



## DANA CARDANES

### Proyecto

PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACION DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA DANA CARDANES, UBICADA EN SANTIAGO DE QUERÉTARO, MEDIANTE UN ROBOT FANUC.

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN  
“TECNOLOGO EN MECATRONICA”

PRESENTA

Alumno: Aldo Pérez Villanueva

Tutor de Planta: Ing. Gerardo Castro

Tutor Académico: Ing. Antonio Ramírez Martínez

QUERETARO, QRO.2009



## INDICE

Introducción .....	i
Objetivos .....	iii
Alcances.....	iv
<b>CAP. I IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACION EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Proceso de automatización.....	2
1.2. Automatización industrial.....	3
1.2.1. Elementos de una instalación Automatizada.....	6
1.3. Robótica y Automatización.....	7
1.3.1. Tipos de Automatización Industrial.....	8
1.3.2. Análisis de la necesidad de un Robot.....	8
1.4. Estaciones modulares de producción (MPS) .....	10
1.4.1 Máquinas de Producción.....	14
1.4.2. Sistemas de Control por Computadora.....	15
1.4.3. Clasificación de los Sistemas de Fabricación.....	16
1.4.4. Variedad del producto.....	18
<b>CAP. II. DESCRIPCIÓN DE LA ROBÓTICA Y LOS MANIPULADORES .....</b>	<b>20</b>
2.1. Robótica.....	21
2.1.1. El campo de la producción.....	22
2.2. ¿Qué es un Robot? .....	23
2.2.1. Descripción de un robot en funcionamiento.....	25
2.2.2. Funcionamiento del robot .....	26
2.2.3. El robot industrial clásico .....	27
2.3 Representación de un robot .....	28
2.3.1. Representación funcional.....	28
2.3.2. Representación grafica.....	30
2.4. ¿Qué es un grado de libertad para un robot? .....	31
2.4.1 Grados de libertad de un sólido indeformable.....	31
2.4.2. Grados de libertad de un robot.....	32

2.4.3. Grados de libertad propios de la herramienta. ....	33
2.4.4. Grados de libertad y movilidad.....	33
2.5. Los elementos de un robot industrial.....	34
2.6. Manipulador o efector final.....	37
2.7. Sistemas de accionamiento.....	40
2.7.1. Accionamiento hidráulico.....	41
2.7.2. Accionamiento neumático.....	42
2.7.3. Accionamiento eléctrico.....	43
2.7.4. ¿Qué sistema de accionamiento es el mejor? .....	44
<b>CAP. III. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA DANA CARDANES Y DE LA</b>	
<b>    LINEA DE PRODUCCIÓN QUE SE PRETENDE AUTOMATIZAR .....</b>	<b>46</b>
3.1. Ubicación geográfica y descripción de la empresa.....	47
3.1.1. Antecedentes históricos.....	47
3.1.2. Antecedentes de la empresa Cardanes.....	48
3.1.3. Ubicación geográfica.....	50
3.1.4. Descripción de la empresa.....	51
3.2. Descripción del proceso.....	51
3.2.1. Ubicación de la línea a automatizar.....	51
3.2.2. Descripción del proceso.....	54
3.3. Análisis de tiempos y movimientos.....	57
3.3.1. El problema de balanceo de líneas de producción.....	59
<b>CAP. IV. ANÁLISIS DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS Y DE</b>	
<b>    OPERACIÓN DEL ROBOT FANUC QUE SE INSTALARÁ.....</b>	<b>70</b>
4.1. Descripción básica.....	71
4.2. Beneficios.....	71
4.2.1. Características de la flexibilidad.....	72
4.2.2. Características mecánicas.....	72
4.2.3. Funciones de control.....	72
4.2.4. Características del software.....	73
4.2.5. Opciones.....	74
4.3. Vistas de dimensiones.....	74

4.3.1. Vista Isométrica .....	74
4.3.2. Vista de base .....	75
4.3.3. Vista de placa de montaje .....	75
4.3.4. Modulo de Control.....	76
4.3.5. Vista Superior. ....	76
4.3.6. Vista Lateral.....	77
Vista Frontal .....	77
<b>CAP. V. PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE UN ROBOT. ....</b>	<b>78</b>
5.1. Descripción proceso actual.....	79
5.2. Balance de línea actual y propuesta.....	81
5.3. Comandos de programación. ....	91
5.4. Habilidad por comandos externos .....	92
5.5. Diseño de Gripper.....	99
5.6. Puesta en marcha y programa .....	105
5.7. Manual de operación.....	109
5.7.1. Teach Pendant (Unidad de Programación) .....	109
5.7.2. Movimiento del Robot.....	111
5.7.3. Dar de alta un TCP (Tool Center Point) .....	114
5.7.4. Crear un programa de TP.....	119
5.7.5. Definición de macros.....	119
5.7.6. Manipulación de Archivos.....	120
5.7.7. Controlador R-J2 .....	128
5.7.8. Conexión del cable de suministro de energía.....	130
5.7.9. Conexiones del Teach Pendant.....	132
Conclusiones .....	134
Bibliografía consultada .....	135
Anexos A .....	136
Anexos B .....	140
Anexos C .....	143

## **Introducción**

La instalación de una línea de maquinado, de ensamble o de cualquier otro tipo, es una decisión a largo que usualmente requiere de una gran inversión de capital. Por lo tanto, es importante que tal sistema este diseñado y balanceado lo más eficientemente posible. Además de balancear el nuevo sistema, mantener el sistema funcionando en forma optima, desde el punto de vista de labor y flujo de producto, requiere que se realice periódicamente para incorporar cambios en la demanda o en el proceso de producción. Debido al efecto a largo plazo de las decisiones considerando las metas estratégicas de la empresa. Desde el punto de vista económico, los costos y beneficios relacionados con los objetivos deben ser considerados.

Usualmente el balanceo de línea guarda correlación con su eficiencia y tienen como objetivo maximizar su utilización. La eficiencia se define como el uso racional de los recursos disponibles para la fabricación de los productos, es decir obtener más productos con menos recursos.

El presente trabajo pretende demostrar la investigación realizada para determinar la posición e integración de un robot en línea de producción de manufactura de yugos deslizantes de la empresa DANA Cardanes.

El documento se ha dividido en los capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo I: comprende una breve introducción a la automatización y procesos industriales, el concepto y procesos de las estaciones modulares de producción (MPS), así como el análisis de la necesidad de un robot en producción.

Capítulo II: se realiza una descripción de los tipos de robots, manipuladores, una compilación de la definición de robótica, para comprender el funcionamiento de estos.

Capítulo III: se proporciona los antecedentes históricos de la empresa, su ubicación geográfica y las actividades relevantes, así como el análisis de tiempos y movimientos de un balance de línea de producción.

Capítulo IV: se realiza una descripción de los conceptos básicos del robot Fanuc a utilizar en línea de producción, así como sus vistas de dimensiones estipuladas.

Capitulo V: estipula las bases principales del proyecto, en el cual se toman los tiempos y la realización de balanceo de línea, principios de integración en producción, la puesta en marcha y programación del robot, además dentro de este capítulo se anexa un manual de programación y conexiones más relevantes.

Deseando que la información de este documento sirva a todas aquellas personas, interesadas en el tema.

## **Objetivos**

El propósito de toda compañía es lograr maximizar los beneficios, dado que la adición de recursos representa una inversión que debe ser compensada con un aumento en valor al cliente final. Con un mínimo de recursos la integración de robot y el balanceo de línea puede lograrse cumplir con la capacidad de producción deseada.

### ***Objetivo general***

Realización de un concepto para proyecto de la empresa Dana Cardanes, de la integración de robot a línea de producción, así como el diseño de Gripper, y el desarrollo de un manual de operación del robot Fanuc y su programación.

### ***Objetivo específicos***

- 1) Determinar mediante el balance de línea, la ubicación idónea para la implementación de un robot.
- 2) Desarrollar el diseño de Gripper, que permita la manipulación de los distintos números de parte.
- 3) Integrar el robot, para obtener más producción, con menos recursos humanos y económicos.
- 4) Desarrollo de un manual para la programación y operación del robot

## **Alcances**

El presente proyecto tiene como alcances el de participar en la organización, planeación la integración de los robots en líneas de producción 74 yugos deslizantes, de una manera tal que al momento de las evaluaciones de KPI (Key Performance Indicators) se podrán demostrar no solo los rendimientos y resultados óptimos en el proceso de la evaluación de la respuesta de SPQR (seguridad, gente, calidad y respuesta) de las máquinas sino también del personal operativo, conllevando a deducciones optimas para la integración del robot, y en su caso de la modificación de los LayOut's, hasta obtener la calidad y productividad deseada.

Los resultados logrados se presentaran ante el personal de manufactura, para cuestionar el pro y contras obtenidos durante el lapso establecido para el proceso en cualquiera de sus modalidades.

**CAP. I**

**IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACION EN LOS PROCESOS DE  
MANUFACTURA**

1.1. Proceso de automatización.

1.2. Automatización industrial.

1.2.1. Elementos de una instalación automatizada.

1.3. Robótica y Automatización.

1.3.1. Tipos de automatización industrial.

1.3.2. Análisis de la necesidad de un Robot.

1.4. Estaciones modulares de producción (MPS).

1.4.1. Máquinas de producción.

1.4.2. Sistemas de control por computadora.

1.4.3. Clasificación de los sistemas de fabricación.

1.4.3.1. Tipos de operaciones a realizar.

1.4.3.2. Número de estaciones de trabajo y layout del sistema.

1.4.3.3. Nivel de automatización.

1.4.4. Variedad del producto.

## CAPITULO I

### **1.1. Proceso de automatización.**

El proceso de automatización de las actividades industriales permite obtener una mayor eficiencia en el área de producción a través de procesos más rápidos y eficientes mediante la exactitud de las máquinas automatizadas, lo cual permite simplificar el trabajo, disminuir la producción de piezas defectuosas, aumentar la calidad en los productos que se logran, y por ende aumentar la competitividad de la empresa.

La automatización en un proceso industrial puede ser definida como la sustitución, en mayor o menor grado, del hombre en ciertas tareas de un proceso, tanto físicas como mentales, por dispositivos adecuados para realizarlas, los cuales pueden reunir muchas tecnologías dispares.

En concreto la automatización de líneas de producción consiste en encadenar una serie de operaciones que se suceden en el proceso en cuestión.

No siempre se justifica la implementación de sistemas de automatización, pero existen ciertas señales indicadoras que justifican y hacen la implementación de estos sistemas, los indicadores principales son los siguientes:

- Requerimientos de un aumento en la producción.
- Requerimientos de una mejora continua en la calidad de los productos.
- Necesidades de bajar los costos de producción.
- Escasez de energía.
- Encarecimiento de la materia prima.
- Necesidad de protección ambiental.
- Necesidad de brindar seguridad al personal.
- Desarrollo de nuevas tecnologías.

La automatización de los procesos industriales, ya sea de manufactura o ensamblaje solo será viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrían obtener al automatizar, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema.

## 1.2. Automatización industrial.

En el contexto industrial, la automatización es una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados. La automatización permite mejorar el funcionamiento del área de producción, posibilitando:

- Que un hombre realice trabajos con más de un equipo.
- Coordinar o controlar una serie de operaciones y una serie de magnitudes en forma simultánea.
- Realizar procesos totalmente continuos por medio de secuencias programadas.
- Realizar procesos automáticos en cadena cerrada con posibilidad de autocontrol y autocorrección de desviaciones.

En la automatización de un proceso frente al control manual del mismo proceso, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social y tecnológico, pudiéndose resaltar las siguientes:

- Se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esta dependerá de la eficiencia del sistema implementado.
- Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos (fabricación flexible y multifabricación).
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Se obtiene un mejor conocimiento del funcionamiento y performance de los equipos y máquinas que intervienen en el proceso.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.
- Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.

## CAPITULO I

- Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

Para la automatización de procesos se utilizan equipos operados a través de controles programables (PLC), actualmente de gran aplicación en industrias como la textil y la alimenticia. Para las etapas de diseño y control de la producción se desarrollaron programas de computación para el diseño (CAD), para la manufactura (CAM), para el manejo de proyectos, para la planeación de requerimientos de materiales (PRM), para la programación de la producción, para el control de calidad.

