Tipos de problemas de clasificación

Selección de variables: Consiste en seleccionar cuál es el tipo de características o rasgos más adecuados para describir los objetos. Se deben localizar los rasgos que inciden en el problema de manera determinante.

Clasificación supervisada: También es conocida como clasificación con aprendizaje, en este tipo de problemas ya se encuentran definidas las clases, y éstas cuentan con algunos objetos previamente clasificados.

Clasificación parcialmente supervisada: También conocida como de aprendizaje parcial, en éstos problemas existe una muestra de objetos sólo en algunas de las clases definidas.

Clasificación no supervisada: También conocida como clasificación sin aprendizaje, en éstos problemas no existe ninguna clasificación previa de objetos y en algunas ocasiones ni siquiera se han definido las clases.

Enfoques dentro del reconocimiento de patrones

Geométrico (Clustering): Los patrones deben ser graficables, en éste enfoque se emplea el cálculo de distancias, geometría de formas, vectores numéricos, puntos de atracción, etc.

Estadístico: Se basa en la teoría de la probabilidad y la estadística, utiliza análisis de varianzas, covarianzas, dispersión, distribución, etc.

Sintáctico estructural: estudia la estructura de los objetos, es decir, usa teoría de lenguajes formales, gramáticas, teoría de autómatas, etc.

Neuro reticular: Se utilizan redes neuronales que se “entrenan” para dar una cierta respuesta ante determinados valores.

Lógico combinatorio: se basa en la idea de que la modelación del problema debe ser lo más cercana posible a la realidad del mismo, sin hacer suposiciones que no estén fundamentadas. Se utiliza para conjuntos difusos y utiliza lógica simbólica, circuitos combinatoriales y secuenciales, etc.

2.2.7. Efectos de la automatización industrial en personas, sociedad y ambiente

De manera general en la automatización de un proceso de fabricación, es necesario considerar los efectos que ésta tiene en las personas, la sociedad y el medio ambiente, al aplicarse en las celdas de manufactura. Los efectos más importantes son:

Efectos intencionales (positivos)

- **Operación simplificada y más conveniente**
 - Automatización de una lavadora
 - Automatización de un sistema de calefacción
- **Producción de mejores artículos y más económicos, de igual calidad con costos bajos de producción**
 - Automatización de procesos de producción en general.
- **Reducción de riesgos para el humano**

- Sistema ABS
- Automatización de sistemas de tránsito vehicular
- **Mejores condiciones de trabajo**
 - Automatización de sistemas de pintado
- **Asegurar trabajos a través de mejora de la competitividad**
 - Utilización de robots en la industria automotriz

Efectos no intencionales (negativos)

- **La redundancia de trabajadores puede conducir al desempleo**
 - Utilización de robots en manufactura
- **Reestructuración de empleos debido a cambios en el flujo y campo de trabajo**
 - Empleos alta/bajamente calificados
 - Incremento de empleos en el sector de servicios
- **Reducción de relaciones humanas**
 - Introducción de máquinas expendedoras de boletos y de sistemas de información
- **Incremento del estrés y reducción de tareas relajantes**
 - Automatización de sistemas de prueba

Capítulo 3

Planteamiento de la investigación

La integración de las distintas tecnologías de la automatización que forman a una celda de manufactura, dan origen a una amplia gama de aplicaciones de éstas en los procesos industriales, dentro de las más importantes se encuentran:

- Sistemas de inspección, conteo y control de calidad por visión artificial.
- Fabricación, manipulación y ensamble de piezas, artículos y productos
- Procesos químicos en general
- Transporte y movimiento interno de materiales.

Muchas de estas aplicaciones han ocurrido bajo la asignación de los Sistemas de Manufactura Flexibles (FMS)

En el sentido más amplio un FMS, puede estar formado de tres subsistemas:

- Fabricación
- Maquinado
- Ensamble.

Cada uno de estos tres subsistemas pueden estar integrados con almacenamientos automatizados y con sistemas de diseño asistidos por computador.

En un FMS se pueden hacer muchas tareas usando robots. Martensson ha clasificado los robots en tres grupos:

- Los de manejo.
- Los de operación de herramientas.
- Los de ensamble.

ROBOTS DE MANEJO

Los robots típicos de manejo transfieren un objeto, (por ejemplo una herramienta o un artículo), desde un punto a otro y tienen una gran variedad de aplicaciones en el FMS.

ROBOTS MANEJADORES DE HERRAMIENTAS.

Las aplicaciones más comunes de los robots manejadores de herramientas son: 1) Cubrir, revestir, (pintar o proteger por debajo) 2) Soldadura de punto, 3) Soldadura Eléctrica. 4) Maquinado ,(taladrado), y 5) Recortado,(trimming).

ROBOTS DE ENSAMBLE

Las operaciones más típicas de ensamble son: la transferencia y empate de partes. Los robots de ensamble podrán llegar a dominar situaciones como las siguientes: variedad de artículos, variedad de orientaciones de esos artículos, manejo de artículos defectuosos, ensamble de productos diferentes en la misma línea flexible de ensamble. [9]

En la actualidad son variados los procesos de manufactura en los que intervienen celdas asistidas por sistemas de visión artificial. Se mencionan algunas aplicaciones industriales y en universidades que tienen semejanza con el proyecto aquí planteado.

El desarrollo de un sistema automatizado de inspección visual de alta velocidad, con la aplicación en un proceso de manufactura de pilas tipo D, cuya velocidad de

producción es de 8 pilas por segundo. Este sistema es no invasivo, en el que se aplica una cámara una PC como centro de control.

El algoritmo de tiempo real ejecuta los siguientes pasos para cada pieza:

- Adquisición de imagen con sensor CCD (sensor con diminutas celdas fotoelectricas que registran una imagen)
- Preprocesamiento digital de imágenes
- Procedimientos para detección de defectos
- Clasificador simple de tres umbrales
- Etapas de manejo de resultados

Con la implementación de este trabajo se disminuyen costos de producción y se denotan las ventajas que se tienen al aplicar los avances tecnológicos y modernos procedimientos de programación para procesar información que permite un constante aumento en la sensibilidad en los sistemas artificiales de visión [19]

Los objetivos planteados para el desarrollo de este trabajo son:

3.1. Objetivo general

Integrar una celda de manufactura para el ensamble de una pirámide de 6 piezas a través de tres robots manipuladores, asistida por un sistema de visión por computadora y un carro metálico transportador.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar una pieza de ensamble dentro de un conjunto de 6 piezas diferentes a través de una cámara fija para determinar el robot que manipulará la pieza.
- Diseñar las rutinas de manipulación para el ensamble parcial y completo de las piezas.
- Implementar la lógica de intercomunicación y operación de la celda de manufactura, a través de la adquisición y procesamiento de señales.

3.3. Justificación

La importancia de la implementación de un sistema de visión por computadora mediante una cámara fija radica en la identificación de las características de las piezas que forman a la pirámide que se ensambla en el proceso de la celda de manufactura [22]. Se aplica el reconocimiento de objetos patrón de las piezas para la toma de decisión y determinar si es el robot Motoman 1 (M1) o el robot Motoman 2 (M2) el que toma la pieza del carro metálico transportador para colocarla en su correspondiente área de trabajo. Esta es una de las partes inteligentes del proceso en la que se desarrolla la interfaz de comunicación entre el dispositivo de visión (cámara) y los dos robots manipuladores para la clasificación de las piezas.

En este trabajo se propone la implementación de una estructura tecnológica, mediante la integración de una celda de manufactura con fines académicos e industriales que favorece por un lado, el desarrollo de capacidades y competencias profesionales en los estudiantes de ingeniería Mecatrónica en el área de automatización de procesos y por el otro, la posibilidad de implementar en la industria de la región la automatización e integración de este tipo de manufactura.

Este proyecto se desarrolla con fines académicos, de investigación aplicada y desarrollo tecnológico aplicables a los procesos de producción industriales, por lo tanto las aportaciones hechas tienen un sustento práctico en virtud a que las diferentes etapas del proyecto se implementaron paulatinamente hasta llegar al funcionamiento armónico de los elementos que forman a la celda de manufactura. La implementación de la celda de manufactura en el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica en la UPTx, trae consigo significativos beneficios e importantes aportaciones sociales tales como, el contar con los medios didácticos necesarios para propiciar el desarrollo de habilidades, capacidades y competencias en los estudiantes de licenciatura que les permitan desempeñarse favorablemente en un ámbito laboral en las áreas del conocimiento de *Robótica, Visión por computadora, Electrónica, Programación y Mecánica* principalmente. Además de propiciar en la comunidad universitaria el uso de dispositivos de procesamiento de imágenes que se tienen disponibles en los laboratorios de la Universidad.

Otro aspecto importante, es la generación de proyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico en el que participan docentes y estudiantes del Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica mediante el cuerpo académico de Diseño y Automatización de Procesos de Manufactura, con lo que se detona el reconocimiento por las empresas de la región y el beneficio económico para la institución.

En virtud a que en la Universidad se cuenta con los equipos y dispositivos necesarios para integrar la celda de manufactura, lo cual representa una área de oportunidad para iniciar con el desarrollo de tecnología propia que contribuya en la mejora del proceso académico y de investigación aplicada tanto en la comunidad Universitaria como en la industria de la región.

Lo anterior impacta directamente en una población de 700 estudiantes inscritos actualmente en el Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica. La celda contribuye en el proceso de aprendizaje de las siguientes asignaturas del plan de estudios vigente:

Análisis de Circuitos Eléctricos, Electrónica analógica y digital, Electrónica de potencia, programación de periféricos, sensores y acondicionamiento de señal, Automatización industrial, Adquisición y procesamiento de señales, Redes industriales, Cinemática de robots, Dinámica y control de robots, Integración de sistemas mecatrónicos, entre otras. Una aportación más, es propiciar la flexibilidad con la que opera la celda de manufactura ya que se implementan dos áreas de trabajo para cada uno de los dos robots manipuladores Motoman, lo que permite la reprogramación del proceso en relación al ensamble original. Es importante considerar que las características técnicas y físicas de la celda propuesta pueden variar en relación a otras ya diseñadas y fabricadas pero el objetivo de aplicación es el mismo. Actualmente en la industria son diversos los procesos en los que se combina la aplicación de la robótica y la visión por computadora, que dan como resultado la integración de celdas de manufactura automatizadas las cuales es necesario sean operadas, controladas y reparadas por personal especializado, lo que representa una excelente área de oportunidad para que este proyecto influya importantemente en el ámbito industrial.

Es necesario aclarar que el software con el que se programan las rutinas que ejecutan los tres manipuladores no se desarrolla, ya que la programación se realiza con el lenguaje o arquitectura preestablecida por el fabricante de los robots.

Industrialmente el proyecto tiene aplicación y aportación en los siguientes aspectos:

- Capacitación a personal de la industria en el manejo y mantenimiento de celdas de manufactura con las que cuentan en sus procesos de fabricación.
- Diseño e implementación de celdas de manufactura en los procesos de producción
- Integración de elementos a celdas que ya están en funcionamiento dentro de las industrias.

Los procesos industriales más importantes en los que interviene la automatización y la robótica y que además son en los que se integran laboralmente los estudiantes y egresados de Ingeniería Mecatrónica de la UPTx, se citan en seguida:

- Ensamble
- Paletizado
- Control de calidad
- Trabajos de fundición

Si NO se lleva a cabo este trabajo de tesis, los equipos del Laboratorio de Robótica de la UPTx, destinados a llevar a cabo prácticas académicas situadas y a hacer desarrollos tecnológicos en un vínculo de Universidad-Empresa, no podrán comenzar a utilizarse para tal fin, puesto que hasta la fecha de inicio de la tesis no se había llevado a cabo ningún proceso de manufactura de manera integral con ellos.

La ventaja de llevar a cabo este trabajo de tesis será contar con la INTEGRACIÓN sinérgica de dispositivos y elementos agrupados en una celda para desarrollar un proceso de manufactura en particular, a diferencia de tener elementos aislados, incapaces de desarrollar el mismo proceso.

3.4. Planteamiento del problema

Actualmente, en el Laboratorio de Robótica de la Universidad Politécnica de Tlaxcala (UPTx) se cuenta con tres robots manipuladores de seis grados de libertad que trabajan de manera aislada o independiente.

La programación para el desarrollo de rutinas tiene algunas limitantes tales como la de no contar con áreas de trabajo para cada uno de los robots y, en general, no se cuenta

con los elementos necesarios (sistema de visión por computadora, carro transportador y almacenes) para el desarrollo integral de trabajos específicos que contribuyan en el fortalecimiento de capacidades y competencias en los estudiantes de Mecatrónica, en particular en el área de la robótica. Una aplicación muy importante de la celda de manufactura es en el ámbito industrial mediante la innovación de nuevos y mejores procesos industriales de fabricación.

Por lo anterior, y con el propósito de contribuir en el desarrollo académico de alrededor de 700 estudiantes inscritos en el Programa Educativo de Ingeniería Mecatrónica, y ofertar una alternativa de mejora en los procesos industriales de las empresas de la región se ha propuesto integrar una celda de manufactura automatizada con un proceso específico, el ensamble de una pirámide didáctica de seis piezas.

Es importante destacar que la celda de manufactura no solo es aplicable en el área educativa sino también en los procesos industriales de producción.

3.5. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se establecieron las siguientes etapas:

- Establecimiento del propósito, alcances y restricciones del proyecto.
- Búsqueda de información que fundamenta la aplicación integral de la automatización, la robótica y la visión por computadora en una celda de manufactura para el ensamble de piezas.
- Definición de la metodología de investigación. Esta se desarrolló bajo el enfoque cualitativo con la finalidad de dar solución a un problema específico.
- Implementación de la metodología de investigación, que se fundamenta en los siguientes aspectos:

- Identificar una pieza dentro de un conjunto de seis piezas diferentes a través de una cámara fija para coordinar la actuación de los dos robots manipuladores.
- Diseñar las rutinas de manipulación para el ensamble parcial y completo de la pirámide didáctica.
- Implementar la lógica de intercomunicación y operación de la celda de manufactura a través de la adquisición y procesamiento de señales.
- Evaluar los resultados. Una vez implementada la celda de manufactura es necesario evaluar objetivamente la eficacia y la eficiencia con la que trabajan los robots y los elementos periféricos que intervienen, así como del algoritmo desarrollado para el control.
- Obtener conclusiones y líneas de trabajo futuro

Capítulo 4

Diseño de la celda de manufactura

4.0.1. Trabajo a desarrollar por la celda de manufactura a implementar

En particular el trabajo que desarrolla la celda de manufactura es el ensamble de seis piezas circulares cuyos diámetros son, 18,16,14,12,10 y 8 cm para formar a la Pirámide Didáctica, las acotaciones de las piezas se presentan en la Figura 4.1

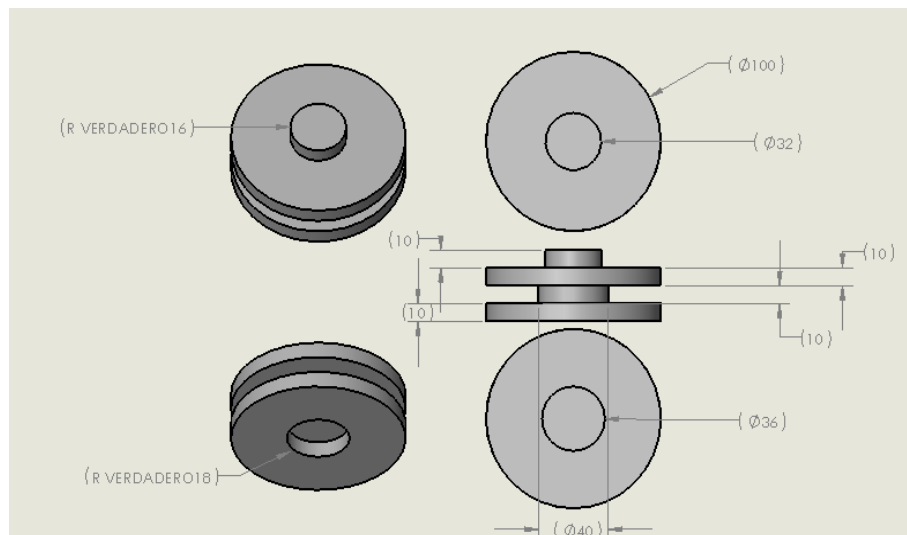


Figura 4.1: Acotación de las piezas que forman a la pirámide didáctica.