La inserción de tecnologías de la información para la producción industrial en los países desarrollados ha crecido a un ritmo elevado en los últimos años. La información amplía enormemente la capacidad de controlar la producción con máquinas de control computarizado permitiendo avanzar hacia complejos sistemas de automatización, una de cuyas expresiones más sofisticadas y que más ahorro de trabajo humano directo producen son los robots, los sistemas flexibles de producción y los sistemas de automatización integrada de la producción (Computer Integrad Manufacturing - CIM).

El aumento de calidad en los productos se logra mediante la exactitud de las máquinas automatizadas y por la eliminación de los errores propios del ser humano, lo que a su vez repercuten en grandes ahorros de tiempo y materiales al eliminarse la producción de piezas defectuosas. La flexibilidad de las máquinas permite su fácil adaptación tanto a una producción individual y diferenciada en la misma línea de producción, como un cambio total de la producción. Esto posibilita una adecuación flexible a las diversas demandas del mercado. Por estas razones, la inversión en tecnología de automatización no puede ser considerada como cualquier otra inversión, sino como una estrategia de competitividad necesaria. No invertir en esta tecnología implica un riesgo alto de rápido desplazamiento por la competencia.

La automatización en los procesos industriales se basa en la capacidad de controlar la información necesaria en el proceso productivo, mediante mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción. A través de diversos instrumentos controlados por

## CAPITULO I

información suministrada por computadoras, se regula el funcionamiento de los equipos u otros elementos que operan el proceso productivo.

Este sistema funciona básicamente de la siguiente manera (ver Figura 1.1): mediante la utilización de sensores (que son esencialmente instrumentos de medición, como termómetros o barómetros), se recibe la información sobre el funcionamiento de las variables que deben ser controladas (temperatura, presión, velocidad, espesor o cualquier otra que pueda cuantificarse), esta información se convierte en una señal, que es comparada por medio de la computadora con la norma para determinada variable. Si esta señal no concuerda con la norma se genera una señal de control (que es esencialmente una nueva instrucción), por la que se acciona un actuador o controlador (que generalmente son válvulas y motores), el que convierte la señal de control en una acción sobre el proceso de producción capaz de alterar la señal original imprimiéndole el valor o la dirección deseada.

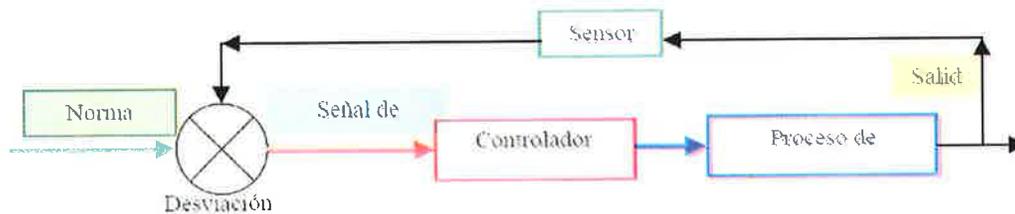


Figura 1.1. Sistema de Control

La automatización de la industria alcanza diferentes niveles y grados ya que la posibilidad concreta de su implementación en los procesos de fabricación industrial varía considerablemente según se trate de procesos de producción continua o en serie. En efecto, en el primer caso, el producto es el resultado de una serie de operaciones secuenciales, predeterminadas en su orden, poco numerosas, y que requieren su integración en un flujo continuo de producción. Los principales aportes de la microelectrónica a este tipo de automatización son los mecanismos de control de las diversas fases o etapas productivas y la creciente capacidad de control integrado de todo el proceso productivo. Por su parte, la producción en serie está formada por diversas operaciones productivas, generalmente paralelas entre sí o realizadas en diferentes períodos de tiempos o sitios de trabajo, lo que ha dificultado la integración de líneas de producción automatización. Desde mediados de los años setenta las posibilidades de automatización integrada han aumentado rápidamente

gracias a los adelantos en la robótica, en las máquinas herramienta de control numérico, en los sistemas flexibles de producción, y en el diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM).

Existen ciertos requisitos de suma importancia que debe cumplirse al automatizar, de no cumplirse con estos se estaría afectando las ventajas de la automatización, y por tanto no se podría obtener todos los beneficios que esta brinda, estos requisitos son los siguientes:

- *Compatibilidad electromagnética:* Debe existir la capacidad para operar en un ambiente con ruido electromagnético producido por motores y máquina de revolución. Para solucionar este problema generalmente se hace uso de pozos a tierra para los instrumentos (menor a 5m), estabilizadores ferresonantes para las líneas de energía, en algunos equipos ubicados a distancias grandes del tablero de alimentación (>40m) se hace uso de celdas apantalladas.
- *Expansibilidad y escalabilidad:* Es una característica del sistema que le permite crecer para atender las ampliaciones futuras de la planta, o para atender las operaciones no tomadas en cuenta al inicio de la automatización. Se analiza bajo el criterio de análisis costo-beneficio, típicamente suele dejarse una reserva en capacidad instalada ociosa alrededor de 10% a 25%.
- *Manutención:* Se refiere a tener disponible por parte del proveedor, un grupo de personal técnico capacitado dentro del país, que brinde el soporte técnico adecuado cuando se necesite de manera rápida y confiable. Además implica que el proveedor cuente con repuestos en caso sean necesarios.
- *Sistema abierto:* Los sistemas deben cumplir los estándares y especificaciones internacionales. Esto garantiza la interconectibilidad y compatibilidad de los equipos a través de interfaces y protocolos, también facilita la interoperabilidad de las aplicaciones y el traslado de un lugar a otro.

### 1.2.1. Elementos de una instalación Automatizada.

Entre los elementos más importantes que conforman la instalación más simple de una instalación automatizada, podríamos enlistar los siguientes:

- **MÁQUINAS:** Son los equipos mecánicos que realizan los procesos, traslados, transformaciones, etc. de los productos o materia prima.

## CAPITULO I

- **ACCIONADORES:** Son equipos acoplados a las máquinas, y que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamble, empaque. Pueden ser:
  - Accionadores eléctricos: Usan la energía eléctrica, son por ejemplo, electroválvulas, motores, resistencias, cabezas de soldadura, etc.
  - Accionadores neumáticos: Usan la energía del aire comprimido, son por ejemplo, cilindros, válvulas, etc.
  - Accionadores hidráulicos: Usan la energía de la presión del agua, se usan para controlar velocidades lentas pero precisas.
- **PRE ACCIONADORES:** Se usan para comandar y activar los accionadores. Por ejemplo, contactores, switches, variadores de velocidad, distribuidores neumáticos, etc.
- **CAPTADORES:** Son los sensores y transmisores, encargados de captar las señales necesarias para conocer el estado del proceso, y luego enviarlas a la unidad de control.
- **INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA:** Permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores, teclados, visualizadores, etc.
- **ELEMENTOS DE MANDO:** Son los elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, se denominan autómatas, y conforman la unidad de control.

Los sistemas automatizados se conforman de dos partes: parte de mando y parte operativa

- **PARTE DE MANDO:** Es la estación central de control o autómata. Es el elemento principal del sistema, encargado de la supervisión, manejo, corrección de errores, comunicación, etc.
- **PARTE OPERATIVA:** Es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice las acciones. Son por ejemplo, los motores, cilindros, compresoras, bombas, relés, etc.

### 1.3. Robótica y Automatización

La robótica se complementa con la automatización, aportándole como elemento innovador cierto grado de inteligencia. El robot industrial forma parte del progresivo desarrollo de la automatización industrial, favorecido notablemente por el avance de las técnicas de control

## CAPITULO I

por computadora, y contribuye de manera decisiva a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala.

### **1.3.1. Tipos de Automatización Industrial**

Fija Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto. Por lo tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar productos o componentes con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.

Programable Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto dado. La producción se obtiene por lotes.

Flexible Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.

### **1.3.2. Análisis de la necesidad de un Robot.**

A continuación se presenta un análisis de la necesidad de instalación de un robot y los aspectos a considerar en su factibilidad. Cuando la longitud total de la línea de un proceso es lo más corta posible y los puntos de almacenamiento son los menos posibles, el propósito de instalación de un Robot es la manipulación de piezas no muy disímiles entre sí. Para considerar la factibilidad de su instalación se debe tener presente:

- Cuando se deben producir piezas variadas, estas deben ser de características similares y la producción de cada lote como mínimo debe ocupar un período de tiempo razonable.
- Para la obtención de un flujo automático de material se deben almacenar piezas antes y después del grupo de máquinas que serán servidas por el Robot. Las piezas pueden almacenarse en transportadores paso a paso, o en cajas de nivel regulable. Las plataformas inclinadas, alimentación y salida por gravedad, suelen emplearse en casos sencillos. El tamaño del almacén depende de la tasa de producción. El operador que inspecciona las piezas puede llenar y vaciar las cajas de almacenamiento.

## CAPITULO I

- El tiempo de maniobra requerido es determinado por la longitud total del camino y la máxima velocidad del Robot. La mayoría de los Robots neumáticos, hidráulicos y eléctricos tienen velocidades máximas aproximadas a los 0,7 metros por segundo y desplazamientos angulares de 90° por segundo. Sin embargo cuando se trata de un Robot neumático debe tenerse presente que la variación de velocidad con la carga es muy grande; y esto es particularmente importante cuando un Robot de este tipo está equipado con dos manos, ya que en el momento en que estas estén ocupadas la carga será el doble. El tiempo anual de manipuleo puede ser calculado, cuando se compara el Robot con la labor total en igual período, pero no es posible hacerlo mediante la comparación con el tiempo de manipulación de una sola pieza.
- Básicamente el layout puede ser circular o lineal. En una disposición circular un Robot sirve a varias máquinas sin que las piezas se acumulen entre ellas. En un layout lineal cada Robot sirve a una máquina en la línea y las piezas van siendo reunidas en transportadores entre máquinas. Un transportador de almacenamiento debe ser capaz de tomar el total de la producción de una máquina durante el cambio de herramienta. En esta disposición la producción es mayor que en el sistema circular. Muchos layout's requieren versiones especiales de Robots con grados de libertad adicionales demandadas por el proceso.
- La mano del Robot está diseñada generalmente para un movimiento de entrada lateral, para lo cual es necesario disponer de espacios entre la herramienta y el punto de trabajo.
- El brazo del Robot debe tener espacio para ingresar a la máquina en forma horizontal o vertical.
- La inspección visual de las piezas es manual en la mayoría de los casos. Las cajas de almacenamiento deben ser llenadas y vaciadas. 4 o 5 Robots que demanden estas tareas adicionales pueden ser supervisados por un solo hombre. La implementación de un Robot en un proceso productivo, tiene como objetivo fundamental disminuir los costos de producción mediante un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva ya instalada.
- El costo de implementación está compuesto por los siguientes ítems:
  - o El Robot.

## CAPITULO I

- Las herramientas de la mano.
  - Posible modificación de la máquina o máquina-herramienta y herramientas.
  - Posible alteración del layout existente.
  - Equipos periféricos, transportadores, cajas de almacenamiento.
  - Dispositivos de fijación y señalización.
  - Costo del trabajo de instalación.
  - Entrenamiento del personal para operación y mantenimiento.
  - Puesta en marcha y puesta a punto.
- Entre los beneficios que se obtienen al implementar un robot en la automatización del proceso en una empresa se pueden mencionar:
- Reducción de la labor.
  - Incremento de utilización de las máquinas.
  - Flexibilidad productiva.
  - Mejoramiento de la calidad.
  - Disminución de pasos en el proceso de producción.
  - Mejoramiento de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
  - Mayor productividad.
  - Ahorro de materia prima y energía.
  - Flexibilidad total.
  - Calidad de trabajo humano: Seguridad: trabajos peligrosos e insalubres.  
Comodidad: trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.
  - Acumulación instantánea de experiencias.
  - Reducción en los tiempos de procesamiento de información.
  - Disminución de la contaminación y daño ambiental.
  - Factibilidad técnica en procesos y en operaciones de equipos.

### **1.4. Estaciones modulares de producción (MPS)**

#### Concepto

MPS (Master Production Scheduling ó Plan Maestro de Producción), es la programación de las unidades que se han de producir en un determinado periodo de tiempo dentro de un horizonte de planeación. El horizonte de planeación es el tiempo a futuro en el cual se van a

## CAPITULO I

producir los artículos, pueden ser 3 meses, 6 meses, 1 año. Y podríamos definirla como un conjunto integrado de equipos y recursos humanos, cuya función es desarrollar una o más operaciones de proceso y/o ensamblaje a partir de la materia prima o de un conjunto de partes. Su objetivo es dar valor añadido al producto. En la figura 1.2 se muestra la posición de los sistemas de fabricación o MPS en los sistemas de producción.

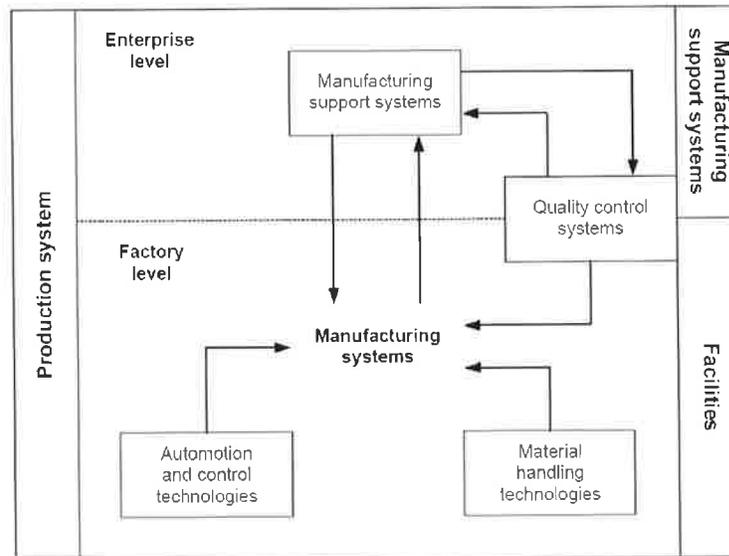


Figura 1.2. Posición del sistema dentro del sistema de producción.

El MPS se inicia a partir de los pedidos de los clientes de la empresa o de pronósticos de la demanda anteriores al inicio del MRP; llega a ser un insumo del sistema. Diseñado para satisfacer la demanda del mercado, el MPS identifica las cantidades de cada uno de los productos terminados y cuándo es necesario producirlo durante cada periodo futuro dentro del horizonte de planeación de la producción. El MPS proporciona la información focal para el sistema MRP, controla las acciones recomendadas por el sistema MRP en el ritmo de adquisición de los materiales y en la integración de los subcomponentes, los que se engranan para cumplir con el programa de producción del MPS.

El MRP (Material Requirement Planning ó Planeación de los Requerimientos de Materiales) es un sistema para planear y programar los requerimientos de los materiales en el tiempo para las operaciones de producción finales que aparecen en el programa maestro de producción. También proporciona resultados, tales como las fechas límite para los componentes, las que posteriormente se utilizan para el control de taller. Una vez que estos

## CAPITULO I

Hoy en día, la mecanización de las operaciones de manufactura significa el empleo de mecanismos movidos con energía hidráulica, neumática, térmica, eléctrica o una combinación de estas. La etapa de mecanización significa el empleo intensivo y extensivo de estas formas de energía para el movimiento de los mecanismos. La etapa de automatización industrial programable, reprogramable y flexible, adviene con la creación de la electrónica y control digital de las operaciones de manufactura y mecanismos, es decir, con la mecatrónica.

La integración de las máquinas de control numérico computadorizado (CNC) con los robots industriales por medio de un computador digital para su programación y control, da origen a los sistemas flexibles de manufactura (FMS) y sistemas flexibles de montaje (FAS), que son la expresión moderna de los sistemas de manufactura tradicionales. La manufactura integrada por computador (CIM) es la estrategia de desarrollo de estas tecnologías avanzadas de manufactura (AMT), basadas en automatización electrónica. Todo este desarrollo en los sistemas productivos fue posible por la integración de sistemas mecánicos, electrónicos y computadorizados para la automatización industrial.

Lo descrito anteriormente, constituye una realidad preocupante ante el auge de la industria en la región, que aunado al costo de importación de mano de obra calificada, motiva a los empresarios a requerir con carácter de urgencia la formación, capacitación y especialización de profesionales calificados a nivel superior, para integrarlos a la actividad laboral, cubrir las necesidades de la apertura en una visión estratégica global.

Las computadoras digitales juegan un papel importante en el diseño y fabricación de productos cada vez más sofisticados como los aviones modernos; el telescopio espacial Hubble o el empleo de just - in -- time (justo a tiempo) en los sistemas de manufactura. Estos productos requieren que mecanismos, sensores, motores, unidades de potencia, computadores y flujo de información sean integrados en las fases de diseño y fabricación y que el equipo de diseñadores comprendan no solamente de software e interfaces electrónicas sino también entiendan sobre engranajes y motores. Es necesario, entonces, que el equipo de diseñadores trascienda la frontera que separa la ingeniería mecánica de la ingeniería eléctrica.

## CAPITULO I

productos del MRP están disponibles, permiten calcular los requerimientos de capacidad detallada para los centros de trabajo en el área de producción.

Los Sistemas Modulares de Producción MPS se han diseñado para la instrucción en mecatrónica porque integran los fundamentos de las tecnologías mecánicas y electrónicas en una nueva unidad. La modularidad de los MPS está estructurada para permitir total flexibilidad en el nivel de entrenamiento de complejidad, procesamiento de los módulos, estaciones para instalaciones y procesos. Los usuarios pueden desarrollar desde un simple circuito de flujo de información, hasta supervisión y control total de una planta industrial. La integración computarizada de los diferentes módulos, permite el entrenamiento en mecatrónica o automatización industrial, porque el MPS puede modelar a escala una fábrica, simular y programar en tiempo real las diferentes funciones como: manejo de materiales, almacenamiento, transporte, maquinado, ensamble, control y calidad.

Como ejemplos podríamos señalar los siguientes (figura 1.3):

- Un operario controlando una máquina, esta opera en un ciclo semiautomático.
- Un conjunto de máquinas semiautomáticas, controladas por un operario.
- Una máquina de ensamble completamente automatizada, periódicamente controlada por un operario.
- Un grupo de máquinas automatizadas produciendo partes similares.
- Un equipo de operaciones trabajando en operaciones de ensamble a lo largo de una línea de producción.

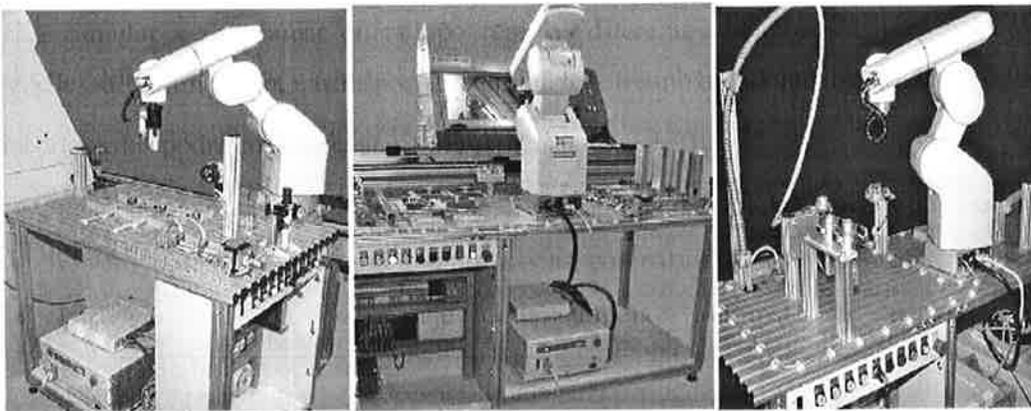


Figura 1.3. Estaciones de trabajo 1. CNC, 2. Ensamblaje, 3. Soldadura.

## CAPITULO I

Los Sistemas de Manufactura Inteligente (IMS) pueden ser considerados como la integración de la mecatrónica inteligente y la CIM que combina disciplinas tales como ingeniería industrial, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica y ciencia computarizada. La inteligencia artificial (AI) y las tecnologías basadas en sistemas expertos (ES) combinadas con sensores inteligentes, motores circuitos digitales, permiten este avance en precisión y control de sistemas de manufactura en tiempo real, la figura 1.4, muestra un sistema CIM simple, combinando todas las disciplinas automáticas.

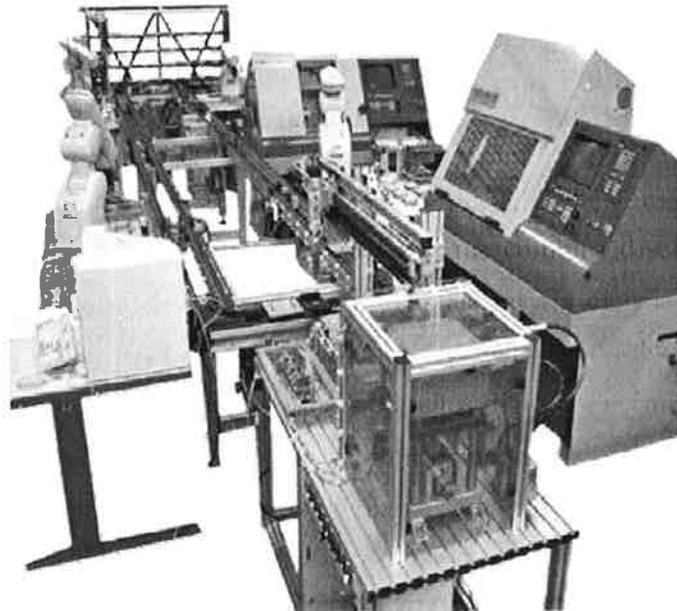


Figura 1.4. Bases de un sistema de producción CIM.

Los sistemas productivos actuales deben condicionarse para ser competitivos dentro de un mercado con crecientes exigencias en diversificación, selección y adquisición de bienes de consumo.

### 1.4.1 Máquinas de Producción

Las máquinas de producción se clasifican como: operadas manualmente, semiautomáticas y totalmente automatizadas.

Las máquinas **operadas manualmente** son controladas por un operario. La máquina provee la potencia para realizar la operación y el operario el control. Las máquinas **semiautomatizadas** realizan una parte del ciclo de trabajo mediante un programa de

## CAPITULO I

control y el operario controla la máquina el ciclo restante, cargándola y descargándola mientras realiza otra tarea en cada ciclo.

Una máquina **completamente automatizada** tiene la capacidad de operar por periodos de tiempo extendidos sin el control de un operario. En este caso el operario sólo necesitará controlar la máquina cada 10 ó 100 ciclos, dependiendo de la máquina o del programa.

En sistemas de fabricación, se usa el término de *workstation* (estaciones de trabajo) para referirse a la ubicación en la planta, donde se realizan tareas u operaciones específicamente definidas ya sea por medio de máquinas automatizadas, combinación de operario-máquina o un operario utilizando máquinas manipuladas manualmente.

### 1.4.2. Sistemas de Control por Computadora.

Actualmente los sistemas requieren de un computador para controlar el equipo y para gestionar el sistema. Un sistema por computadora típico incluye las siguientes funciones (figura 1.5):

- Instrucciones comunicadas a los operarios.
- Programas para las máquinas de control computarizadas.
- Sistemas de control de gestión de material.
- Calendario de producción, operaciones de gestión y control de calidad.
- Diagnóstico de fallos y modos de seguridad.

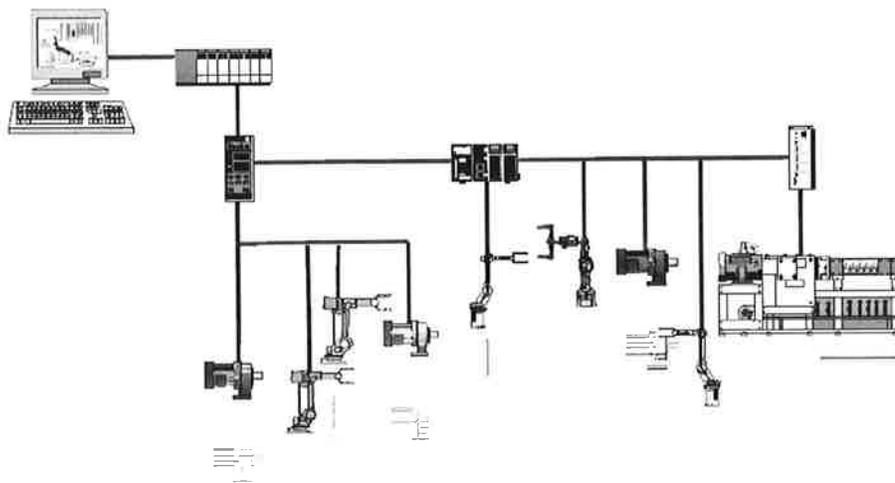


Figura 1.5. Sistema de gestión por computadora.