Es importante señalar que el único cambio que se realiza en las seis piezas es en el

diámetro exterior. El barreno inferior tiene de diámetro 36 mm, el soporte intermedio es de 40 mm de diámetro y el cilindro superior es de 32 mm de diámetro en todas las piezas. En seguida se presenta el diseño de las seis piezas que forman a la pirámide didáctica.

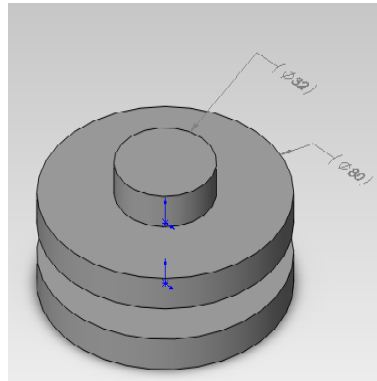


Figura 4.2: Pieza de 80mm de diámetro

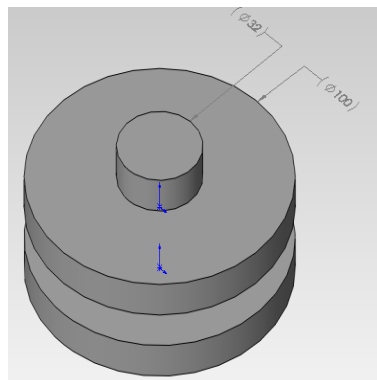


Figura 4.3: Pieza de 100mm de diámetro

La tarea de ensamble la ejecutan por separado los dos robots Motoman, ensamblando tres piezas cada uno de ellos (mitad de la Pirámide), para posteriormente realizar el ensamble completo. (Ver Figura.4.8)

Se diseñaron y fabricaron las seis piezas que forman a la pirámide didáctica que se ensambla en el proceso, para este diseño se realizaron algunas consideraciones importantes con la finalidad de lograr primero la sujeción correcta de cada pieza por el

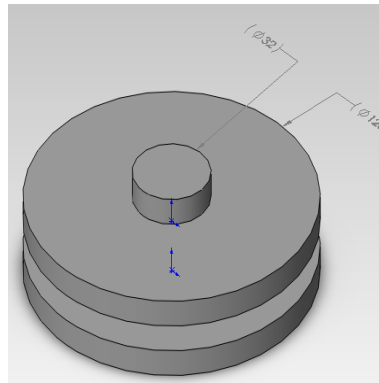


Figura 4.4: Pieza de 120mm de diámetro

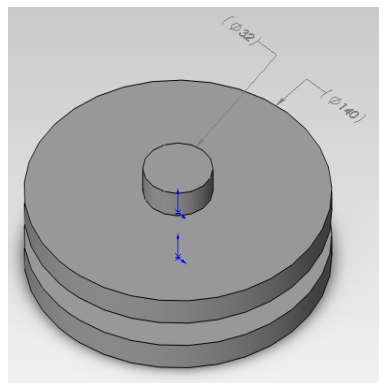


Figura 4.5: Pieza de 140mm de diámetro

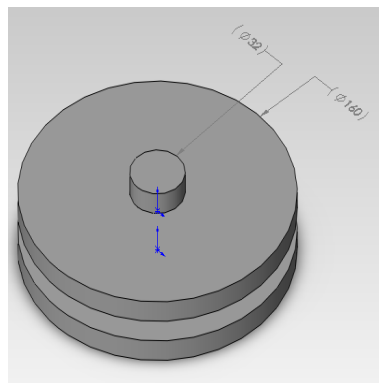


Figura 4.6: Pieza de 160mm de diámetro

actuador final de los manipuladores y segundo que el ensamble de las piezas sea el correcto para formar la pirámide didáctica, producto final del proceso en la celda de manufactura.

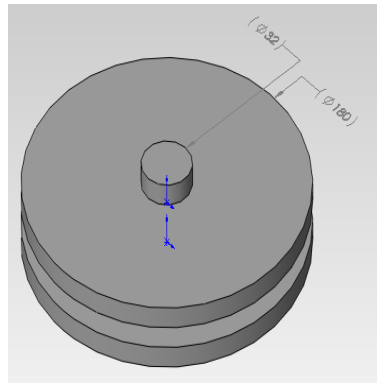


Figura 4.7: Pieza de 180mm de diámetro

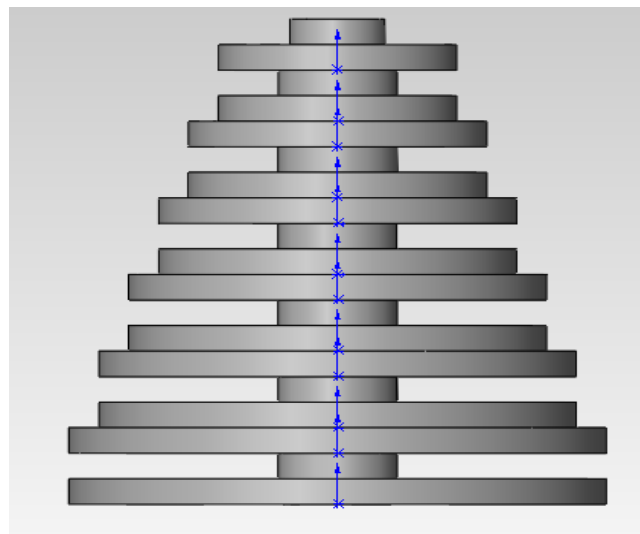


Figura 4.8: Ensamble de la pirámide didáctica.

El proceso de ensamble planteado es el siguiente: el robot Kuka toma la pieza del almacén de materia prima, la coloca en carro metálico transportador y éste se desplaza hasta el punto donde se encuentra la cámara. La cámara adquiere la imagen, es analizada y procesada por el algoritmo programado en LabView. Dependiendo de la imagen reconocida, el software genera una salida binaria que determina la rutina que ejecutarán los robots Motoman con el fin de colocar la pieza en sus áreas de trabajo y después realizar el ensamble de las piezas para obtener el producto terminado.

4.0.2. Características generales de la celda de manufactura a implementar

El siguiente listado de características de la celda a implementar se derivan de la investigación documental realizada, en la que se relacionan las propiedades técnicas y los contenidos teóricos que se incluyen en el proyecto.

- En la celda se aplica la automatización flexible o suave ya que permite la reprogramación de las rutinas que se ejecutan.
- El nivel de automatización general que se aplica en la celda es el Tercero con Control Centralizado debido a que es una computadora la que controla al sistema.
- Como celda de manufactura integrada por computadora (CIM) se ubica en el segundo nivel de automatización ya que se realizan tareas tales como: adquisición y procesamiento de información, monitoreo permanente, mantenimiento preventivo y correctivo, sincronización de células, coordinación de transporte, entre otras.
- En cuanto a la aplicación de las tecnologías de la automatización, particularmente para esta celda de manufactura se integran tres robots industriales de seis grados de libertad, un sistema de visión por computadora y un carro metálico transportador, para realizar el ensamble de la pirámide didáctica.
- En cuanto a la complejidad de las actividades que desarrollan los robots manipuladores, los tres que forman parte de la celda, se ubican en el segundo nivel que corresponde a los robots con habilidades múltiples, capaces de realizar distintos trabajos mediante un simple cambio en su programación.
- La configuración de la celda será lineal con flujo o movimiento del material secuencial y marcha atrás.

- De acuerdo a la clasificación que hace la Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) los tres robots son del Tipo C ya que son programables con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre su entorno.
- Considerando la clasificación industrial de los robots, los manipuladores son de primera generación ya que repite la tarea programada secuencialmente, no toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.
- La aplicación en la celda de los tres manipuladores será en un proceso de ensamble.
- El objetivo de la visión artificial de la celda es detectar, segmentar, localizar y reconocer ciertos objetos en imágenes. Esto se logra mediante la aplicación de la técnica de *Reconocimiento de Patrones* en el que se clasificarán las señales para la toma de decisiones.

4.0.3. Características técnicas de los elementos que forman parte de la celda de manufactura

- 2 robots manipuladores Motoman de 6 grados de libertad. Ver tabla 4.1
- Robot Kuka Modelo VKRC1. Ver tabla 4.2
- Se integra una cámara fija ubicada a 35 cm sobre el carro metálico transportador en la parte final del riel, lugar donde se encuentran los dos robots Motoman. La función principal de la cámara es determinar el diámetro (tamaño) y forma de las piezas de la pirámide didáctica que son transportadas por el carro metálico y envía una señal que activa al Motoman 1 o al Motoman 2 para que tomen la pieza y la coloquen en su respectiva área de trabajo.

Las propiedades técnicas de la cámara se citan en la tabla 4.3

- Una licencia software Labview 2010, versión 10 de National Instruments Corp.

El proceso de adquisición de imágenes se realiza a través de la cámara y la interfaz de comunicación o envío de señales del software (programa) hacia los robots Motoman es mediante el controlador cDAQ-9178. Ver Figura 4.9. Sus propiedades más importantes se presentan en en la tabla 4.4



Figura 4.9: cDAQ-9178

- Los módulos para la adquisición y generación de señales utilizados en la celda son:
Módulo NI 9474 Salidas digitales 8 canales. Ver Figura 4.10[4]



Figura 4.10: Módulo 9474 de salidas digitales

En la tabla 4.5 se presentan las características técnicas de éste módulo

Módulo NI 9401 bidireccional de E/S digitales de alta velocidad de 8 canales, 5 VDC. [3]

Sus características técnicas se citan en la tabla 4.6

- Las características técnicas del riel y el carro metálico transportador se presentan en la tabla 4.7
- Área de trabajo para cada robot Motoman Cada robot cuenta con dos áreas de trabajo fijas con soporte metálico (ángulo de 3/4 X 1/8 pulgadas) y la base es de acrílico de 4mm de espesor y 30x30 cm.
- Almacén de Materia Prima
 - Material: Acrílico transparente 4mm
 - El ensamble del almacén se muestra en la Figura 4.11

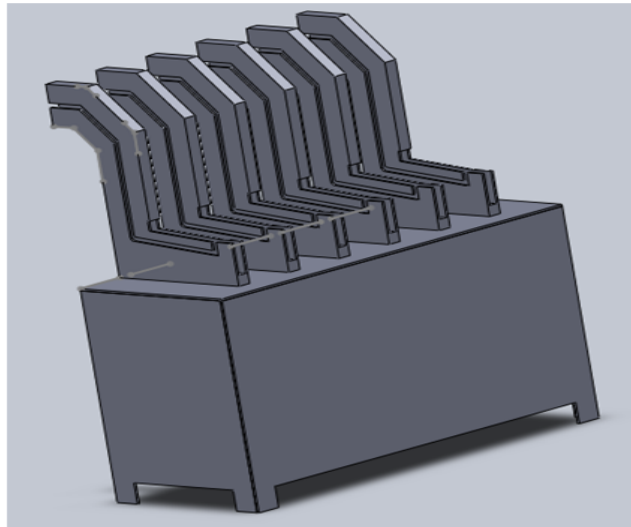


Figura 4.11: Diseño Almacén Materia Prima.

- Almacén de producto terminado Como almacén de producto terminado se fabricó una mesa de 55 cm de ancho X 120 cm de largo y 75 cm de alto. El bastidor es de perfil metálico de 2 X 1 pulgadas y los cuatro soportes principales son también de perfil metálico de 1 X 1 pulgadas.

Layout de la celda de manufactura

El diseño del layout de la celda, se realizó en función a la ubicación que tienen los tres brazos robots ya que por razones técnicas tales como alimentación de voltaje, cimentación y espacio asignado para su operación esta limitada una posible reubicación. Parte de la celda de manufactura es el carro metálico transportador el cual se desplaza sobre un riel cuya tracción es por cadena mediante un motor de 24 V cd y la fuente que lo alimenta es regulable de 1.2 a 32 V de cd y cuya función es transportar las piezas de la pirámide a ensamblar del área de almacenes donde se ubica el robot Kuka al área de ensamble donde se encuentran los dos robots Motoman, cada uno de ellos cuenta con dos áreas de trabajo, una en la que realizan el ensamble de las piezas de la pirámide y en la otra depositan las piezas repetidas o que tienen diferentes dimensiones y formas y son rechazadas del proceso. Se integra un sistema de visión por computadora en el que la cámara fija toma las imágenes de las piezas a ensamblar generándose así la señal que irá al Motoman uno o dos según corresponda para que ejecute la rutina con la que toma la pieza para colocarla en el área de ensamble o de rechazo. Se integran también el almacén de materia prima del que toma las piezas el robot kuka para iniciar el proceso y el de producto terminado en el que se deposita la pirámide ya ensamblada a la que se le considera como producto terminado del proceso Ver figura 4.12.

Un aspecto importante es la flexibilidad de la celda de manufactura, la cual se ha conceptualizado como la capacidad de operación de la celda con ciertas variantes en el proceso. La flexibilidad de la celda en particular consiste en la programación y operación de cada uno de los robots Motoman con sus dos respectivas áreas de trabajo, otra variante en la operación de la celda es que cada robot Motoman interactúe con sus dos áreas de trabajo más el carro transportador y finalmente el robot Kuka interactuando con los dos almacenes (materia prima y producto terminado).



Figura 4.12: Layout de la celda de manufactura

El diseño de la distribución se realizó de acuerdo a las instalaciones con las que se cuenta y los equipos que van a interactuar en el sistema. Los tres robots se encuentran ubicados dentro del laboratorio de Robótica en el edificio de laboratorios LT1 de la UPTx. En la Figura 4.13 se muestra el espacio físico de trabajo.



Figura 4.13: Espacio físico de la Celda de Manufactura

Se realizó un layout de las instalaciones existentes, donde se muestra la delimitación de las áreas en las que se lleva a cabo el proceso de ensamble con la celda de manufactura, se presenta la vista superior. El robot Kuka se ubica en la parte designada como almacén

de materia prima y producto terminado con un espacio de trabajo de 5x4.5x5m y los robots Motoman en la parte de ensamble con un espacio de trabajo de 5x3x5m Ver figura 4.14.

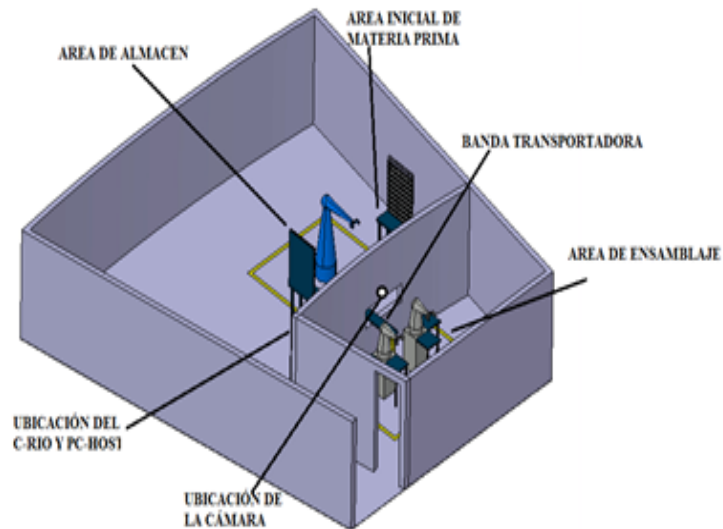


Figura 4.14: Vista superior del área de trabajo de la Celda de Manufactura

El proceso de producción planteado es el siguiente: el robot Kuka toma la pieza del almacén de materia prima, la coloca en carro metálico transportador y éste se desplaza hasta el punto donde se encuentra la cámara. La cámara adquiere la imagen, es analizada y procesada por el software programado en LabView. Dependiendo de la imagen reconocida, el software genera una salida binaria que determina la rutina que ejecutaran los robots Motoman con el fin de colocar la pieza en sus áreas de trabajo y después realizar el ensamble de las piezas para obtener el producto terminado.