### 1.4.3. Clasificación de los Sistemas de Fabricación

Realizamos una clasificación de los sistemas de fabricación según una serie de factores (tabla 1.1):

- Tipo de operaciones a realizar.
- Número de estaciones de trabajo y el *layout* del sistema.
- Nivel de automatización.
- Variedad del producto.

Tabla 1.1. Factores y alternativas en la clasificación de MPS

Factor	Alternativas
Tipo de operaciones a realizar	Operaciones de proceso vs Operaciones de ensamblaje
Nº Estaciones de trabajo y layout del sistema	Una estación vs Mas de una estación. Para mas de una estación, enrutamiento variable o fijo.
Nivel de automatización	Atención a tiempo completo vs atención periódica.
Variedad del producto	Unidades idénticas vs Unidades variadas.

En la figura 1.6 se muestra un sistema industrial automatizado, cumpliendo los puntos mas importantes de un sistema de fabricación, variedad de producto, varias estaciones de trabajo y un nivel de automatización propia.

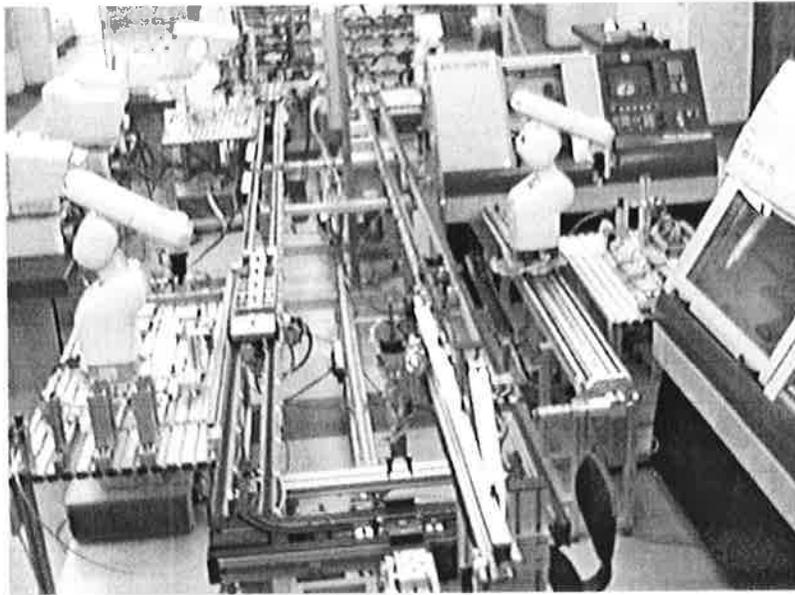


Figura 1.6. Sistema de fabricación con sistema automatizado.

## CAPITULO I

### 1.4.3.1. Tipos de operaciones a realizar

En los sistemas de fabricación distinguimos dos tipos de operaciones. Operaciones de Proceso en unidades de producción individuales y Operaciones de Ensamblaje para combinar partes individuales dentro de una entidad de ensamblaje. Existen parámetros que juegan un papel determinante en el diseño del sistema de fabricación, como el tipo de material procesado, el tamaño, el peso, la geometría, etc.

### 1.4.3.2. Número de estaciones de trabajo y layout del sistema

Este factor ejerce una fuerte influencia en el rendimiento de los sistemas de fabricación en términos de capacidad de producción, productividad, coste por unidad y mantenimiento. Tener un número elevado de estaciones significa un sistema más complejo, para justificar esto se requieren de unos márgenes de beneficios mayores. Relacionado con el número de estaciones tenemos el concepto de *layout*, que es la organización de las estaciones dentro de la planta.

De acuerdo al número de estaciones y su *layout*, podemos realizar la siguiente clasificación:

Tabla 1.2. Tipo de estaciones, n es el número de estaciones individuales.

Tipo I	Estación simple (n=1)
Tipo II	Estaciones múltiples con enrutamiento variable (n>1).
Tipo III	Estaciones múltiples con enrutamiento fijo (n>1).

### 1.4.3.3. Nivel de automatización

*Manning Level* ( $M_i$ ): es la proporción de tiempo que un trabajador necesita atender una estación. En general, valores altos de  $M_i$  ( $M_i \geq 1$ ) indica operaciones manuales en la estación; mientras que valores bajos de  $M_i$  ( $M_i < 1$ ) denotan alguna automatización. El promedio del *Manning Level* de un sistema de fabricación multiestación es un indicador útil de la mano de obra directa empleada en el sistema (*Ecuación 1*).

$$M = \frac{w_u + \sum_{i=1}^n w_i}{n} = \frac{w}{n}$$

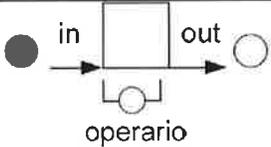
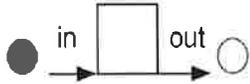
En donde  $w_u$  es el número de trabajadores generales (*utility workers*) asignados al sistema;  $w_i$  es el número de trabajadores específicamente asignados a la estación  $i$ , para  $i=1,2,\dots,n$ ; y  $W$  es el número total de trabajadores.

## CAPITULO I

Los *utility workers* son aquellos trabajadores que no están específicamente asignados a estaciones de proceso o ensamblaje individual. En cambio, realizan funciones tales como: relevo de estaciones durante los descansos, mantenimiento y reparación del sistema, cambio de herramientas y carga y/o descarga de las unidades de producción.

Tenemos dos posibles niveles de automatización para las **estaciones simples** y tres posibles niveles para los sistemas multiestación. Los dos niveles para las estaciones simples (Tipo I) son los que se muestran a continuación:

Tabla 1.3. Clasificación de sistemas de fabricación de celdas de estación simple.

Tipo IM (Celda de estación simple operada manualmente)	Tipo IA (Celda de estación simple autorizada)
	
El caso básico es una máquina y un trabajador ( $n=1$ y $w=1$ ). Máquina manual o semiautomatizadas, continuamente atendida.	Máquina completamente automatizada capaz de atender una operación ( $M<1$ ) por periodos largos de tiempo (más de un ciclo máquina). Periódicamente atendida.

### 1.4.4. Variedad del producto.

Es la capacidad de tratar con las variaciones de los productos. Distinguimos tres casos como se aprecia en la tabla 1.4 de variaciones de productos en sistemas de fabricación:

Tabla 1.4. Tipos de sistemas de fabricación de acuerdo a su capacidad de tratar la variedad del producto

Tipo de sistema	Variedad Típica del producto	Flexibilidad
<b>Modelo simple</b>	No hay variedad	No requerida
<b>Modelo por Lotes</b>	Variedad fuerte de producto	Mucha flexibilidad
<b>Modelo mixto</b>	Variedad débil de producto	Cierta flexibilidad

La **flexibilidad** en los sistemas de fabricación se refiere a la capacidad de hacer frente a un cierto nivel de variación de los productos sin interrupciones en la producción. Para que un sistema sea flexible debe tener las siguientes capacidades:

## CAPITULO I

- Identificación de las diferentes unidades de producción.
- Cambio rápido de las instrucciones de operación.
- Cambio rápido de la configuración física.

Los **sistemas de fabricación reconfigurables** son necesarios debido al alto coste de diseñar, construir e instalar nuevos sistemas, cada vez que se necesite un nuevo producto.

Deben tener las siguientes características:

- Movilidad sencilla.
- Diseño modular de los componentes del sistema.
- Arquitectura abierta en los controles informáticos.
- Estaciones de trabajo CNC.

## **CAP. II.**

### **DESCRIPCIÓN DE LA ROBÓTICA Y LOS MANIPULADORES**

#### 2.1 Robótica.

2.1.1 El campo de la producción.

2.2. ¿Qué es un Robot?

2.2.1. Descripción del robot en funcionamiento.

2.2.2. Funcionamiento del robot.

2.2.3. El robot industrial clásico.

2.3. Representación de un robot.

2.3.1. Representación funcional.

2.3.2. Representación gráfica.

2.4. ¿Qué es un grado de libertad para un robot?

2.4.1. Grados de libertad de un sólido indeformable.

2.4.2. Grados de libertad de un robot.

2.4.3. Grados de libertad de la herramienta.

2.4.4. Grados de libertad y movilidad.

2.5. Los elementos de un robot industrial.

2.6. Manipulador o efector final.

2.7. Sistemas de accionamiento.

2.7.1. Accionamiento hidráulico.

2.7.2. Accionamiento neumático.

2.7.3. Accionamiento eléctrico.

2.7.4. ¿Qué sistema de accionamiento es el mejor?

### **2.1. Robótica**

La robótica es un área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, electrónica e informática. La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva.

El término de robótica inteligente combina cierta destreza física de locomoción y manipulación, que caracteriza a lo que conocemos como robot, con habilidades de percepción y de razonamiento residentes en una computadora. La locomoción y manipulación están directamente relacionadas con los componentes mecánicos de un robot. La percepción está directamente relacionada con dispositivos que proporcionan información del medio ambiente (sensores); estos dispositivos pueden ser de tipo ultrasonido (radares), cámaras de visión, láseres, infrarrojos, por mencionar algunos. Los procesos de razonamiento seleccionan las acciones que se deben tomar para realizar cierta tarea encomendada. La habilidad de razonamiento permite el acoplamiento natural entre las habilidades de percepción y acción.

La robótica puede considerarse como la referencia a una automatización importante de numerosos sectores de la actividad humana en los cuales se ha estimado imprescindible, hasta hace poco tiempo, la presencia del hombre.

Está ligada a la aparición en un tipo de máquina en la que se ha soñado desde siempre: el robot, especie de máquina universal.

El campo de aplicación de la robótica influye profundamente la forma y las propiedades de las máquinas y robots.

Puede facilitarse la comprensión considerando tres grandes campos de aplicación, el campo de la producción, el campo de la exploración, y el campo de la asistencia individual. En el interior de cada campo, los problemas a resolver tienen cierto parecido.

## CAPITULO II

Así, en esta obra no nos interesaremos por la robótica de punta sino simplemente en un cierto número de herramientas que es preciso saber cómo se utilizan para comprender como funciona el útil fundamental sobre el que se apoya la robótica: el robot, y más concretamente el robot de vocación industrial

### **2.1.1. El campo de la producción.**

Concretamente es aquí donde los industriales han desarrollado el máximo esfuerzo, ya que en la utilización de los robots ven numerosas ventajas; en primer lugar, la disminución de la mano de obra.

De hecho, la asociación de robots entre sí y con otras máquinas, aportan don ventajas fundamentales con relación a los modos de producción tradicionales:

- a) La automatización casi integral de la producción que puede acompañarse:
  - a. De una mejor calidad de producto acabado.
  - b. De una mayor fiabilidad en el mantenimiento de esta calidad.
  - c. De una mejor adaptación de la cantidad producida a la demanda.
- b) La rapidez de reconfiguración de la unidad de producción cuando se pasa de la fabricación de un proceso a la de un producto similar (ejemplo: fabricar modelos diferentes de coches en la misma cadena) o bien, cuando un incidente inmoviliza una máquina de la unidad de producción.

Estas unidades de producción reconfigurables o adaptativas se califican de flexibles (en inglés flexible manufacturing systems). Hablamos de:

- Célula flexible, cuando se asocian un pequeño número de robots y máquinas, por ejemplo; un robot de carga de un torno y el torno.
- Taller flexible, cuando se asocian varias células flexibles.

Teóricamente el uso de sistemas robóticos podría extenderse a casi todas las áreas imaginables en donde se necesite de la ejecución de tareas mecánicas, tareas hoy ejecutadas por el hombre o imposibles de ejecutar por él (por ej. una exploración sobre el terreno de la superficie marciana). Se entiende, en este contexto, que tarea mecánica es toda actividad que involucra presencia física y movimiento por parte de su ejecutor. Algunos de los campos de aplicación actuales de la robótica son:

## CAPITULO II

Entre las principales aplicaciones no industriales de los robots es necesario mencionar su utilización en plantas de energía nuclear, en la exploración submarina, la minería, construcciones, agricultura, medicina, entretenimiento (es el uso de robots para recrear situaciones ficticias o posibles, haciendo uso de los llamados "efectos especiales"), etc.