La función del carro metálico transportador es trasladar las piezas de la pirámide didáctica del área de almacenes donde se ubica el robot Kuka, hacia el área de los robots Motoman para su correspondiente ensamble. Una vez que cada uno de los dos robots Motoman tenga en su área de trabajo las tres piezas que le corresponden, se realiza el

proceso de ensamble parcial y completo de la pirámide didáctica y es entonces cuando el carro metálico se mueve de manera inversa, para trasladar al almacén el producto terminado o pirámide didáctica completa. Las dimensiones de diseño del carro metálico transportador están dadas en milímetros y se presentan en la Figura 4.15.

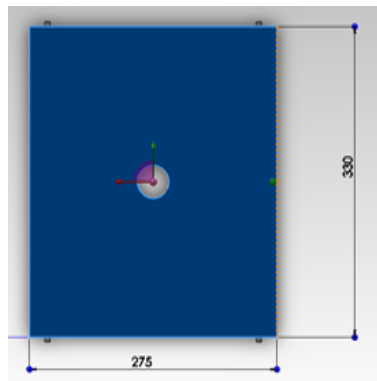


Figura 4.15: Dimensiones del carro metálico transportador

El material utilizado en la construcción del carro metálico transportador es placa de hierro dulce de 6 mm de espesor, y cuatro rodamientos metálicos de diámetro exterior de $1 \frac{1}{4}$ de pulgada y con diámetro interior $\frac{5}{8}$ de pulgada.

El desplazamiento del carro metálico transportador en el riel, se logra mediante el acoplamiento de un motor de 24 V cd, una fuente de voltaje variable de 1.2 a 32 V cd que permite ajustar la velocidad del motor, el control del sentido de giro del motor se realiza por medio de un puente “H” con relevadores de 12 V cd y la tracción mecánica es por cadena. En la Figura 4.16 se presenta el diseño del riel que se integra a la celda de manufactura.

Se desarrolló el diseño de la fuente de alimentación para el motor de CD que genera la tracción que mueve al carro metálico transportador de las piezas que forman a la pirámide. Las características técnicas principales de la fuente son:

- Voltaje de alimentación 127 V CA

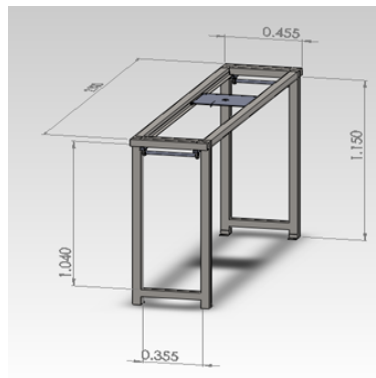


Figura 4.16: Riel del carro metálico transportador

- Salida regulable de 1.2 a 32 V cd 5 A

En la Tabla 1 se cita el listado del material utilizado en la implementación de la fuente de alimentación.

El diagrama de conexión de la fuente de alimentación que se diseñó es el que se presenta en la Figura 4.17

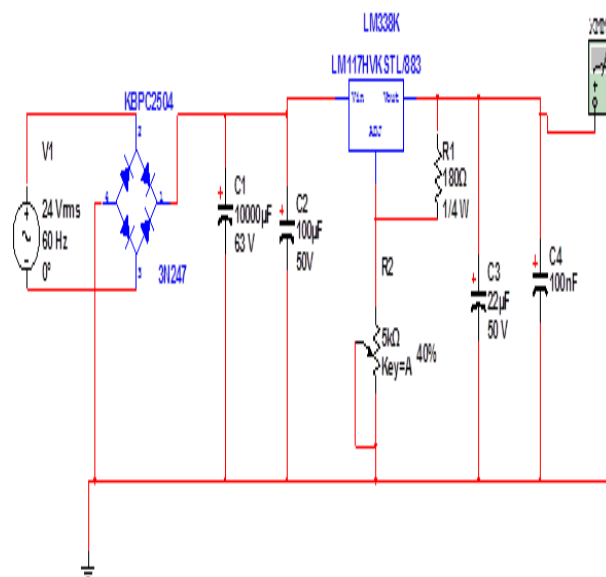


Figura 4.17: Diagrama de conexión de la fuente de voltaje

El control del inicio y fin de carrera para el traslado del carro metálico transportador

sobre el riel, se realiza utilizando dos sensores ópticos ubicados en ambos extremo de la estructura del riel. El primero es el que se ubica en el área de almacenes y su principal función es detectar la presencia del carro metálico, tomando esta posición como “home”. Con lo anterior se asegura que el carro está en posición para iniciar el proceso y para recibir la pieza que le coloca el robot Kuka. El segundo sensor esta ubicado en el extremo del riel que da al área de ensamble y su función es detectar la presencia de del carro metálico y en consecuencia detenerlo para que alguno de los robots Motoman tome la pieza y la coloque en su área de trabajo. En la Figura 4.18 se presenta la imagen de como son físicamente la sensores.



Figura 4.18: Sensor óptico

Las características técnicas más importantes de los sensores se presentan en la tabla 4.8

En virtud de que se obtiene una señal de salida del sensor de 24 V cd la cual se envía al modulo NI 9401 (ver Figura 4.19) y éste trabaja con 5 V cd y cuya función principal es ser la interfase de comunicación e intercambio de información entre los sensores, la cDAQ 9178 de National Instruments y la PC en la que se tiene el algoritmo de programación, resulta necesario incluir un regulador fijo de tensión 5 V, y para este caso se utiliza el LM 7805.

Para la inversión de giro del motor se desarrolla un puente “H” con contactores y transistores cuyo esquema de conexión es el que se presenta en la Figura 4.20)



Figura 4.19: Modulo de E/S digitales 9401

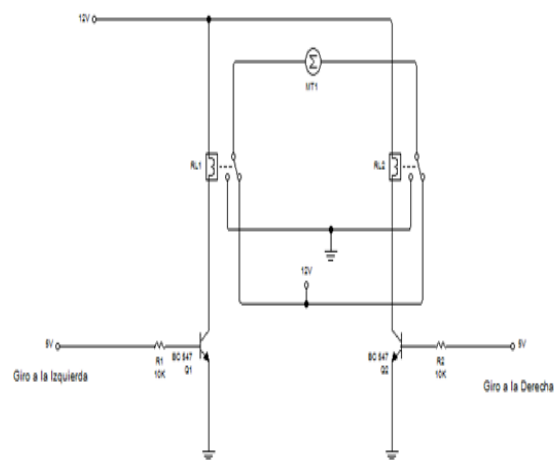


Figura 4.20: Diagrama de conexión Puente “H”

La cDAQ-9178 coordinará la operación general de la celda de manufactura como se presenta en la figura 4.21.

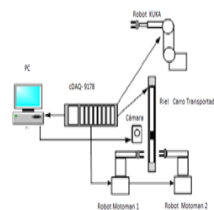


Figura 4.21: . Esquema de control de la celda de manufactura propuesta

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
2 Robots Manipuladores	Marca de los manipuladores Motoman Modelo HP3JC Seis grados de libertad Carga útil de 3 kg Precisión en la repetición 0.03 mm
Controlador NX100	Construcción en gabinete metálico de dimensiones 600 X 1200 X 550 mm. Enfriamiento indirecto Temperatura de operación 0° a +45°C Alimentación eléctrica 3 fases, 200VAC (+10 a -15 por ciento) 50 Hz Tierra física menor a 100 ohms, exclusiva para el sistema Entradas digitales con transistor a 24 VDC 8mA y salidas digitales con transistor a 24 VDC 50mA Salidas generales a relevador 24 VDC 500 mA. Sistema de posicionamiento por medio de comunicación serial Control de servomotores SERVOPACK para servomotores de AC Aceleración/desaceleración Control de servos por Software Capacidad de memoria 60,000 instrucciones El NX100 tiene programados 4 tipos de movimientos del robot Motoman, los cuales son: Movimiento Joint (MOVJ) Movimiento Lineal (MOVL) Movimiento Circular (MOVC) Movimiento Parabólico o Spline (MOVS)
Manipulador HP3JC	Es el que se encarga de ejecutar las rutinas previamente programadas.
Teach Pendant:	Lenguaje de programación INFORM III Comunicación estándar Ethernet Capacidad de memoria 60,000 pasos, 10,000 instrucciones. 7 entradas digitales a 24 VDC 8 mA 6 salidas digitales a 24 VDC 50 mA

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas de los robots Motoman

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Robot Kuka	<p>Marca del manipulador Kuka grados de libertad seis Cargas de hasta 120 kg para ser montado sobre el piso o contra el techo Robot de ámbito general para soldadura, manipulación y mecanizados La unidad de control de robot KR C1 facilita la programación por medio de la interfaz de usuario Microsoft Windows Tecnología de PC abierta y compatible con redes Unidades de disquete y CD-ROM para el respaldo de datos Facilidad de manejo y de programación por medio del panel de control KUKA-Control-Panel (KCP) con Windows como interfaz de usuario Máximo alcance: 2,6 m Precisión en la repetición 0,2 mm Controlador: KR C1</p>

Tabla 4.2: Especificaciones técnicas del robot Kuka
[12]

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Cámara	<p>Tipo de lente: Manual focus Sensor de imagen: CIF (352x288) CMOS Balance de blancos: Auto/Manual Interface: USB 1.1/1.0 Formatos de archivo: JPEG/AVI Imagen fija Resolución: 640x480 pixel Dimensiones: 55 x 28 x 53mm</p>

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas de la cámara

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
cDAQ-9178	<p>Número de ranuras 8 Potencia total disponible 15W Rangos de entradas de voltaje 9V, 30 V Contadores/temporizadores resolución 32 bits Conexión USB 2.0 alta velocidad Frecuencias de operación 5-500 hz. Frecuencia máxima de entrada y salida 1 MHz Voltaje de protección en las entradas Máximo 25 V Mínimo -20 V Voltaje de protección en las salidas Máximo 20 V Mínimo -15 V Máxima Corriente de salida (baja) 8mA Dimensiones del chasis 25.5 cm X 8.81 cm X 5.89 cm Peso aproximado del chasis 878 g Tipos disponibles Entradas digitales, analógicas y para contador/temporizador. Salidas digitales y analógicas.</p>

Tabla 4.4: Especificaciones técnicas de la cDAQ
[1]

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Módulo NI 9474 Salidas digitales	<p>Tipos de medida digitales Canales de salida 8 Capacidad de corriente simple 1 A Capacidad de corriente total 8 A Máximo rango de voltaje de salida 5V-30V Temperatura de operación -40°C a 70°C Voltaje mínimo de salida $\pm 10,35V$ Corriente máxima de salida 16 mA Corriente mínima de salida $\pm 4mA$ ADC Resolución: 16 bits Impedancia de las salidas: típica 0.07 ohms, Máxima 0.13 ohms Salida máxima de corriente continua por canal 1 A. Voltaje máximo de protección 30 V</p>

Tabla 4.5: Especificaciones Técnicas del Módulo 9474 de salidas digitales

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Módulo NI 9401 bidireccional de E/S digitales	<p>8 canales E/S digital de 100 ns a alta velocidad E/S digital de 5.25 V máximo Bidireccional, configurable por nibble (4 bits) Programación en tres modos de configuración de las líneas digitales: 8 entradas digitales, 8 salidas digitales, 4 entradas y 4 salidas digitales. Conector D Subde 25 pines estándar en la industria Operación intercambiable en vivo (hot swappable) Rango de temperatura de operación de -40 a 70 °C Máxima frecuencia inputs 9 MHz Máxima frecuencia outputs 5 MHz Capacidad de corriente 100microA a 2 mA</p>

Tabla 4.6: Especificaciones Técnicas del Módulo 9401 bidireccional de E/S digitales

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Riel	<p>Estructura de soporte PTR 2 pulgadas Cadena de transmisión 4 m. 2 Catarinas de 3 pulgadas de diámetro exterior 2 Sensores ópticos Poleas para banda dentada de diámetros exteriores 1 3/8 de pulgada y 4 pulgadas. 4 rodamientos metálicos 1 1/2 pulgada de diámetro exterior, 3/4 de pulgada diámetro interior. Motor de 1.2 - 24 Vcd velocidad variable 1.4 A. Cableado</p>

Tabla 4.7: Especificaciones técnicas del riel y el carro metálico transportador

Nombre del elemento	Descripción de sus características técnicas
Sensores	<p>Girable 360°, con enclavamiento cada 15° Conexión mediante zócalos de seguridad de 4 mm integrados en el sistema de fijación rápida Quick-Fix® Fuente de alimentación de 10 - 30 V CD Salida de voltaje pulso 24 V CD Distancia de detección ajustable de 70-300 mm, con LED</p>

Tabla 4.8: Especificaciones Técnicas de los Sensores

Capítulo 5

Implementación

5.1. Estrategia de implementación

En primer lugar se determinó la factibilidad para llevar a cabo la integración de la celda de manufactura partiendo de los elementos que se tienen disponibles en el laboratorio de Robótica en la UPTx como son los tres robots, el software Lab-View, la cDAQ, y el conjunto de tarjetas de National Instruments para adquisición y generación de señales.

En seguida, se definió el tipo material a utilizar para ensamblar las piezas que forman a la Pirámide Didáctica, la cual es el producto terminado del proceso de manufactura. Lo anterior trae como consecuencia la determinación del proceso a desarrollar.

La fabricación de las seis piezas que forman a la Pirámide Didáctica son de nylamid. El nylamid es un plástico que tienen como cualidades generales, el ser muy ligeros y resistentes a la corrosión, además cuenta con propiedades adicionales importantes, tales como:

- Estabilidad dimensional.
- Maleabilidad.

- Resistencia al desgaste.
- Resistencia dieléctrica.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia química.
- Resistencia térmica.
- Rigidez.

Se diseñó el layout de la celda, en el que se incluye los tres robots manipuladores de seis grados de libertad, el riel en el que desplaza el carro metálico transportador, dos áreas de trabajo para cada robot Motoman, el almacén de materia prima, el almacén de producto terminado, dos sensores ópticos, así como la ubicación de la cámara fija que determina el tamaño de las piezas que traslada el carro metálico transportador. Es importante señalar que el riel así como el carro metálico transportador, los almacenes y las cuatro áreas de trabajo de los robots Motoman se construyeron completamente ya que son elementos con los que no se contaba para integrarlos a la celda de manufactura. Se determinó usar los sensores ópticos en el proyecto por tres factores principales:

- Disponibilidad en el laboratorio de la UPTx de éste equipo y no implica realizar un gasto extra.
- La señal que se obtiene de los sensores es de 24 Vcd, lo cual permite un manejo adecuado en la conexión con la cDAQ.
- Son elementos precisos y eficientes que garantizan el buen funcionamiento de la celda.

Se desarrolló e implementó el algoritmo de control y la interfaz de de comunicación entre los dispositivos que integran a la celda de manufactura mediante el uso del software de LabView de National Instruments Corp. Con lo anterior se logró la interacción del sistema de visión el cual determina el diámetro de las 6 piezas que forman a la Pirámide Didáctica con los dos robots Motoman, la activación del motor de cd para trasladar el carro metálico de un extremo del riel al otro, así como la intervención del robot Kuka el cual dota la materia prima al sistema y coloca el producto terminado en el almacén que le corresponde.

De manera general la celda de manufactura diseñada se divide en cuatro áreas de trabajo principales, las cuales son:

- Área de almacenes: Aquí se incluyen, el Robot Kuka, almacén materia prima y almacén producto terminado.
- Carro metálico: Esta área se forma por el Carro metálico transportador, el riel, los dos sensores ópticos y el motor de 24 Vcd.
- Visión: Está formada por la cámara y la PC en la que se procesan, clasifican y envían señales a los robots Motoman para la ejecución de rutinas.
- Ensamble: En esta área se incluyen los dos robots Motoman y las dos áreas de trabajo de cada uno de ellos.