Las principales aplicaciones industriales son las siguientes:

- Fundición en molde (die-casting). Esta fue la primera aplicación industrial.
- Soldadura de Punto. Ampliamente utilizada en la industria automotriz. En promedio, este tipo de robot reduce a la mitad la fuerza laboral necesaria.
- Soldaduras de Arco. No requiere de modificaciones sustanciales en el equipo de soldadura y aumenta la flexibilidad y la velocidad.
- Moldeado por Extrusión. De gran importancia por la creciente demanda de partes especializadas de gran complejidad y precisión.
- Forjado (Forging). La principal aplicación es la manipulación de partes metálicas calientes.
- Aplicaciones de Prensado (press work). Partes y paneles de vehículos y estructuras de aviones, electrodomésticos y otros.

### 2.2. ¿Qué es un Robot?

Ya que hemos definido la robótica y sus aplicaciones ahora determinaremos ¿Qué es un Robot?

El termino robot parece que empezó a utilizarse hacia los años 1920-1930, a raíz de una obra de teatro de Tcheque Karel Tschapek titulada R.U.R (Rossum's Universal Robot). Esta obra pone en juego pequeños seres artificiales antropomorfos, que responden perfectamente a las órdenes de su maestro. Estos seres llevan el nombre de robot, del checo "robota", término idéntico al término ruso y que significa trabajo.

Cuando se ha tratado de citar a los robots existentes, ha hecho falta referirse a una definición lo que podría llamarse robot.

Esto nunca ha estado claro y vamos a dar las siguientes definiciones propuestas:

- a) La de Oxford English dictionary:  
"un aparato mecánico que se parece y hace el trabajo de un ser humano"
- b) La del Robot Institute of America:

## CAPITULO II

“Un manipulador reprogramable y multifuncional concebido para transportar materiales, piezas, herramientas o sistemas especializados, con movimientos variados y programados, con la finalidad de ejecutar tareas diversas”.

Una de las definiciones más completa y frecuentemente utilizada es la propuesta por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO):

“El robot industrial es un manipulador multifuncional, reprogramable, de posiciones o movimientos automáticamente controlados, con varios ejes, capaz de manejar materiales, partes, herramientas o instrumentos especializados a través de movimientos variables programados para la ejecución de varias tareas. Con frecuencia tienen la apariencia de uno o varios brazos que terminan en una muñeca; su unidad de control utiliza un sistema de memoria y algunas veces puede valerse de instrumentos sensores y adaptadores que responden a estímulos del medio ambiente y sus circunstancias, así como las adaptaciones realizadas. Estas máquinas multifuncionales son generalmente diseñadas para realizar funciones repetitivas y pueden ser adaptados a otras funciones sin alteraciones permanentes en el equipo”.

Esta definición, más aceptable, tampoco es perfecta.

Ahora más que buscar una definición, vamos a dar dos propiedades que caracterizan a un robot:

a) La versatilidad:

Es la potencialidad (posibilidad) estructural (mecánica) de ejecutar tareas diversificadas y/o ejecutar una misma tarea de forma diversificada. Esto impone al robot de una estructura mecánica de geometría variable.

b) La autoadaptabilidad al entorno:

Esta palabra complicada significa, simplemente, que un robot debe, por sí, solo, alcanzar su objetivo (la ejecución de una tarea), a pesar de las perturbaciones imprevistas (pero limitadas) del entorno, a lo largo de la ejecución de la tarea.

Esta propiedad, que empieza justamente a aparecer en los robots industriales que nos interesan, supone que el robot sea consciente de su entorno, por lo tanto que posea sentidos artificiales.

**2.2.1. Descripción de un robot en funcionamiento**

Un robot operacional puede representarse por cuatro unidades entre sí como se muestra en la figura 2.1.

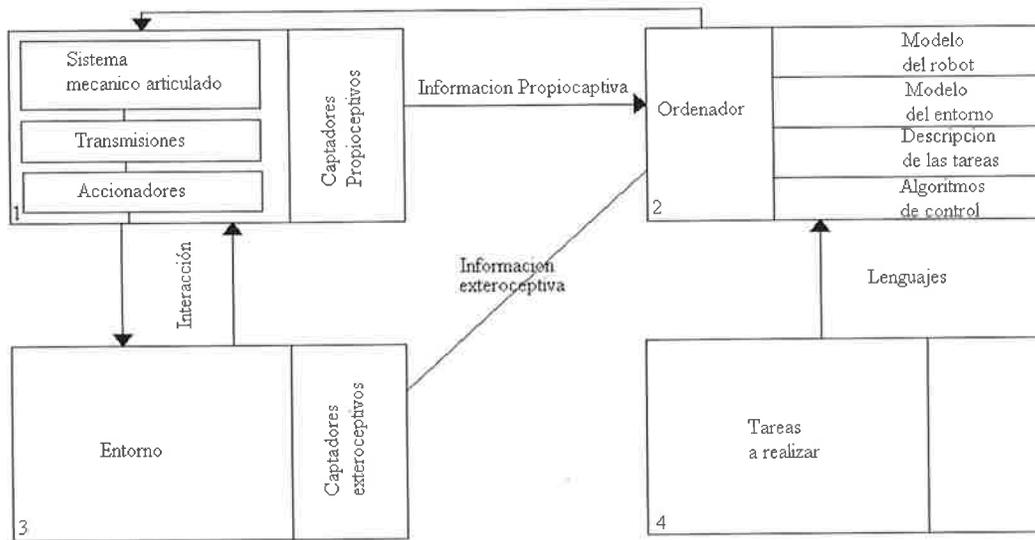


Figura 2.1. Descripción de un robot en funcionamiento

1) El sistema mecánico articulado:

Dotado de sus motores por cuatro entidades (que se llaman también accionadores o actuadores). Estos pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos. Arrastran a las articulaciones del robot, mediante las transmisiones, también de diversa naturaleza (cables, cintas, correas con muescas, engranajes, tornillos sin fin, etc.).

Para conocer en todo instante la posición de las articulaciones, se recurre a los capturadores (potenciómetros, codificadores ópticos, etc.). A estos se les denominan propioceptivos, por analogía con el sistema humano. Esto significa que dan el valor de las articulaciones, es decir, la configuración o incluso el estado del robot, con relación a un valor de referencia llamado configuración de inicialización.

2) El entorno:

Es el universo en el que está sumergida la primera entidad. Para los robots con puesto fijo, se reduce a lo que se encuentra en el espacio de alcanzable del robot, definido por el volumen de barrido cuando este pasa por todas las configuraciones posibles. En este

## CAPITULO II

entorno el robot encontrara obstáculos que debe evitar y objetos de interés, es decir, aquellos sobre los que debe actuar.

En consecuencia, existe una interacción entre la primera entidad (el robot físico) y el entorno. Se toman informaciones sobre el estado del entorno (comparable al estado del robot), mediante los captadores que denominados exteroceptivos (es decir, que permiten situar lo que hay en el exterior del robot físico con relación a él). Encontramos de esta forma cámaras, detectores de fuerza, captadores de proximidad, captadores táctiles, etc.

### 1) Las tareas a realizar:

Es el trabajo que se desea que haga el robot de la primera entidad. Es preciso por lo tanto poder describirlo. Esto se hace mediante lenguajes que pueden ser por gestos (se enseña al robot lo que debe hacer), orales (se le habla) o por escrito (se le escribe en un lenguaje que comprenda).

### 2) El cerebro del robot

Es el órgano de tratamiento de tratamiento de la información. Para los robots menos evolucionados casi siempre es un autómata programable. Para los robots avanzados es un miniordenador numérico o microprocesador.

### **2.2.2. Funcionamiento del robot**

Como para el hombre, el “cerebro” tiene el papel principal. Posee en sus memorias:

#### a) Un modelo del robot físico.

Es decir, las relaciones entre las señales de excitación de los accionadores y los desplazamientos que son consecuencias de ellas.

#### b) Un modelo del entorno.

Es decir, una descripción de lo que se encuentra en el espacio que puede alcanzar, por ejemplo, las zonas que no debe atravesar ya que hay obstáculos.

#### c) Programas.

Que le permiten comprender las tareas que le pide que realice.

#### d) Programas.

## CAPITULO II

Que le permiten controlar el robot físico con el fin de que éste ejecute lo que debe. Son los algoritmos de control.

A lo largo de la ejecución de una tarea, el ordenador, en todo instante:

- Percibe el estado del robot gracias a la información propioceptiva.
- Percibe el estado del entorno gracias a la información exteroceptiva.
- Recurre a diversos modelos y programas registrados, y
- Genera una orden (es decir, señales de potencia de los accionadores), que hace progresar al robot físico hacia la ejecución correcta de la tarea que se le ha pedido.

### 2.2.3. El robot industrial clásico

El robot industrial clásico (al menos el 98% de los robots instalados en la actualidad) se componen por tres entidades, como se muestra en la figura 2.2:

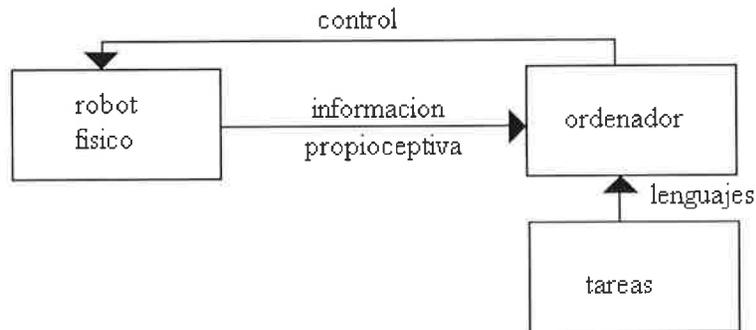


Figura 2.2. Robot industrial clásico

- El robot físico.
- El ordenador.
- Las tareas.

No posee por tanto ningún medio de percepción del entorno (ningún captador exteroceptivo).

Eso permite:

- Sustituir el ordenador por un autómata programable más sencillo.

Eso obliga:

## CAPITULO II

- A prever con antelación todo lo que pueda pasar en el entorno. De hecho, no hay un modelo del entorno, sino solamente gestos secuenciales del robot físico que se programan con anticipación.

Estos robots se justifican en la práctica:

- a) Si estas tareas son rigurosamente (geométricamente) repetitivas,
- b) Porque el análisis automático del entorno (análisis de escena) es un campo todavía poco conocido, en consecuencia de baja fiabilidad y coste elevado.

Sin embargo, aparecen hoy en día robots industriales dotados de sistema de visión (de prestaciones limitadas) o de sistemas de medida de esfuerzo.

### 2.3 Representación de un robot

Representar un sistema es hacer un modelo. Este puede ser muy diferente, en función de lo que se busque mostrar: puede ser una descripción oral, ecuaciones matemáticas, dibujos, etc. En este capítulo hablaremos de la representación funcional y gráfica de los robots físicos (que son, por lo tanto, sistemas mecánicos articulados).

#### 2.3.1. Representación funcional

Un robot, en su estructura geométrica, puede descomponerse en tres subconjuntos funcionales interconectados:

- 1) El vehículo.

Para que un robot ejecute tareas en un lugar determinado, primero debe conducirse al sitio. Es la función del vehículo: máquina terrestre, submarino, satélite... que tiene entre 2 y 6 grados de libertad según el medio en el que se desplace.

Por ejemplo, la figura 2.3 muestra un manipulador montado en un satélite. Tiene 6 grados de libertad: 3 traslaciones para cambiar su posición y 3 rotaciones para cambiar su orientación.

- 2) El portador.

Tiene por función conducir la herramienta (la pinza CD o mejor el punto C de la figura 2.3) a un sitio preciso (lo que no podría hacerse directamente con el vehículo. Por otro lado los robots con puesto fijo, que constituyen los más importantes de los robots industriales, no

poseen vehículo por definición). El posicionado de C se efectúa con ayuda de 3 grados de libertad (las rotaciones  $R_1$   $R_2$   $R_3$  en la figura 2.3).