Una vez que la celda ha sido integrada por todos sus elementos, en particular a los tres manipuladores se les programan las rutinas a ejecutar por movimiento joint (MOVJ) principalmente. Dicha programación se realiza Punto a Punto (PTP), mediante el teach pendant, el cual consiste en el posicionamiento del sistema de robot de un punto a otro por el recorrido más corto entre los dos puntos. Debido a que el movimiento en todos los ejes comienza y finaliza al mismo tiempo, los ejes deben estar sincronizados.

En movimientos PTP con parada exacta, el robot se desplaza al punto de destino con posicionamiento exacto como se muestra en la Figura 5.1

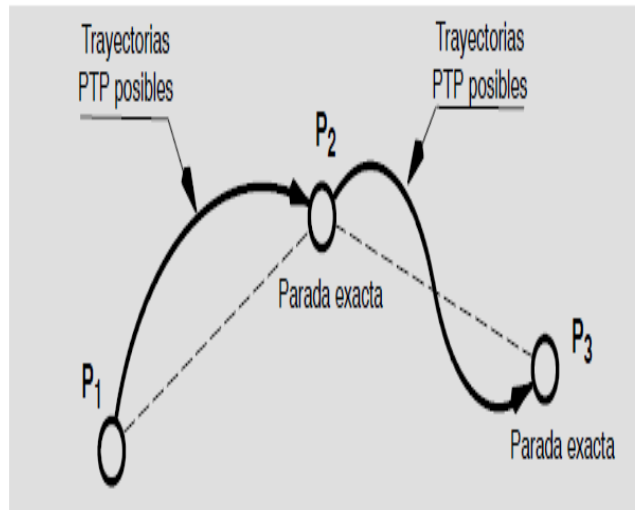


Figura 5.1: Movimientos PTP con parada exacta.

5.1.1. Detección automática de las piezas mediante visión artificial

La cámara fija se encarga de tomar la imagen de cada pieza la cual es procesada para que en función a su pixelaje, uno de los dos robots Motoman la tome y la coloque en su correspondiente área de trabajo para su posterior ensamble, en este sentido se ha considerado la variante de que cuando dos veces o más entre al proceso una pieza de las mismas dimensiones (pieza repetida), los robots Motoman las eliminen del proceso colocándolas en su segunda área de trabajo (área de rechazo). Partiendo de que las piezas que forman a la pirámide didáctica son de forma circular, se ha incluido una variante más en el proceso la cual consiste en que cuando una pieza tenga diferente forma ya sea triangular o rectangular y en consecuencia dimensiones distintas a las preestablecidas será ubicada por los robots Motoman en la segunda área de trabajo

(rechazo).

Es importante señalar que fue necesario reajustar la resolución de la cámara de 850x640 a 640x480 píxeles ya que se generaban problemas al momento de la adquisición de las imágenes de las piezas de la pirámide, detectándose contornos equivocados y por lo tanto el funcionamiento del programa desarrollado en Lab-View también generaba errores.

NI Vision para LabView cuenta con instrumentos virtuales para la detección de bordes de un objeto dentro de una imagen. Estos localizan la posición de los bordes basándose en la noción de la derivada de una imagen a partir de una ventana de búsqueda. Una técnica denominada clamping utiliza las ubicaciones de los bordes para medir el grosor de un objeto. El bloque de clamping de NI Vision se encuentra contenido en el instrumento virtual clamp. El algoritmo de detección de bordes de NI Vision consta de un filtro de gradiente con máscaras predefinidas de 3x3 píxeles.[2]

Es bien sabido que el diseño de un proceso industrial basado en una celda manufactura conlleva una cierta parametrización y ajustes para el proceso en particular. Cualquier alteración al proceso puede implicar menores o mayores modificaciones a la programación o las herramientas de ensamble. Si se tuviera que tomar otra geometría de la pieza, esto podría implicar desde la caracterización de la detección de las piezas, hasta las adaptaciones de las herramientas de manipulación y transporte de las piezas.

5.1.2. Sistema de visión y control

El algoritmo de reconocimiento programado en el software de Lab View indica a la cámara fija tomar la imagen de la circunferencia externa de la pieza tanto en posición horizontal como vertical. El algoritmo identifica las dimensiones de las seis piezas que integran a la pirámide las cuales serán ubicadas por cada robot Motoman en sus corre-

spondientes áreas de trabajo para su posterior ensamble. En la figura 5.1 se muestran las dimensiones de las diferentes imágenes que tomará la cámara.

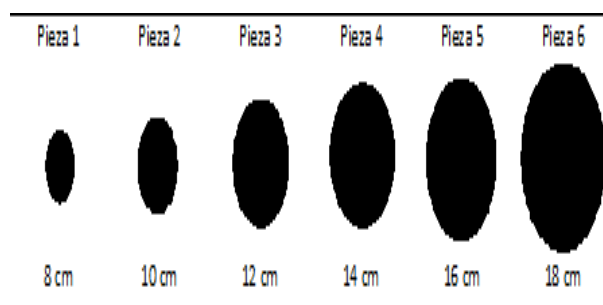


Figura 5.2: Dimensiones de las piezas que forman a la pirámide.

El proceso de adquisición de imágenes se realiza a través de la cámara y el envío de señales del software (programa) hacia los robots Motoman es mediante la cDAQ-9178 y la tarjeta o módulo de salidas digitales 8 canales NI 9474 Compact-DAQ de National Instruments Corp.

5.1.3. Algoritmo de visión

Para realizar el análisis de las imágenes se utiliza el NI Visión development module o toolkit de visión de LabView. La herramienta toma la imagen adquirida por la cámara conectada a la computadora, y determina el número de píxeles de la imagen. El software lleva a cabo el análisis de la imagen registrada y establece el ancho y el alto de la figura con lo que se determina si la forma de la pieza es circular, además de verificar si se encuentra entre los 6 rangos preestablecidos de las piezas que integran la pirámide. En el software LabView de National Instruments, se desarrolló el algoritmo para realizar el reconocimiento de los contornos de las imágenes de las piezas a ensamblar, cuyo diagrama de bloques se presenta en la figura 5.3.

La descripción general del funcionamiento de este bloque del programa es el siguiente: Inicia con la selección de la cámara y su activación, consultando su capacidad y

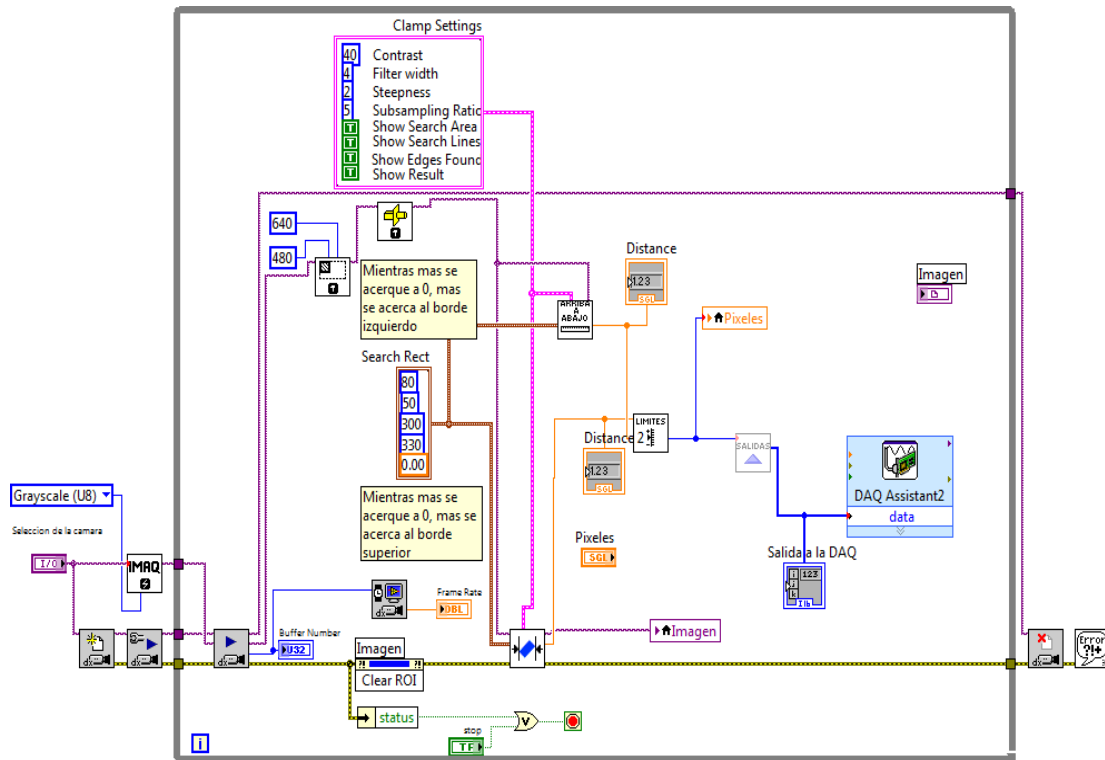


Figura 5.3: Algoritmo para detección de imágenes

carga el archivo de configuración correspondiente para el correcto funcionamiento de la cámara, además de crear una referencia única de la cámara que será vigente durante el corrimiento del programa que adquiere las imágenes de las piezas que componen a la pirámide. El icono que desactiva o detiene la adquisición de imágenes y por lo tanto cancela la referencia única creada al inicio del programa es el icono que está ubicado al final del bloque while del programa.

De manera paralela en el icono IMAQ se crea una memoria temporal para guardar la imagen capturada en escala de grises, cuya señal se toma como imagen de entrada al sistema. Posteriormente se configura, adquiere y monitorea la mayor parte de los contornos de las imágenes para su procesamiento que entran al programa de manera repetida y a alta velocidad. De ahí se toma la señal de la imagen capturada y se envía al icono en el que se determina y controla la resolución a la que trabaja la cámara, para este

caso la resolución en el eje X es de 640 pixeles y en el eje Y es de 480 pixeles y se obtiene una imagen de referencia de salida la cual entra al icono de conversión de la imagen a 8 bits. Finalmente se obtiene la salida de la imagen en el panel frontal, paralelamente la señal de la imagen entra en los iconos que determinan los límites horizontales (superior e inferior) y los límites verticales (derecha e izquierda) de la imagen, lo anterior define el área en pixeles en el que se encuentra la imagen que detecta la cámara, el área mayor de detección en pixeles y el procesamiento de la imagen es de 114,244 pixeles y el tamaño menor del área de detección es de 23409 pixeles. El procesamiento para la detección de bordes se hace en una ventana de 4x4 pixeles, tal como lo define el parámetro Filter Width del instrumento clamp. En la detección de los límites se ha establecido una tolerancia de ± 5 pixeles en cada una de las piezas de la pirámide. En función al número de pixeles de la imagen detectada por la cámara se genera la salida en número binario a la cDAQ-9178, la cual envía el arreglo binario a la tarjeta o modulo de salidas digitales 8 canales NI 9474 Compact-DAQ de National Instruments del que se obtienen salidas de 24 V cd que indican a los robots Motoman la rutina que deben ejecutar. Es importante señalar que la toma de imágenes tiene un retraso de 2 segundos, ya que si se hace de manera continua sin tener un tiempo entre toma y toma de imagen se genera una falla en la detección de contornos equivocados o erróneos.

El algoritmo que clasifica las piezas y genera la salida a la cDAQ después de realizar la detección y el procesamiento de las imágenes se presenta en la Figura 5.4.

El funcionamiento general de éste algoritmo es el siguiente:

Se obtiene mediante una variable local la entrada de los límites horizontales y verticales de la imagen de la pieza detectada por la cámara, aunada al valor de su diámetro en pixeles. Esta señal se introduce al bloque de rango preestablecido según corresponda, del que se obtiene el valor del diámetro en pixeles de la pieza detectada por la cámara, el cual se observa en el panel frontal y además se enciende el led indicador de la pieza

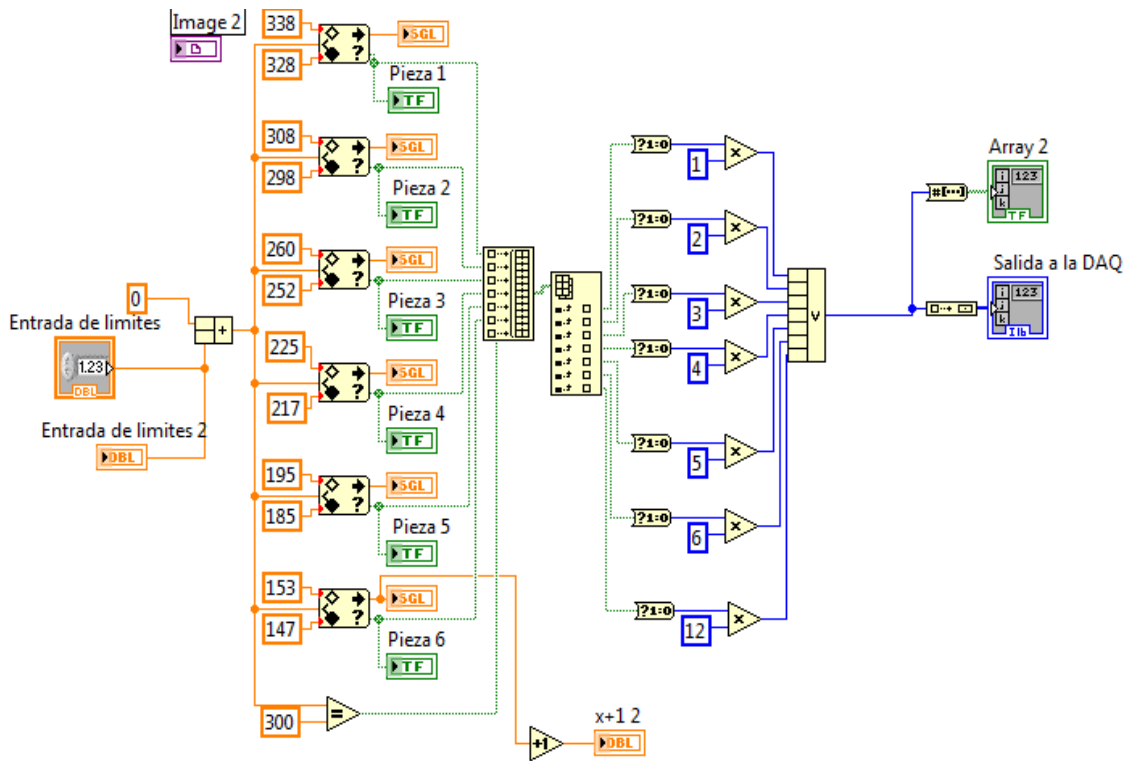


Figura 5.4: Clasificación de imágenes y salida a la cDAQ.

que esta en el proceso, esta señal de tipo booleano se integra en una función tipo arreglo la cual concatena los datos y lo envía a una función index la cual de un arreglo de tipo booleano se obtiene solo un datos también de tipo booleano (0,1) el cual se introduce en la función que convierte éste número en un valor entero de 16 bits que se multiplica por su valor entero que corresponde al número de pieza de la pirámide para finalmente entrar a una función aritmética compuesta de la que se obtiene un valor entero sin signo el cual entra a la función que convierte un numero entero a un arreglo booleano que se observa en el panel frontal (Array 2). Paralelamente se toma la misma señal hacia la salida de la DAQ pasando antes por la función que construye el arreglo en binario dependiendo del valor entero de entrada.