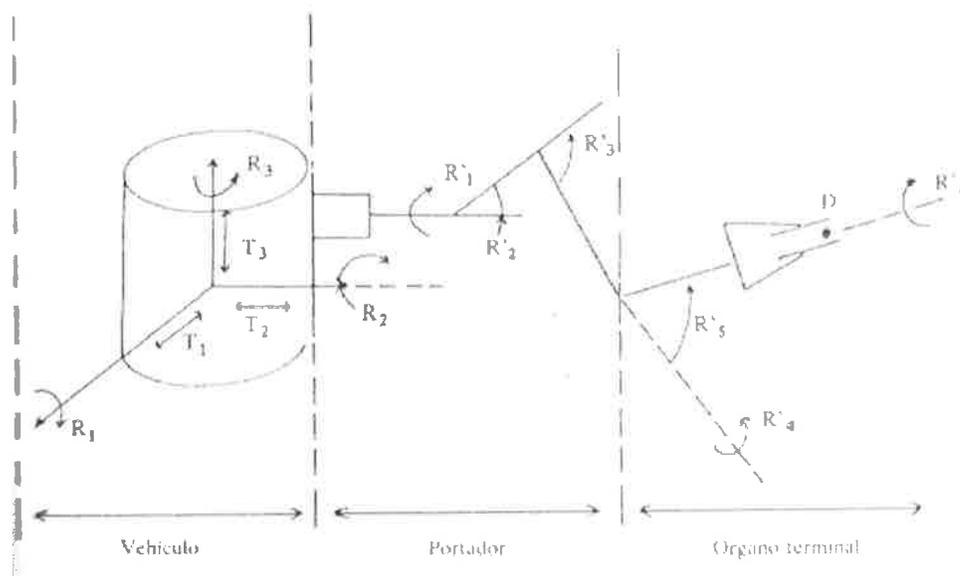


Figura 2.3. Ejemplo de robot con 12 grados de libertad

1) El órgano terminal.

Es la herramienta, por ejemplo una pinza para los manipuladores. Si el punto C es correcto, la movilidad de la herramienta afecta únicamente a su orientación. Exige por tanto tres rotaciones posibles independientes ( $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ).

Sin embargo, algunas veces, por cuestiones de ejecución de movimientos muy precisos, se dota al órgano terminal de pequeñas traslaciones que permiten una regulación fina de la posición de C.

Esta división en vehículo, portador y órgano terminal se corresponde, a menudo, con la utilización real de la estructura mecánica. Pero a veces existen acoplamientos entre las diversas articulaciones del portador y del órgano terminal que complican el problema de control y hace difícil, si no imposible, la distinción entre los dos subconjuntos.

**2.3.2. Representación grafica.**

Cuando se dibuja un robot tomando una vista de lado o en perspectiva, como en las figuras 2.4 y 2.5, resulta complicado y no permite saber exactamente como se mueven los diferentes segmentos y con relación a qué.

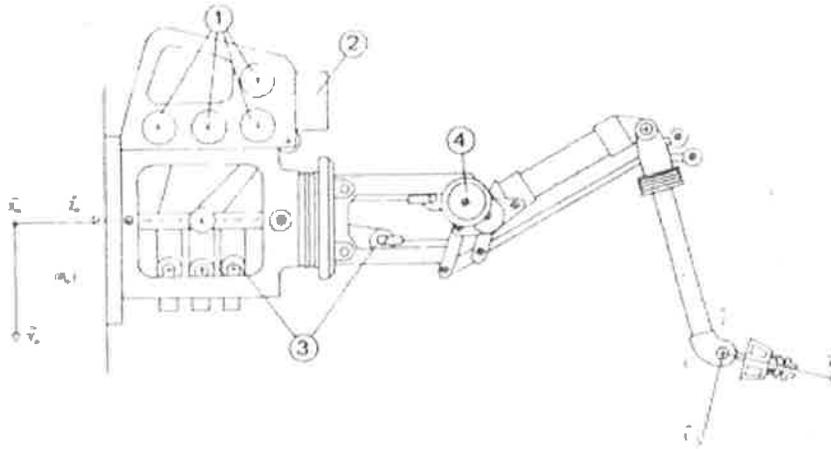


Figura 2.4. Vista de lado del robot-manipulador MA23

1- Motores; 2- servosistemas; 3- transmisiones; 4- equilibrado

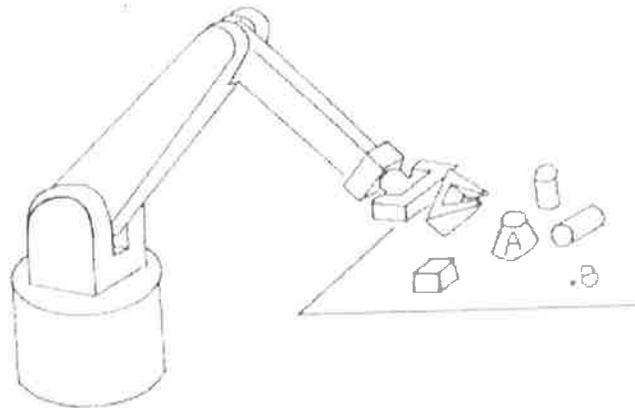


Figura 2.5. Vista en perspectiva de un robot.

Por eso, es preferible hacer dibujos esqueléticos, de principio, como en la figura 2.6. Para que lo comprenda todo el mundo, es bueno referirse a una norma de presentación, en particular para describir los tipos de articulación presentes, es decir, las uniones mecánicas entre los diferentes segmentos.

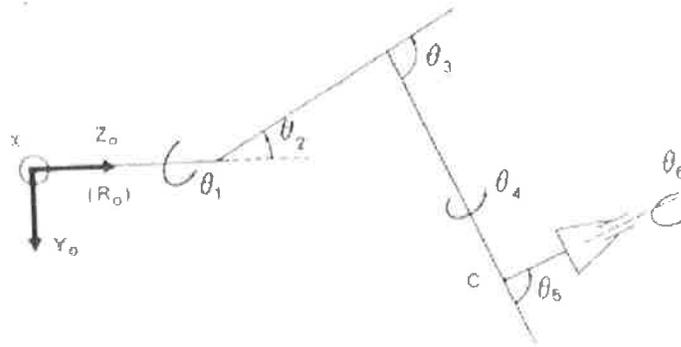


Figura 2.6. Estructura geométrica del robot manipulador de la figura 2.4 los tres primeros grados de libertad, permiten posicionar el punto C (y por tanto la pieza) en el espacio. Los tres últimos, permiten orientar esta pieza en una dirección cualquiera.

## 2.4. ¿Qué es un grado de libertad para un robot?

### 2.4.1 Grados de libertad de un sólido indeformable.

Considerando un sólido S aislado. En un punto cualquiera, se le coloca una referencia ortonormal (R). Puede considerarse que el número de grados de libertad del sólido, es el número de desplazamientos independientes que puede hacer respecto a la referencia (R). Una forma de contar estos desplazamientos consiste en decir que el sólido puede efectuar:

- 3 traslaciones  $T_1, T_2, T_3$  a lo largo de los ejes OX, OY y OZ.
- 3 rotaciones  $R_1, R_2$  y  $R_3$  alrededor de OX, OY y OZ (figura 2.7).

Esto quiere decir que utilizando estas 3 traslaciones y estas 3 rotaciones puede llevarse el sólido a cualquier sitio del espacio y a cualquier orientación respecto a la referencia (R).

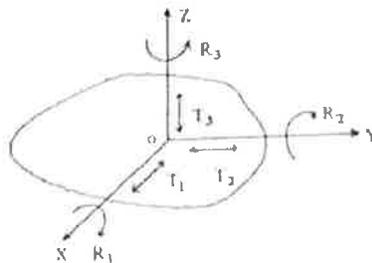


Figura 2.7. Grados de libertad de un sólido indeformable.

## CAPITULO II

Un sólido aislado tiene pues 6 grados de libertad (g.d.l.). Cuando se establece una unión entre dos sólidos, cada uno de ellos pierde algún g.d.l. respecto del otro. Estas uniones se expresan también mediante rotaciones y/o traslaciones que resultan imposibles entre los dos cuerpos.

### 2.4.2. Grados de libertad de un robot.

El objetivo fijado a un robot, es llevar su órgano terminal o la herramienta que se le ha fijado, a un lugar determinado del espacio con una orientación adecuada. Así pues:

- si se conoce con anticipación la utilidad del robot, interesa dotarle de 6 g.d.l.,
- si la herramienta tiene una forma especial, pueden ser útiles 6 g.d.l.

Ejemplo: una broca es un cilindro que gira alrededor de su eje principal: para posicionar y orientar esta herramienta son suficientes 5 g.d.l. (figura 2.8).

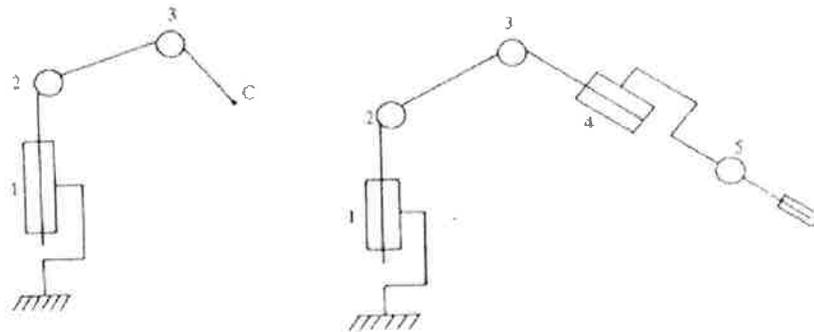


Figura 2.8. Para posicionar una recta son suficientes 5 g.d.l.

- la tarea por si misma puede pedir menos de 6 g.d.l. (figura 2.9)

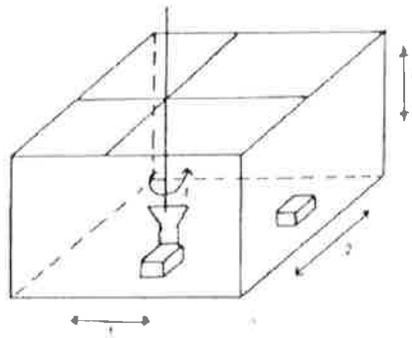


Figura 2.9. Tarea que solo exige 4 g.d.l.

## CAPITULO II

Observemos que, por regla general, los robots están dotados de un portador con 3 g.d.l. y que sobre el órgano terminal se hace la reducción eventual con relación al número 6.

### 2.4.3. Grados de libertad propios de la herramienta.

Tomemos de nuevo el ejemplo de un robot que debe hacer agujeros con una broca. Esta broca debe girar sobre sí misma para que pueda taladrar. Esta rotación se hace siempre mediante un motor auxiliar. Por lo tanto no es un g.d.l. del robot.

De igual forma para un robot manipulador, la pinza debe poder abrirse y cerrarse. Este grado de libertad propio de la pinza no puede contabilizarse en los g.d.l. del robot. Debe prestarse atención a esto.

### 2.4.4. Grados de libertad y movilidad.

Solo puede hablarse de grados de libertad de “alguna cosa” respecto a “otra cosa”. Así, en la figura 2.10, el punto 1 no tiene ningún g.d.l. respecto a la base fija, el punto 2 tiene 2 g.d.l. y el punto C tiene 3 g.d.l. respecto a la base.

Si se quiere llevar el punto D a un lugar del espacio, la articulación C, por ejemplo, teóricamente sobra (pero en la práctica no necesariamente). Podrá considerarse que eso no es un grado de libertad si no un grado de movilidad.

Por el contrario, si se desea orientar CD en el espacio posicionando el punto C, la articulación D tiene un grado de libertad que permite cierta orientación de CD (faltan otros dos g.d.l. para que pueda elegirse cualquier orientación de CD).

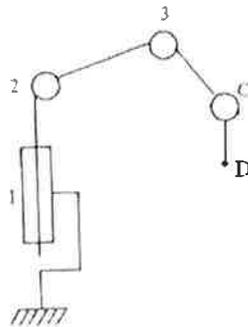


Figura 2.10. Grados de libertad

Por lo tanto debe verse claramente:

## CAPITULO II

- a) que toda movilidad no es necesariamente un g.d.l. Puede llegar a serlo en función de lo que se le solicite, pero no necesariamente (figura 2.11)

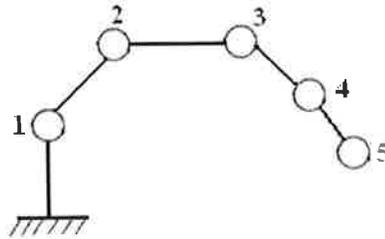


Figura 2.11. Este robot, haga lo que haga, no tiene más que 2 g.d.l. independientes.

- b) un robot no contendrá jamás de 6 g.d.l. independientes, pero puede contener muchos más grados de movilidad.