Se desarrolló también el algoritmo que determina los límites máximo y mínimo en pixeles que se deben tomar en cuenta para realizar la clasificación de cada una de las

seis piezas de la pirámide Didáctica. Ver figura 5.5

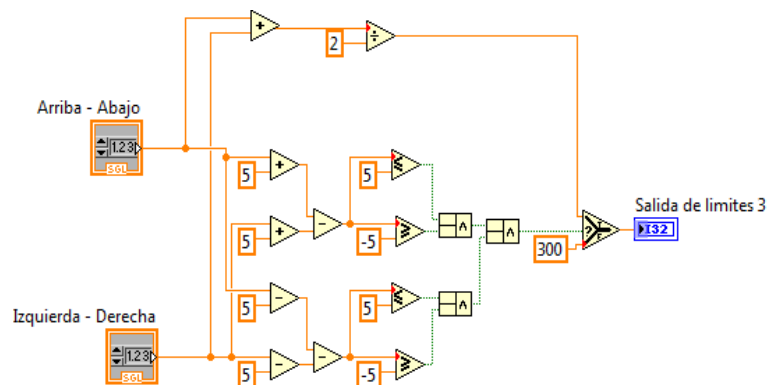


Figura 5.5: Algoritmo que establece los límites en la detección de imagen.

Para realizar las pruebas de detección de contornos y tamaños de las piezas, se utilizó un módulo de lámparas indicadoras como salidas de la DAQ, las cuales están simulando las entradas a los robots Motoman y por consiguiente, las rutinas que se ejecutarán por los manipuladores (Ver figura 5.6).



Figura 5.6: Salidas de la cDAQ a módulo de lámparas indicadoras

5.1.4. Conexión eléctrica de los robots Motoman

Se desarrolló una inspección física de la conexión eléctrica de los robots Motoman para con ello determinar las entradas digitales que se tienen disponibles en el sistema para conectar a éstas las señales de salida que se obtienen de la DAQ, para la ejecución

de las rutinas por cada uno de los robots. Además se identifican las salidas digitales con las que cuentan los robots Motoman, concluyendo que cada robot tiene disponibles 5 entradas digitales con las cuales se realizan 32 combinaciones para que ejecuten diversas rutinas o acciones y cuentan también con 2 salidas digitales. Ver Tabla 5.1

Número de conector / color cable conectado	Descripción
1/rojo	24 V cd
7/amarillo	Sensor de gripper abierto
8/verde	Sensor de gripper cerrado
9/ blanco	Entrada disponible
10/ café	Entrada disponible
11/azul	Entrada disponible
12/ naranja	Entrada disponible
13/negro	Entrada disponible
14	Puenteado con 15
18	puenteado con 19
22/verde	Salida apertura de gripper
23 y 24	Puenteados
25/blanco	Salida disponible
26/azul	Salida disponible
27	Puenteado con 31
28	Puenteado con 32
29	Puenteado con 33
30	Puenteado con 34
35/negro	Cero V
41,42,43,44,45 y 46	Puenteados con 35
56/amarillo	salida cierre gripper
59/café	Salida disponible
60/naranja	Salida disponible

Tabla 5.1: Conectores de los robots Motoman

La Figura 5.7 muestra el diagrama de la conexión de los robots Motoman

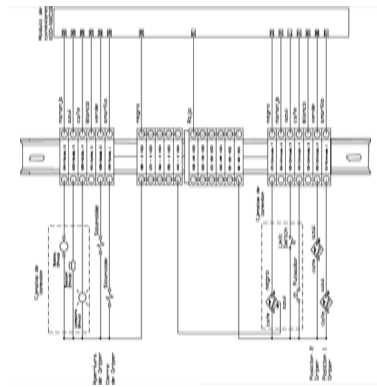


Figura 5.7: Diagrama de conexión de los robots Motoman

5.1.5. Sincronización de los robots de ensamble (Motoman 1 y Motoman 2)

La sincronización de los dos robots Motoman con la NI cDAQ 9178 para desarrollar el proceso de toma y traslado de las seis piezas que forman a la pirámide, del carro metálico transportador al área de trabajo de cada manipulador se realiza mediante la creación con el teach pendant de los programas y subprogramas que cada robot desarrollará dependiendo del grupo de señales digitales enviadas por la cDAQ a las entradas de los robots. El grupo de señales se determinan en función a la imagen obtenida por la cámara y procesada por la PC mediante el algoritmo de Lab View desarrollado con anterioridad. En la Figura 5.8 se presenta un diagrama de bloques en el que se observa con claridad el proceso que lleva a cabo el sistema de control para la ejecución de las rutinas que desarrollan los robots.

5.1.6. Interfaz de comunicación entre robots

En virtud de que cada uno de los robots Motoman cuenta con 5 entradas digitales a 24 VCD se determinó desarrollar un arreglo binario de 32 combinaciones para la correspondiente asignación de tareas a realizar por los robots. Es importante señalar

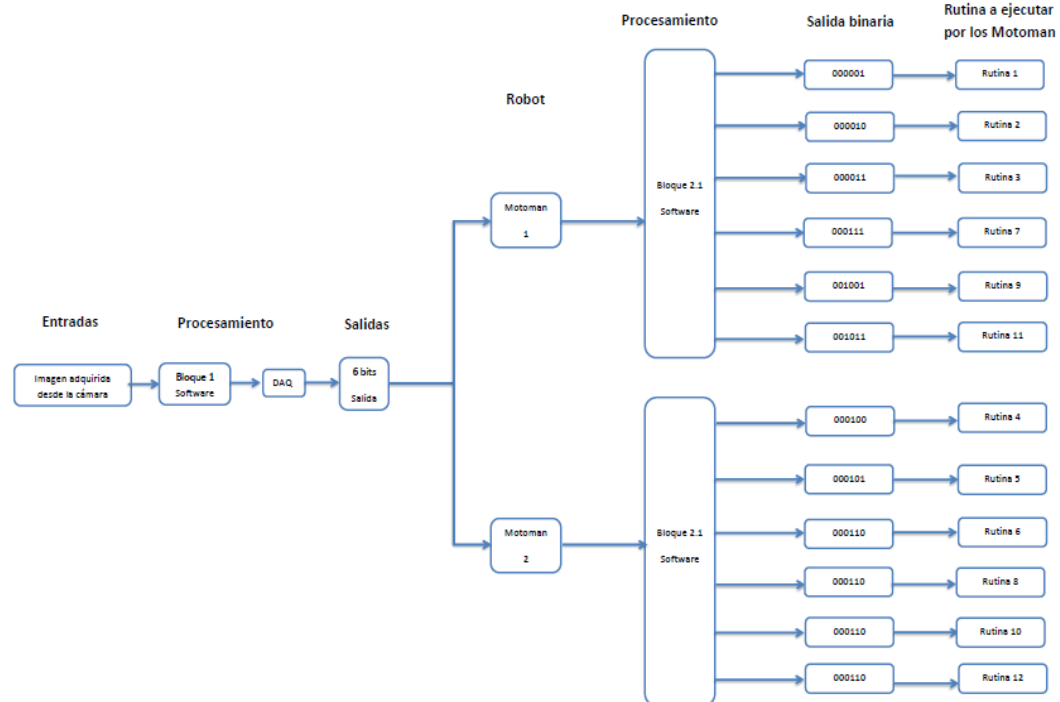


Figura 5.8: Proceso para la ejecución de rutinas por los robots Motoman

que ambos robots recibirán el mismo código binario al mismo tiempo y solo actuará el que tenga una rutina programada en ese código. El arreglo binario para que los robots Motoman ejecuten las rutinas programadas, se muestra en la Tabla 5.2

Se observa en la Tabla 5.2, que se tienen aún 20 combinaciones binarias o entradas disponibles para los robots Motoman que permiten ejecutar el mismo número de rutinas en trabajos futuros de la celda de manufactura.

5.1.7. Programación de rutinas en los robots Motoman

Usando los valores posicionales de las entradas que tienen los robots Motoman 1 y 2 se determina el valor que toma la variable binaria B000, que es necesaria para la programación de las rutinas a ejecutar por los manipuladores. Los grupos de señales o entradas digitales 1,2 y 3 corresponden a los valores leídos por el robot Motoman 1, el

4,5 y 6 serán utilizados o leídos por el robot Motoman 2. Ver Figura 5.9 Las entradas 1 y 2 de los robots están conectadas a la apertura y cierre del griper o actuador final de cada manipulador.

Número de grupo de señal o entrada digital	Número de entradas del robot							Valor de la Variable binaria B000 para la programación
	7	6	5	4	3	2	1	
	Valor posicional de las entradas en binario							
	64	32	16	8	4	2	1	
	Grupos de entradas activas/inactivas							
1	0	0	0	0	1	0	0	4
2	0	0	0	1	0	0	0	8
3	0	0	0	1	1	0	0	12
4	0	0	1	0	0	0	1	17
5	0	0	1	0	1	0	1	21
6	0	0	1	1	0	0	1	25

Figura 5.9: Grupos de entradas digitales a leer por los robots Motoman 1 y 2.

Los programas principales de los dos manipuladores Motoman funcionan tomando el grupo de entradas o señales activas que se obtienen de la NI cDAQ 9178 para ejecutar la rutina que corresponda de acuerdo al número binario guardado en la variable tipo byte B000. El código de los programas y subprogramas con los que trabajan los robots Motoman incluyen en el anexo A.

La lógica de programación para la ejecución de rutinas por el robot Motoman 1 se presenta en la Figura 5.10

La lógica de programación para la ejecución de rutinas por el robot Motoman 2 se presenta en la Figura 5.11

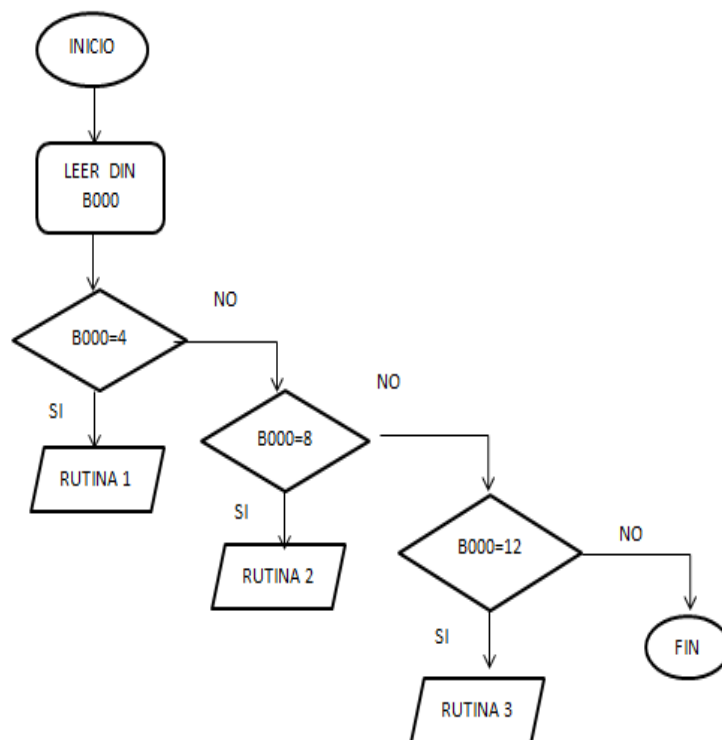


Figura 5.10: Lógica para la ejecución de rutinas por el Motoman 1

En la Figura 5.12 se presenta el diagrama general de control real del sistema en lazo cerrado a partir de la adquisición de la imagen de las piezas que forman a la pirámide hasta la ejecución de rutinas por los manipuladores Motoman y el control del carro metálico transportador.

En el diagrama de lazo cerrado de la Figura 5.12, la referencia que determina el comportamiento de cada una de las salidas del sistema, es un conjunto de imágenes patrón de la pirámide didáctica. El procesamiento de la imagen capturada mediante una cámara digital y su respectiva comparación con el conjunto patrón se lleva a cabo mediante el algoritmo de la Figura 5.3. Aquí se presenta como un bloque con el símbolo ?. La determinación de la acción de control correspondiente corre a cargo de la máquina de estados que se muestra en la Figura 5.14. La interfaz de entrada entre los sensores y el software se lleva a cabo mediante la tarjeta cDAQ 2. La interfaz de salida entre

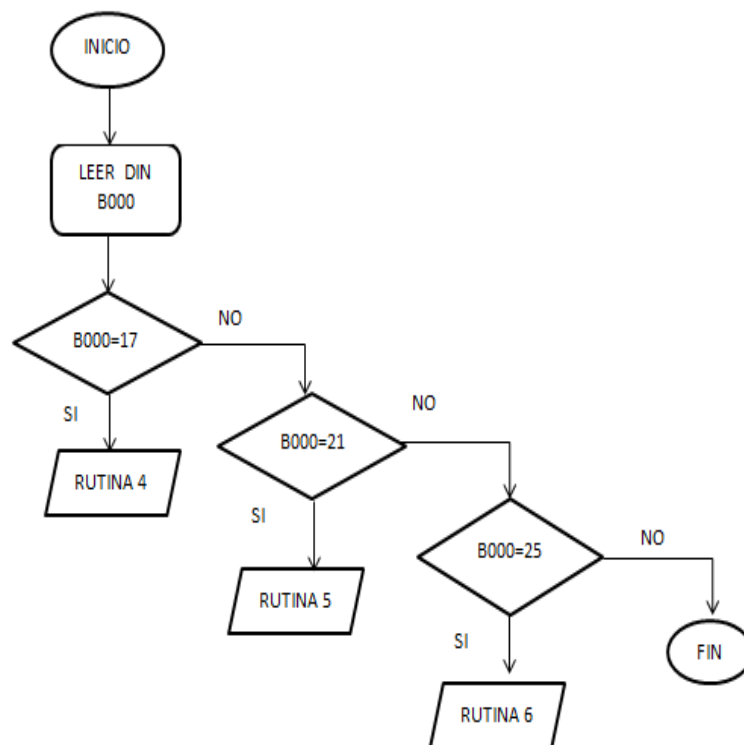


Figura 5.11: Lógica para la ejecución de rutinas por el Motoman 2

el software y los actuadores finales del sistema (robots y carro transportador) se logra mediante la tarjeta cDAQ 1 y el puente "H".

En la Figura 5.13 se muestran esquemáticamente las etapas que se desarrollan en el proceso de adquisición de la imagen de las piezas hasta la ejecución de rutinas por los robots Motoman para pasar las piezas del carro metálico al área de trabajo de cada uno de los manipuladores.

En seguida se describe el proceso que se presenta en la Figura 5.13.