Esta distinción es muy importante cuando quiere establecerse el control de un robot (redundancia de los grados de movilidad).

### 2.5. Los elementos de un robot industrial.

En términos antropomórficos, el robot industrial requiere un cerebro, sentidos, un torrente sanguíneo, un brazo, una muñeca y una mano con los músculos apropiados y posiblemente piernas y pies, también con los músculos correspondientes. En un robot industrial típico, los elementos equivalentes en términos de máquinas podrían ser una computadora, dispositivos de medición, un generador de potencia eléctrica, hidráulica o neumática, un manipulador y, posiblemente, ruedas. Estos componentes se ilustran en la figura 2.12.

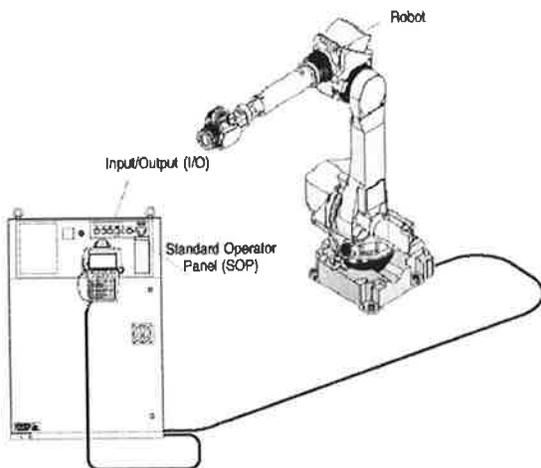


Figura 2.12. Los elementos de un sistema de robot.

## CAPITULO II

propiedades filtrantes de la dinámica del robot producen un suave movimiento continuo a lo largo de la trayectoria deseada.

La tarea a realizar por el robot la determina un programa que especifica el orden de los eventos y el valor requerido de las variables físicas en cada uno. Ya se ha explicado que la habilidad para cambiar este programa con facilidad, la programabilidad, es una característica distinta de los robots. La programación puede adoptar varias formas y ya hemos visto algunas de ellas. En la programación manual los puntos extremos de cada grado de libertad se fijan por medios físicos como bielas o interruptores de límite y en la programación por enseñanza todos los puntos de movimientos se almacenan en la memoria para lo que se guía el efector final a lo largo de la trayectoria deseada. Pero además de estos dos métodos existe ahora una gran tendencia hacia la programación fuera de línea, es decir, programación que no requiere contar con el robot ni con las piezas de trabajo reales. La programación fuera de línea es deseable cuando las aplicaciones requieren movimientos complejos, por ejemplo, en las tareas de ensamble. También es recomendable para la reproducción de lotes pequeños, donde tal vez no sea posible liberar un robot y fabricar las partes prototipo necesarias para programar por enseñanza al robot. Posteriormente veremos que la programación fuera de línea también es adecuada cuando resulta necesario enlazar el robot a otras bases de datos, como las salidas de sistemas de diseño mediante computadora (CAD). Un programa fuera de línea requiere un lenguaje robot para describir todas las operaciones necesarias en una forma simbólica adecuada. Uno de los lenguajes robot más populares es VAL, un lenguaje de alto nivel creado por Unimation para controlar y programar sus robots Unimate y Puma.

Ahora puede profundizarse un poco más en el punto de los robots industriales y su ayuda

- Pueden ser más fuertes, lo que les permite levantar pesos considerables y aplicar mayores fuerzas.
- No se cansan y pueden trabajar fácilmente las veinticuatro horas del día, siete días de la semana. No necesitan descanso para el café o para la comida. Y rara vez se enferman.
- Son consistentes. Una vez que se han instruido para realizar un trabajo pueden repetirlo, prácticamente en una forma indefinida, con un alto grado de precisión. El desempeño humano tiende a deteriorarse con el paso del tiempo.

## CAPITULO II

- Son casi completamente inmunes a su ambiente. Pueden trabajar en entornos extremadamente fríos o calientes, o en áreas donde existe el peligro de gases tóxicos o radiación. Manipulan objetos con temperaturas muy elevadas. Son capaces de trabajar en la oscuridad.

La anterior es una lista de atractivos muy impresionante. Un estudio realizado en la industria alemana se tradujo en la siguiente lista de prioridades<sup>1</sup>.

- Aumento de la productividad.
- Reducción de los costos de mano de obra.
- Rendimiento de la inversión.
- Mejoramiento de la calidad.
- Condiciones de trabajo más humanas.

Estos estudios, al igual que muchos otros, asignan un peso enorme a la reducción en los costos de la mano de obra. Esto es particularmente importante por dos razones: el costo de la mano de obra a aumentado en un factor de 2.5 a 4 veces durante los últimos 10 años; el costo por hora en un robot, tomando en cuenta la depreciación, el pago de intereses, el mantenimiento, etc., se ha reducido en aproximadamente un 15% durante el mismo periodo. El aumento en los costos de mano de obra ha sido causado en gran medida por las mayores aspiraciones de los trabajadores, mientras que la disminución en el costo de los robots se ha debido a una mejor tecnología, especialmente a los rápidos avances en microelectrónica. La importancia de estas tendencias resulta obvia si se considera que un robot puede trabajar dos, o incluso, tres turnos al día. Lo anterior aunado a los incrementos potenciales de calidad y los ahorros en materiales, como en el caso de la pintura por rocío, en donde puede usarse una menor cantidad de pintura, ha llevado a una mayor concientización respecto a los beneficios económicos que se derivan de la introducción de robots industriales.

### **2.6. Manipulador o efector final**

Un efector final es un dispositivo que se conecta a la muñeca del brazo robot y permite al robot de uso general para realizar una tarea específica. Es a veces mencionado como el robot de la "mano". La mayoría de máquinas de producción requiere especial de accesorios

---

<sup>1</sup> Vicentine, 1983

## CAPITULO II

y herramientas diseñadas para una operación, y un robot no es ninguna excepción. El efector final que es parte del especial de herramientas para un robot. Por lo general, el efector final debe ser personalizado diseñado especialmente para la tarea que se llevará a cabo. Esto puede lograrse ya sea mediante el diseño y fabricación del dispositivo a partir de cero, o por la compra de un producto comercialmente disponible y se adapta a la aplicación. La empresa de instalar el robot puede hacer la propia obra de ingeniería o puede contratar los servicios de una empresa que hace este tipo de trabajo. La mayoría de los fabricantes de robots especiales de ingeniería grupos cuya función es diseñar y efectores y proporcionar servicio de consulta a sus clientes. Además, hay un número creciente de empresas de sistemas de robots que realizan todos o algunos de los trabajos de ingeniería para instalar sistemas de robot. Sus servicios normalmente incluyen el diseño del efector final.

Si bien un mismo robot industrial es, dentro de un límite lógico, versátil y readaptable a una gran variedad de aplicaciones, no ocurre así con los elementos terminales, que son en muchos casos específicamente diseñados para cada tipo de trabajo.

Se puede establecer una clasificación de los elementos terminales atendiendo a si se trata de un elemento de sujeción empleado. En la tabla 2.1 se representan las opciones, así como los usos más frecuentes.

Los elementos de sujeción se utilizan para agarrar y sostener los objetos y se suelen denominar pinzas. Se distingue entre las que utilizan dispositivos de agarre mecánico, y las que utilizan algún otro tipo de dispositivo (ventosas, pinzas, adhesivas, ganchos, etc.).<sup>2</sup>

En la elección o diseño de una pinza se han de tener en cuenta diversos factores. Entre los que afectan al tipo de objeto y de manipulación a realizar destacan el peso, la forma, el tamaño del objeto y la fuerza que es necesario ejercer y mantener para sujetarlo. Entre los parámetros de la pinza cabe destacar el peso (que afecta a la inercia del robot), el equipo de accionamiento y la capacidad de control.

El accionamiento neumático es el más utilizado por ofrecer mayores ventajas en simplificación, precio y fiabilidad, aunque presenta dificultades de control de posiciones intermedias. En ocasiones se utilizan accionamiento de tipo eléctrico.

---

<sup>2</sup> Dr. Tomas Salgado.

## CAPITULO II

Tabla 2.1. Sistemas de sujeción para robots

Tipos de sujeción	Accionamiento	Uso
Pinza de presión Desp. Angular Desp Lineal	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar.
Pinza de enganche	Neumático o eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Electroimán	Eléctrico	Piezas ferromagneticas.

Como se ha indicado, el elemento terminal de aprehensión debe ser diseñado con frecuencia a medida para la aplicación. Existen ciertos elementos comerciales que sirven de base para la pinza, siendo posible a partir de ellos diseñar efectores validos para cada aplicación concreta. Sin embargo, en otras ocasiones el efector debe ser desarrollado íntegramente, constituyendo si coste un porcentaje importante dentro de la aplicación.

En muchas aplicaciones el robot ha de realizar operaciones que no consisten en manipular objetos, sino implican el uso de una herramienta.

En la pinza se suele situar sensores para detectar el estado de la misma (abierto o cerrado). Se pueden incorporar a la pinza otro tipo de sensores para controlar el estado de la pieza, sistemas de visión que proporcionen datos geométricos de los objetos, detectores de proximidad, sensores de fuerza par, etc. <sup>3</sup>.

Normalmente, la herramienta está fijada rígidamente al extremo del robot aunque en ocasiones se denota a este de un dispositivo de cambio automático, que permita al robot usar diferentes herramientas durante su tarea. La tabla 2.2 muestra algunas de las herramientas más frecuentes.

Aparte de estos elementos de sujeción y herramientas más o menos convencionales, existen algunos muy interesantes y delicados. Por ejemplo, existen diversas realizaciones de pinzas dotadas de tacto o de dedos con falanges.

---

<sup>3</sup> Dr. Antonio Ramirez

## CAPITULO II

Tabla 2.1. Sistemas de sujeción para robots

Tipos de sujeción	Accionamiento	Uso
Pinza de presión Desp. Angular Desp Lineal	Neumático o eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar.
Pinza de enganche	Neumático o eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Electroimán	Eléctrico	Piezas ferromagneticas.

Como se ha indicado, el elemento terminal de aprehensión debe ser diseñado con frecuencia a medida para la aplicación. Existen ciertos elementos comerciales que sirven de base para la pinza, siendo posible a partir de ellos diseñar efectores validos para cada aplicación concreta. Sin embargo, en otras ocasiones el efector debe ser desarrollado íntegramente, constituyendo si coste un porcentaje importante dentro de la aplicación.

En muchas aplicaciones el robot ha de realizar operaciones que no consisten en manipular objetos, sino implican el uso de una herramienta.

En la pinza se suele situar sensores para detectar el estado de la misma (abierto o cerrado). Se pueden incorporar a la pinza otro tipo de sensores para controlar el estado de la pieza, sistemas de visión que proporcionen datos geométricos de los objetos, detectores de proximidad, sensores de fuerza par, etc. <sup>3</sup>.

Normalmente, la herramienta está fijada rígidamente al extremo del robot aunque en ocasiones se denota a este de un dispositivo de cambio automático, que permita al robot usar diferentes herramientas durante su tarea. La tabla 2.2 muestra algunas de las herramientas más frecuentes.

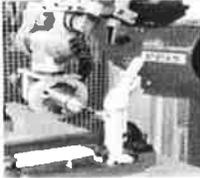
Aparte de estos elementos de sujeción y herramientas más o menos convencionales, existen algunos muy interesantes y delicados. Por ejemplo, existen diversas realizaciones de pinzas dotadas de tacto o de dedos con fálanges.

---

<sup>3</sup> Dr. Antonio Ramirez

## CAPITULO II

Tabla 2.2. Herramientas terminales para robots.

Nº	Tipo de herramienta	Comentarios	Figura
1	Pistola de pintura	Por pulverización de la pintura.	
2	Cañón laser	Para corte de material, soldadura o inspección	
3	Cañón de agua a presión	Para corte de material	
4	Pinza soldadura por puntos	Dos electrodos que se cierran sobre la pieza a soldar	
5	Soplete soldador al arco	Aportan el flujo de electrodo que se funde	
6	Atornillador	Suele incluir la alimentación de tornillos	
7	Fresa - lija	Para perfilar, eliminar rebabas, pulir, etc.	