- 1.- La cámara toma la imagen de las piezas que integran a la pirámide didáctica.
- 2.- Inalámbicamente la cámara envía la imagen al receptor de audio y video 9-12 Vcd
- 3.- El conector USB EZCAP es la interfaz de comunicación entre el receptor de

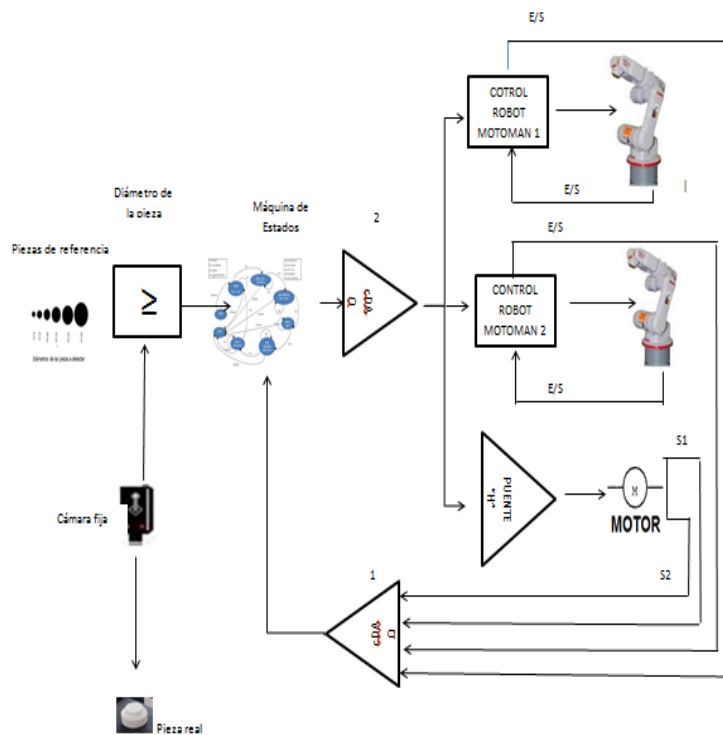


Figura 5.12: Diagrama general de control

la cámara y la PC

- 4.- La PC es donde se integran los algoritmos para procesar los datos y las imágenes captadas por la cámara y donde se determina el número de pieza que está dentro del proceso.
- 5.- El número binario que se genera en el algoritmo dependiendo de la pieza detectada, se envía a la NI cDAQ-9178.
- 6.- La NI cDAQ-9178 mediante el modulo NI 9474 de 8 canales de salidas digitales 24 V cd emite el grupo de señales que serán procesadas por los robots.
- Los pasos 7 y 8 son paralelos ya que ambos robots reciben al mismo tiempo de la cDAQ-9178 el grupo de señales y dependiendo del número binario leído es la

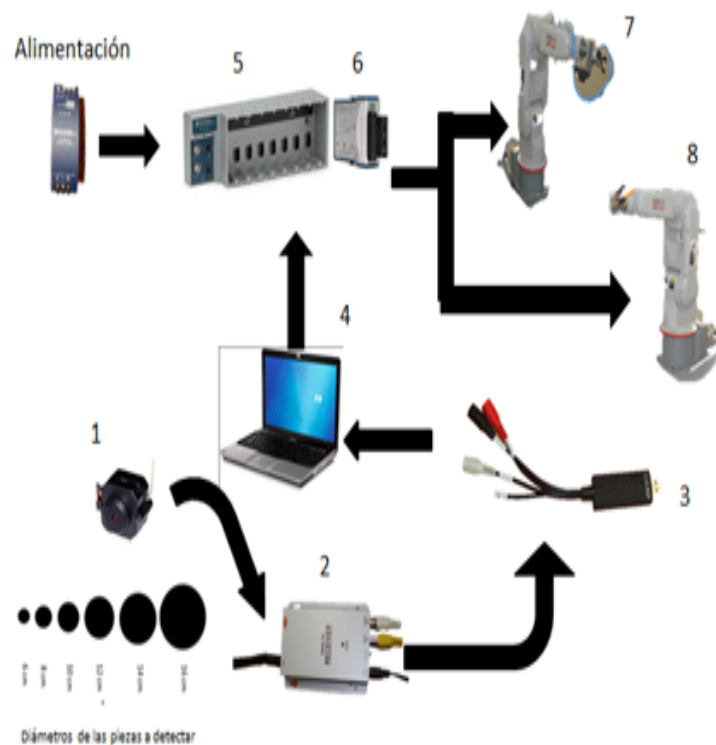


Figura 5.13: Proceso toma de imagen- ejecución de rutinas M1 y M2

rutina que se ejecuta por alguno de los robots.

5.1.8. Control del traslado del carro metálico transportador

Para controlar el traslado a la izquierda y derecha del carro metálico transportador junto con las piezas que forman a la pirámide didáctica, que es el producto final del proceso de ensamble en la celda de manufactura, así como el inicio y fin de la ejecución de las rutinas por los tres robots manipuladores y la interacción con los sensores ópticos se desarrolló el algoritmo en Lab-View de la siguiente máquina de estados, ver Figura 5.14 .

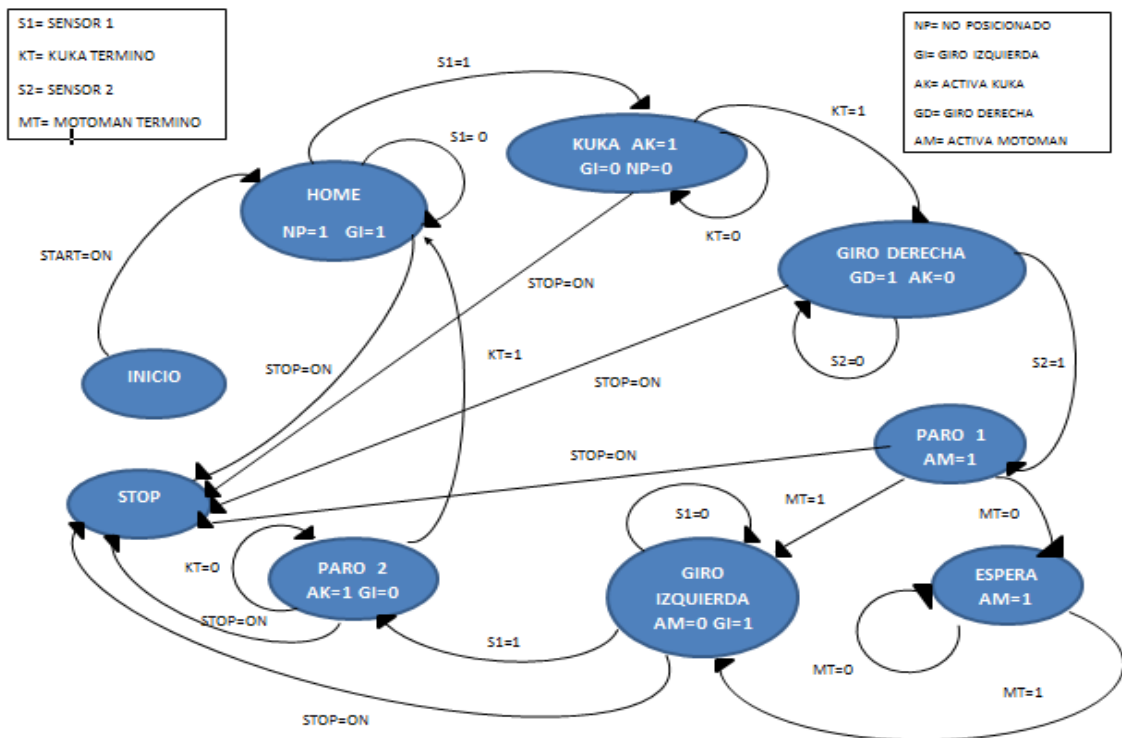


Figura 5.14: Máquina de estados traslado de carro metálico transportador

Descripción del funcionamiento de la máquina de estados

El sistema inicia su funcionamiento al activar Start y si el carro metálico no está ubicado en el extremo izquierdo del riel (área de almacenes) es decir, NP=1 y S1=0 el carro es llamado al estado HOME activándose Giro a la Izquierda (GI=1), una vez que el carro está en posición correcta S1=1 y NP=0 entonces hay cambio al estado KUKA en el que se activa o inicia con la rutina programada para colocar la pieza del almacén de materia prima al carro metálico transportador por el Robot Kuka, en este estado de control las señales Activa Kuka AK=1, giro a la izquierda GI= 0, no posicionado NP=0, ahí se mantiene mientras el robot Kuka no termine su rutina, es decir, KT=0. Cuando Kuka termina de ejecutar su rutina (KT=1) el sistema cambia de estado y pasa GIRO DERECHA en el que Giro derecha GD=1 y AK=0 permaneciendo en este

estado mientras el Sensor 2 sea 0 ($S2=0$), cuando el Sensor 2 detecta presencia del Carro $S2=1$ y el sistema cambia al estado PARO 1 en el que giro a la derecha $GD=0$ y se Activa Motoman $AM=1$ aquí va a permanecer el sistema mientras el Robot Motoman no termine su rutina $TM=0$, una vez terminando el Motoman $TM=1$ el sistema cambia al estado GIRO IZQUIERDA en el que $GI = 1$ y $AM = 0$ permaneciendo en este estado mientras el Sensor 1 no detecta presencia del carro metálico es decir, $S1=0$ cuando $S1=1$ cambia de estado a PARO 2 en el que $GI=0$ y Activa Kuka es 1 ($AK=1$) ahí permanece mientras Kuka termina es $KT=0$, una vez que kuka termina $KT=1$ el sistema verifica el estado HOME y continua el ciclo programado. Cada estado del sistema esta interconectado a un paro que puede ser aplicado en cualquier momento en caso de surgir un error o coalición del sistema durante el proceso en función.

El desarrollo del control que se realiza mediante la máquina de estados a través del Software de Lab-View se presenta en el apendice A. Es importante señalar que en la imagen del código se encuentran dos partes que permanecen fijas o no tienen cambio alguno al ejecutarse el programa y existe una parte que cambia constantemente al trabajar el sistema y corresponde a cada uno de los Estados que integran a la máquina (Estado cambiante).

En general, la conexión eléctrica en bloques de los dispositivos de control que intervienen en el sistema se presenta en la figura 5.15.

La descripción general del funcionamiento de este sistema es la siguiente: Es la c-DAQ que contiene a los módulos 9474 (salidas) y el 9401 (entradas) la interfaz que realiza adquisición y emisión de señales, dependiendo del estado de las señales de entrada que se tengan presentes en el sistema. En este caso las señales de entrada son por un lado las emitidas por los sensores 1 y 2 que verifican la posición del carro metálico transportador en el riel, y por el otro las señales (salidas) emitidas por los dos robots Motoman y el robot Kuka, las cuales indican el momento en que los manipuladores han

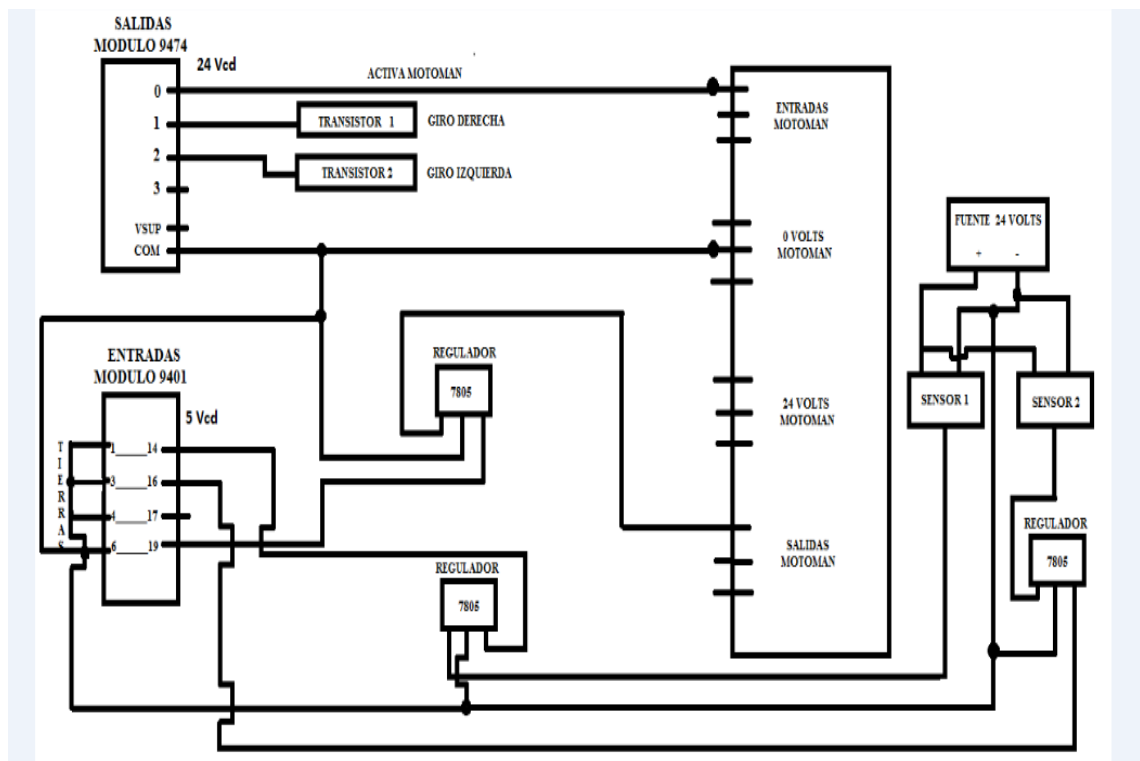


Figura 5.15: Representación en bloque de la conexión eléctrica de los dispositivos de control.

terminado de ejecutar sus correspondientes rutinas de trabajo. Todas estas señales se adquieren por el módulo 9401 de la c-DAQ.

Las señales de salida son las que se generan en el módulo 9474 y tienen la finalidad de activar algún elemento periférico de la celda o bien a los manipuladores para que comiencen la ejecución de una rutina de trabajo previamente programada. los elementos que se activan por este módulo son: Los transistores que activan el movimiento del motor en ambos sentidos mediante el puente “H” y el inicio (entradas) de los dos robots Motoman y el Kuka para la ejecución de rutinas de trabajo.

Número decimal	Número binario	Rutina a ejecutar por el Robot Motoman I	Rutina a ejecutar por el Robot Motoman II
0	00000	Se mantienen en su posición inicial	Se mantienen en su posición inicial
1	00001	Toma pieza 1 (180mm) del carro transportador y la coloca en el punto "A" de su área de trabajo	
2	00010	Toma pieza 2 (160mm) del carro transportador y la coloca en el punto "B" de su área de trabajo	
3	00011	Toma pieza 3 (140mm) del carro transportador y la coloca en el punto "C" de su área de trabajo	
4	00100		Toma pieza 4 (120mm) del carro transportador y la coloca en el punto "A" de su área de trabajo
5	00101		Toma pieza 5 (100mm) del carro transportador y la coloca en el punto "B" de su área de trabajo
6	00110		Toma pieza 6 (80mm) del carro transportador y la coloca en el punto "C" de su área de trabajo
7	00111	Entra pieza repetida. La toma y la deposita en su área de rechazo. Si esta acción se repite 2 veces manda una alarma visual o auditiva	
8	01000		Entra pieza repetida. La toma y la deposita en su área de rechazo. Si esta acción se repite 2 veces manda una alarma visual o auditiva.
9	01001	Se tienen las 3 piezas en el área de trabajo, se inicia el proceso de ensamble 1.	
10	01010		Se tienen las 3 piezas en el área de trabajo, se inicia el proceso de ensamble 2.
11	01011	Toma el ensamble 1 (parte inferior de la pirámide) y la coloca en el carro transportador	
12	01100		Toma el ensamble 2 (parte superior de la pirámide) y la ensambla con la parte inferior de la pirámide.

Tabla 5.2: Rutinas programadas a ejecutar por los robots Motoman según su entrada en código binario

Capítulo 6

Resultados

Los resultados obtenidos por área del diseño e implementación de la celda de manufactura se detallan en seguida:

6.0.9. Área de almacenes

En el área de almacenes se desarrolló el almacén de materia prima el cual tiene la particularidad de permitir que el centro de las piezas de la pirámide didáctica sin importan su diámetro exterior se ubique en un sólo lugar, lo que facilita que el robot Kuka ejecute sus rutinas sin que pierda las coordenadas para tomar las piezas de la pirámide y trasladarlas al carro metálico transportador.

Se desarrolló la programación de las rutinas que el manipulador Kuka realiza por un lado, para trasladar las piezas de la pirámide del almacén de materia prima hacia el carro metálico transportador y por el otro, el traslado de la pirámide ya ensamblada que se ubica inicialmente en sobre el carro metálico transportador y es trasladada hacia el almacen de producto terminado.

Se desarrolló la interfaz de comunicación entre la PC y el robot Kuka para la ejecución de rutinas.

6.0.10. Área carro metálico transportador

Se diseñó y fabricó el carro metálico transportador y la estructura del riel, así como el sistema de transmisión mecánica en el que se incluyen los dos sensores ópticos y el motor de 24 Vcd.

6.0.11. Área de visión

Se realizó el reconocimiento de patrones mediante el sistema de visión por computadora la cual establece la comunicación entre la PC

Se desarrollo el algoritmo de control centralizado en el que se adquiere la imagen de las piezas de la pirámide didáctica, se procesan, se clasifican y se emiten señales digitales de 24 Vcd que controlan la actuación de los tres Robots Manipuladores.

En base a las características del proceso de ensamble, con piezas de una geometría predefinida, la detección de propiedades geométricas resulta directa si se hace con un sistema de visión por computadora, con el cual ya se cuenta. El sensor, en este caso es una webcam. La detección también pudo haberse realizado con sensores de proximidad (inductivos, láser o ultrasónicos). No obstante, esto implicaba construir un arreglo de sensores fijo, para determinar la geometría actual (dos dimensiones), sin mencionar que se tendría que adquirir al menos dos sensores del tipo mencionado, superando en más del doble el costo de la webcam. La cámara fija también ofrece flexibilidad de detectar los objetos dentro del rango de enfoque de la imagen, a diferencia de los sensores que al estar fijos, limitarían el rango de detección. Aquí se utilizó el criterio de minimización de recursos para llevar a cabo la tarea establecida (detección de piezas) y el mayor impacto de la aplicación, pues la visión por computadora tiene encuentra mucho más aplicación en los procesos industriales por su funcionalidad, versatilidad y flexibilidad.

6.0.12. Área de ensamble

Se desarrolló la programación de las rutinas que ejecutan los robots Motoman las cuales consisten en:

- Toman la pieza que le corresponde a cada robot Motoman de las que traslada el carro metálico transportador y la colocan en los puntos A,B,C de su área de trabajo.
- Los robots realizan el ensamble de las tres piezas que han colocado en sus respectivas áreas de trabajo.
- Cada robot traslada el ensamble realizado al carro metálico para ser transportado al área de almacenes y sea colocada en el almacén de producto terminado.

El lazo de control del ensamble se explotó en la medida necesaria para tomar las decisiones sobre la operación de los robots. No fue necesario explotar más allá las capacidades de visión de Labview para el problema de ensamble en particular. Las piezas fueron detectadas al 100utilizando los parámetros programados en el sistema de visión.

Capítulo 7

Conclusiones

La aplicación de sistemas de visión por computadora en el control de un proceso de producción lo hacen más eficiente.

Con el desarrollo de la máquina de estados en software, se generó la interfaz de comunicación entre todos los elementos que forman parte de la celda de manufactura, con lo que se logró el funcionamiento armónico del sistema.

La aplicación de la c-DAQ en la adquisición y emisión de señales digitales facilitó la interacción de los elementos de la celda de manufactura.

La correcta programación de los tres robots manipuladores contribuyó significativamente en el ensamble proyectado de la pirámide didáctica.

La fabricación de los elementos periféricos de la celda de manufactura, tales como áreas de trabajo de los robots, almacenes, carro metálico y riel transportador, así como el control de giro del motor de CD, es una acción de significativa relevancia ya que contribuyen en la flexibilización de la celda de manufactura.

Este proyecto es el inicio de un elemento de mejora continua.

Algunas mejoras que al proyecto se le pueden realizar en el futuro son:

- Ampliar las capacidades de comunicación entre la computadora de control (Labview) y el controlador de los robots Motoman mediante los puertos Ethernet y

RS-485 (los manuales no están disponibles)

- Apoyarse en la celda para ampliar las capacidades de programación del robot Kuka (los manuales no están disponibles)
- Realizar prácticas de laboratorio para las distintas carreras de la UPTlax a partir del uso de la celda.
- Caracterizar con precisión las transformaciones de coordenadas (metros a pixeles) del sistema de visión de la celda con cámara fija.
- Utilizar el proceso de ensamble de la celda para probar algoritmos de detección de piezas más complejas.
- Optimizar los tiempos y movimientos del proceso de ensamble.
- Simular la operación de la celda en un ambiente gráfico 3D.
- Realizar la detección y manipulación dinámica de las piezas (actualmente la banda transportadora se detiene por cada pieza)
- Incluir una cámara en mano al robot Kuka para el reconocimiento de patrones (diámetros y formas) de ciertas piezas para su clasificación o ensamble por los robots Motoman.
- Realizar un estudio del layout para eficientar las operaciones que realizan los robots y disminuir tiempos en el proceso.
- Abrir la arquitectura de alguno de los robots, para que su programación no sea necesariamente con el lenguaje del fabricante.

- Cuando en el proceso entre una pieza de geometría distinta a la preestablecida en el algoritmo desarrollado en Lab-View, el robot Motoman 1 la envía la pieza al área de rechazo mediante la ejecución de una rutina específica. Lo anterior se realiza cuando el pixelaje detectado por la cámara no corresponde a los rangos previamente establecidos en la programación desarrollada.

Capítulo 8

Algoritmo en Lab-View de la máquina de estados

El algoritmo desarrollado en el software de Lab-View, para el control del sistema que es parte fundamental de la Celda de manufactura se presenta en las siguientes figuras:

Variables de entrada, estado y variables de salida en la máquina de estados ver Figura 8.1

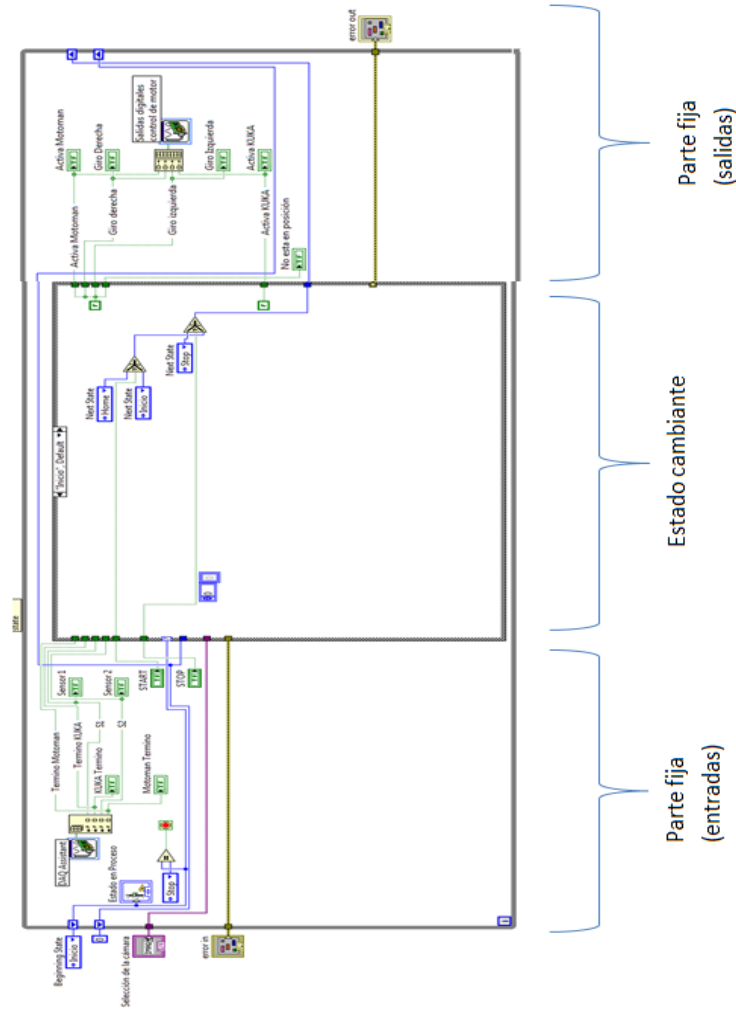


Figura 8.1: Variables entradas, salidas y estado inicial de la máquina

En virtud de que tanto las variables de entrada y salida del sistema no cambian de nombre y de posición en el algoritmo, a continuación sólo se presentan las figuras de los estados que forman parte de la máquina de estados.

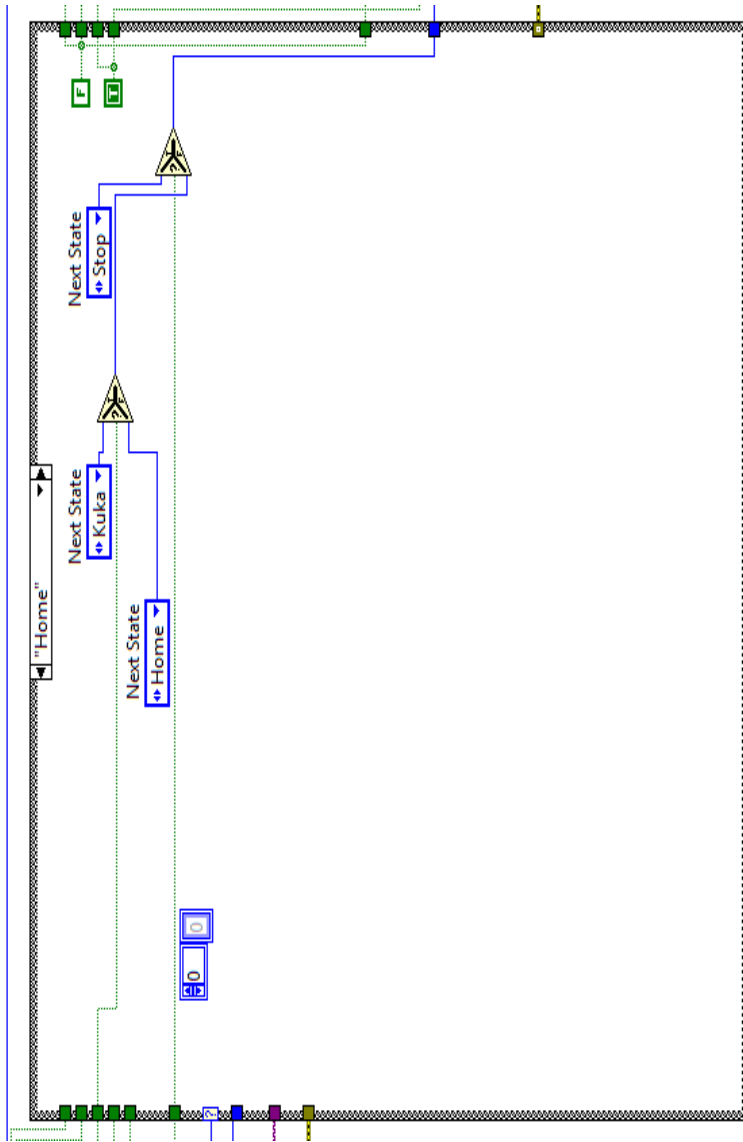


Figura 8.2: Estado home

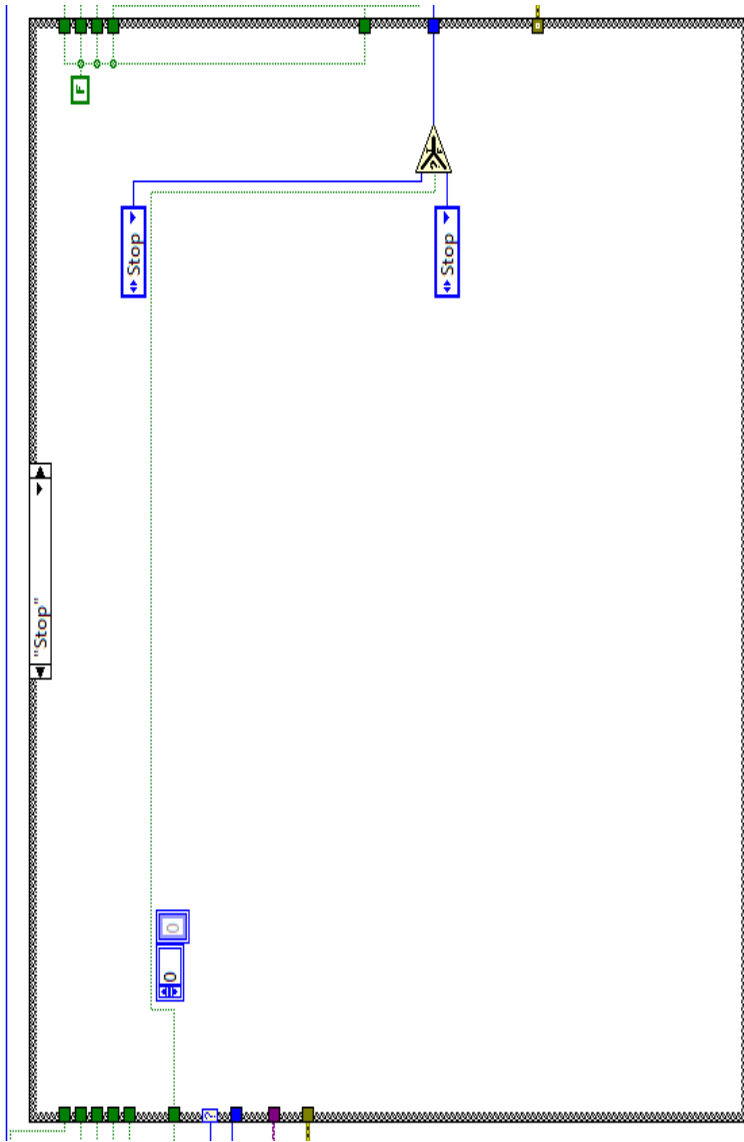


Figura 8.3: Estado Stop

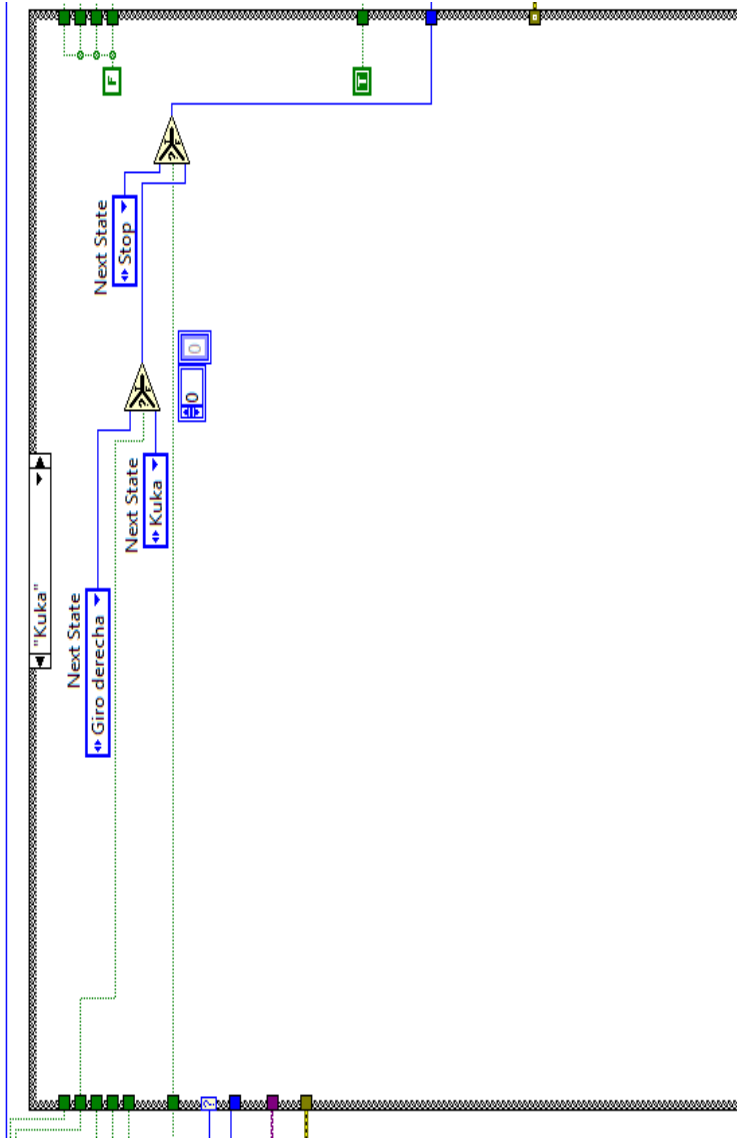


Figura 8.4: Estado Activa Kuka

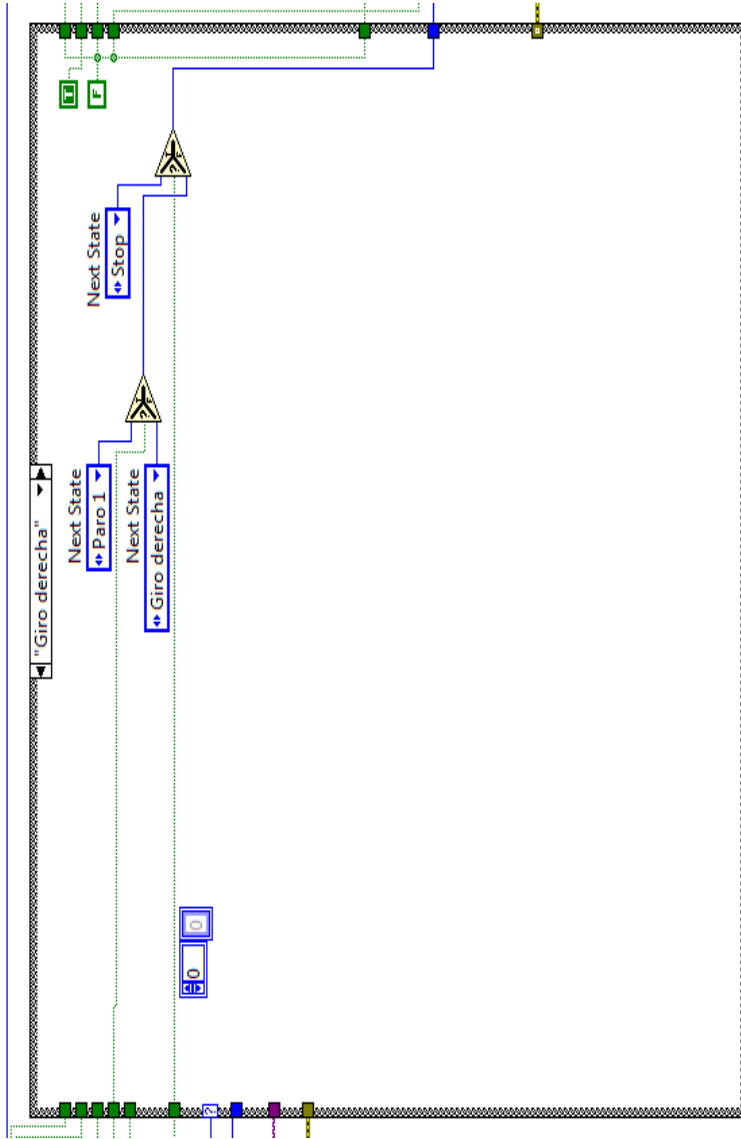


Figura 8.5: Estado Giro a la derecha

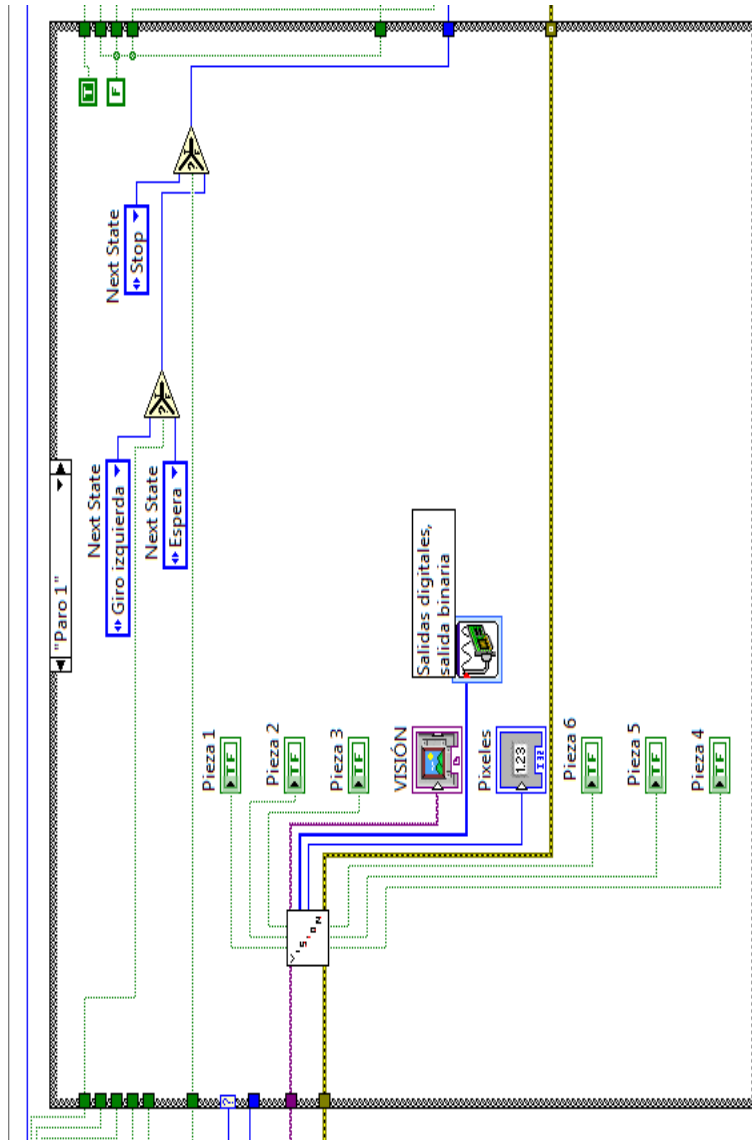


Figura 8.6: Estado Paro 1

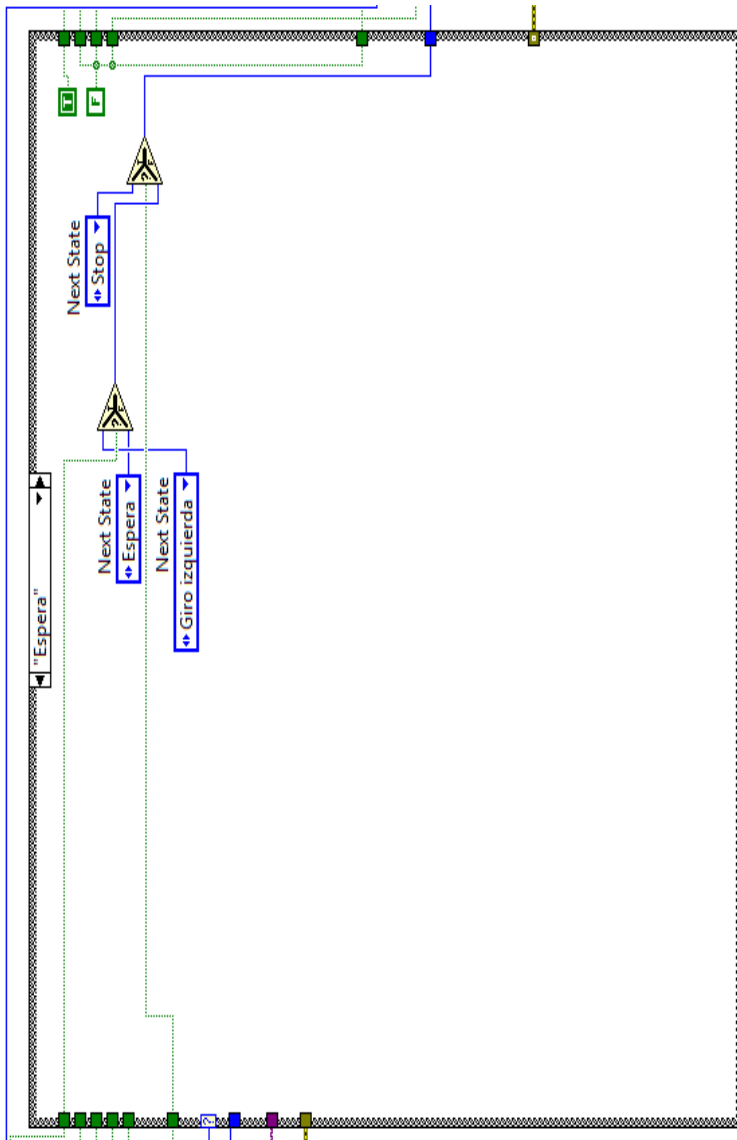


Figura 8.7: Estado espera

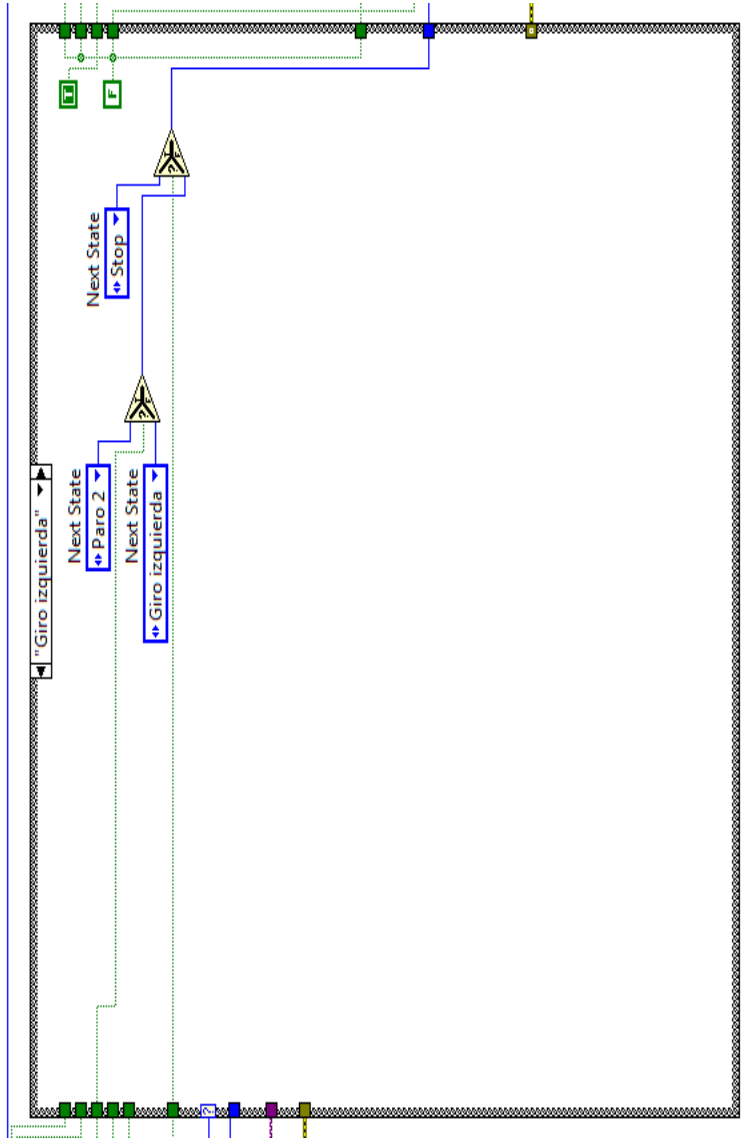


Figura 8.8: Estado Giro a la izquierda

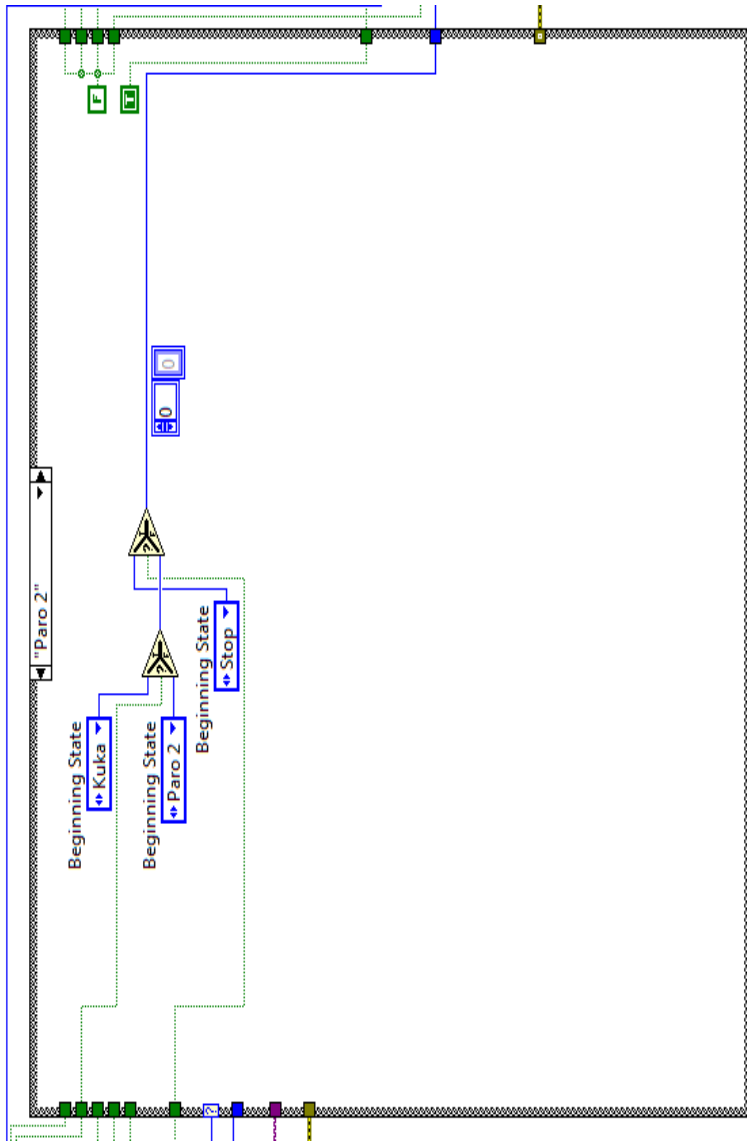


Figura 8.9: Estado paro 2

Bibliografía

- [1] *National Instruments Corp. Chasis NI Compact DAQ USB de 8 Ranuras NI cDAQ-9178 2009.*
- [2] *NI Visión for LabVIEW User Manual. National Instruments.*
<http://www.ni.com/pdf/manuals/371007b.pdf>.
- [3] *Operating instructions and specifications NI 9401.*
- [4] *Operating Instructions and specifications NI 9472/9474 8-Channel Digital Output Modules, National Instruments Corp. 2009.*
- [5] *MotoSim EG Instructions MOTOMAN. Motoman Yaskawa Company, 2007.*
- [6] *Celdas de Manufactura, 2009.*
- [7] *Tenologia de grupos II, 2009.*
- [8] Luis Felipe; Balaguer Carlos; Aracil Rafael Barrientos, Antonio; Peñin. *Fundamentos de Robótica.* Madrid España, 2007.
- [9] JaramilloÑ. Cesar. *Sistemas de manufactura flexible: Un enfoque estructural.* Technical report, Departamento de Informática U.C.P.R., 2008.
- [10] Cordoba García, Jorge A; Ernesto. *Inicio del proceso de automatización utilizando tecnología de grupos.* *Ingeniería e Investigación*, pages 14–20, 2004.

- [11] Emilio García. *Automatización de procesos industriales*. Mexico, 2001.
- [12] KUKA México, S. de R.L. de C.V. *KUKA Curso Operación y Programación Básico V 4.1*, 2004.
- [13] Gabriel Lopez. Fundamentos de control inteligente de la manufactura flexible. Technical report, Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [14] M. López. Automatización del proceso de ensamble utilizando visión artificial. Technical report, Instituto de Investigaciones en Matemáticas aplicadas y en sistemas, 2009.
- [15] Rudomin Isaac Martinez Enrique. Simulación en red de una celda de manufactura compartida. 2008.
- [16] Cruz; Manuel Pinzon Medina, Pedro; Eduarado. Generacion de celdas de manufactura usando el algoritmo de ordenamiento binario (aob). *Scientia et Technica*, 44:106–110, 2010.
- [17] Itescam.edu México. Historia de la automatización. Word.
- [18] Ernesto Córdoba Nieto. Manufactura y automatización. *Ingeniería e Investigación*, 26:120–128, 2006.
- [19] Rocky Bizuet y Danilo Johanning Noberto Flores. Sistema de visión en tiempo real para la detección de defectos, con aplicación a inspección de calidad en una línea de producción de pilas. 2011.
- [20] José Ortega. *Libro para prácticas del CIM*. 2008.
- [21] G. Pajares. Aplicaciones industriales de la visión por computador. Technical report, Departamento de arquitectura de computadores y automática, 2009.

- [22] William Pratt. *Digital Image Processing*. Wiley-Interscience, 2007.
- [23] John Schey. *Procesos de Manufactura*. México D.F, 2002.
- [24] Irani Shahrakh. *Handbook of Cellular Manufacturing System*, 1999.
- [25] Omar Sánchez. Modelos, control y sistemas de visión. Technical report, Universidad de Huelva, España, 2008.
- [26] José Veliz, Wilson; Vera. Aplicación de visión con labview para la detección de frascos sin etiqueta. *CICYT*, 20, 2009.