### 2.7. Sistemas de accionamiento.

Los sistemas de accionamiento o impulsos suministran al robot el poder muscular necesario. Son dispositivos para conversión de energía, que transforman una potencia

## CAPITULO II

eléctrica, hidráulica o neumática en una potencia mecánica. Los elementos básicos de accionamiento pueden clasificarse en motores y actuadores; los primeros son capaces de presentar rotación continua, mientras que los segundos están limitados en su movimiento, ya sea lineal o giratorio.

### **2.7.1. Accionamiento hidráulico.**

Una de las principales ventajas del accionamiento hidráulico es la capacidad para generar fuerzas de gran magnitud, lo cual es posible dadas las elevadas presiones de trabajo de los actuales sistemas hidráulicos. No es raro encontrar presiones de hasta  $280 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  (280 Bar); con un cilindro de accionamiento con un diámetro de solamente 2 cm, esta presión puede generar una fuerza de 8800 N. Algunas de las aplicaciones con fuerzas de mayor magnitud se encuentran en la industria que trata metales, en donde las fojas pueden aplicar fuerzas de hasta 3MN.

La elevada relación fuerza-peso es otra importante ventaja del accionamiento hidráulico que resulta en particular atractiva en situaciones donde el peso es una característica fundamental de la actividad, como en el caso de aeronaves, misiles y robots. Los motores hidráulicos son mucho más pequeños que los motores eléctricos con la capacidad necesaria para generar la misma potencia., atribuyéndose nuevamente diferencias en cuanto a tamaño y peso a las elevadas presiones de trabajo del sistema hidráulico.

Así para una potencia dada, un actuador hidráulico que trabaja a alta presión requiere una velocidad de flujo de aceite muy baja; y, por lo tanto, puede ser bastante pequeño.

La rigidez de un accionador hidráulico es otra ventaja importante. El aceite es, para fines prácticos, incomprensible, lo que hace que los accionadores hidráulicos sean insensibles a alteraciones en la carga. Esta es otra razón más para su gran popularidad en las industrias aeroespaciales y de maquinado. La elevada rigidez también permite lograr un control muy preciso.

Las ventajas de gran potencia, elevada relación peso/potencia, gran rigidez y facilidad de control son opacadas hasta cierto punto por varios problemas prácticos, siendo los más serios:

- Los sistemas hidráulicos son costosos: la precisión en manufactura debe ser alta para mantener distancias de separación muy pequeñas entre las partes fijas y las

## CAPITULO II

partes móviles. Esto es necesario si se desea minimizar las fugas (y desperdicios de potencia).

- Dado que existe la posibilidad de fugas, puede resultar poco conveniente usar sistemas hidráulicos en entornos donde la higiene es importante, por ejemplo al tratar de alimentos.
- Es necesario contar con espacio para tubería requerida por el sistema.

### **2.7.2. Accionamiento neumático.**

Los primeros sistemas neumáticos utilizaban aire como elemento de trabajo, pero en la actualidad en algunas aplicaciones se emplean gases inertes y gases calientes.<sup>4</sup> Las presiones de trabajo están por lo general limitadas a 7.0 bar, aunque en el presente se están diseñando algunos sistemas para funcionar con 10 bar. La ineficiencia en la compresión de los gases y los peligros inherentes al almacenamiento de gases a alta presión hacen necesarias estas limitaciones.

El uso de aire comprimido como fuente de energía ha aumentado rápidamente durante los últimos 20 años y en la actualidad se acepta en todas las ramas de la industria. Sus ventajas, muchas de las cuales son compartidas por los sistemas hidráulicos, pueden resumirse de la siguiente manera:

- La mayoría de las plantas productivas tienen un suministro de aire comprimido a la mano.
- Los componentes neumáticos son poco costosos.
- Los componentes están siempre en existencia. La gama de válvulas es extensa y existen una gran variedad de tamaños de cilindros.
- Los componentes son confiables y su mantenimiento es sencillo y económico. El servicio por lo general puede llevarse a cabo en el campo, dado que solamente es necesario cambiar los sellos de las válvulas o los cojinetes de los cilindros.
- Los actuadores neumáticos no se queman cuando se atorán. Los actuadores hidráulicos también presentan esta ventaja.

---

<sup>4</sup> McCloy y Martin 1980

## CAPITULO II

- No existen riesgos de incendio cuando se emplea accionamiento neumático. Por ejemplo, pueden usarse en situaciones en donde el riesgo de una explosión impediría el uso de electricidad.
- Los sistemas neumáticos son limpios.

Por supuesto también existen ciertas desventajas asociadas a los sistemas neumáticos y es necesario considerarlas cuidadosamente antes de instalar equipo neumático.

- La producción de aire comprimido es costosa y esto debe tomarse en cuenta si la planta no cuenta todavía con una compresora. Desde el punto de vista de la potencia, esta es considerablemente más costosa que la eléctrica o la hidráulica.
- Es difícil lograr una precisión adecuada de alimentación debido a la naturaleza elástica del aire comprimido. En este aspecto no puede competir con los sistemas hidráulicos o eléctricos.
- La transmisión de señales de aire a través de la tubería es mucho más lenta que la transmisión de señales eléctricas a través de cables. Por lo tanto, si los tiempos de señalización son críticos y las líneas son de gran extensión (más de 10 m), deben utilizarse sistemas eléctricos.
- Los cilindros neumáticos ocupan gran cantidad de espacio y resultan costosos se desea obtener potencias considerables. Pueden generarse potencias más grandes en forma más conveniente mediante el uso de sistemas hidráulicos.
- Los sistemas a base de aire comprimido pueden ser muy ruidosos.

### 2.7.3. Accionamiento eléctrico

La mayoría de las personas están familiarizadas con la potencia eléctrica que con la potencia hidráulica, dado que la primera es la más común en los hogares y en la mayoría de los aspectos cotidianos. Con respecto a su aplicación a los robots, la energía eléctrica ofrece varias ventajas<sup>5</sup>:

- Los actuadores eléctricos son fáciles de controlar: proporcionan un rápido control de la posición y de la velocidad con un elevado nivel de precisión.
- Se obtienen fácilmente y son poco costosos.
- Es más fácil diseñar un sistema de cableado que uno de tubería.

---

<sup>5</sup> Kafrissen & Stephans, 1984

## CAPITULO II

- Los actuadores eléctricos tienen un funcionamiento silencioso.
- Los sistemas eléctricos son limpios.

Pero nuevamente, como en todas las áreas tecnológicas, existen varias desventajas por considerar:

- Las relaciones potencia/peso y par/peso son reducidas.
- Los pares pequeños requieren una gran cantidad de engranes y, debido al juego, se provocan problemas de control adicionales.
- La generación de arcos provoca riesgos de incendio: los actuadores eléctricos están, por lo tanto, eliminados de ciertas tareas como la aplicación de pintura por aspersión.
- La posibilidad de sufrir descargas eléctricas representa un riesgo de seguridad.

### 2.7.4. ¿Qué sistema de accionamiento es el mejor?

Las propiedades de los sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos descritas anteriormente permiten llegar a ciertas conclusiones relativas al uso potencial de cada una de estas formas de actuadores en el campo de los robots. Primero, es necesario distinguir entre actuadores directos e indirectos.<sup>6</sup> Los impulsores directos no tienen enlaces mecánicos entre el actuador y el eslabón del impulsor. Los cilindros y motores hidráulicos y neumáticos pueden usarse como actuadores directos debido a sus elevadas capacidades de generación de fuerzas y pares. Los directos tienen varias ventajas: son compactos, lo cual permite su instalación en las articulaciones de los robots; son sencillos y fáciles de mantener.

Los impulsores indirectos requieren una transmisión mecánica entre el actuador y el elemento impulsado, generalmente con el propósito de incrementar la fuerza y el par de salida. Estas transmisiones pueden adoptar la forma de engranes, tornillos sin fin, impulsores armónicos, bandas, cadenas, etc. La relación de engranes de los impulsores indirectos se encuentra generalmente en el rango de 50:1 a 100:1 y esto produce un sistema rígido, un sistema con transmisión de movimiento prácticamente unidireccional. Esta es una característica deseable en aplicaciones de maquinado y en aplicaciones que requieren movimientos rápidos a lo largo de distancias cortas. Los impulsores directos a base de

---

<sup>6</sup> Ray 1983

## CAPITULO II

potencia hidráulica muestran una cierta compresibilidad del fluido, características particularmente en los sistemas neumáticos y esta puede ser una desventaja en aplicaciones como las mencionadas. Los impulsores indirectos permiten el uso de servomotores de corriente directa, los cuales son silenciosos y eficientes.

Una de las principales desventajas del impulsor indirecto es el volumen y el costo de las transmisiones mecánicas asociadas. Además, el juego mecánico en estas transmisiones puede afectar la repetitividad y la estabilidad. Como las transmisiones están diseñadas para la reducción de velocidad de los motores eléctricos, los impulsores indirectos rara vez resultan adecuados para los robots de gran tamaño que requieren movimientos a alta velocidad. Estos robots generalmente necesitan impulsores hidráulicos, mientras que los robots pequeños requieren impulsores indirectos eléctricos.

Así que el decidir qué sistema para activación será el adecuado, es provisto no solo por el diseño del robot, sino también las necesidades que tenga el usuario final del mismo.

## **CAP. III.**

### **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA DANA CARDANES Y DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN QUE SE PRETENDE AUTOMATIZAR**

3.1. Ubicación geográfica y descripción de la empresa.

3.1.1. Antecedentes históricos.

3.1.2. Antecedentes de la empresa Cardanes.

3.1.3. Ubicación geográfica.

3.1.4. Descripción de la empresa.

3.2. Descripción del proceso.

3.2.1. Ubicación de la línea a automatizar.

3.2.2. Descripción del proceso.

3.2.2.1. Estructura del sistema.

3.3. Análisis de tiempos y movimientos.

3.4. El problema de balanceo de líneas de producción.

## CAPITULO III

### 3.1. Ubicación geográfica y descripción de la empresa.

#### 3.1.1. Antecedentes históricos.

La Corporación de Dana es un fabricante, distribuidor de productos para el ramo vehicular y productos industriales con 430 instalaciones de distribución y fabricación en 27 países alrededor del mundo. Dana actúa en tres segmentos comerciales principales: vehicular, posesiones industriales, y financieras. El sistema de dirección descentralizado de la compañía dirige operaciones mundiales por cuatro organizaciones regionales en Norteamérica, Sudamérica, Europa, y Asia Océano Pacífico. Desarrollándose concurrente a la industria automotor, Dana se ha adaptado a cambios de aquella industria y ha permanecido un líder en su campo. Otra distinción de la corporación es su 'orientación de consumación hacia la gente,' una herencia del antiguo presidente Rene C. McPherson, conocido por sus técnicas de dirección progresivas.

Tabulación 3.1 muestra aspectos más relevantes de la historia de la empresa.

Año	Descripción del suceso más relevante	Reseña grafica
1902	Clarence Spicer inventa la junta universal para sustituir la cadena y dispositivos de piñón usados entonces en coches	
1910	Spicer funda la Empresa manufacturera conjunta Universal Spicer en Plainfield, New Jersey	
1930	La compañía mueve su oficina central a Toledo, Ohio	
1945	Despide a 4000 trabajadores por una escasez de acero, y 1820 empleados renuncian por insatisfacción laboral	
1960	Dana se hizo uno de los proveedores independientes del mundo más grande de componentes automotores y repuestos con \$500 millones us en ventas	

### CAPITULO III

Tabulación 3.1 muestra aspectos mas relevantes de la historia de la empresa. (Cont).

Año	Descripción del suceso más relevante	Reseña grafica
1963	La compañía de Junta y Víctor Manufacturing fue adquirida	
1968	La compañía incluía a General Motors, Ford, International Harvester, Chrysler y American Motors, como principales clientes	
1969	Rene C. McPherson fue designado presidente de la compañía	
1980	La compañía compro 24 compañías fuera de su negocio de vehículos originales y las ganancias se elevaron a \$164 millones us	
1985	Southwood Morcott es designado nuevo presidente	
1993	El 29 por ciento de las ventas fueron para Ford y Chrysler	

#### 3.1.2. Antecedentes de la empresa Cardanes

El Grupo Spicer S.A. de C.V. inició sus operaciones en 1965 y en el año de 1970 debido al crecimiento de la industria automotriz (Programa 15/25) se decidió construir en la Cd. Santiago de Querétaro una planta para fabricar flechas cardán, la cual fue inaugurada el 18 de Octubre de 1971 con el nombre de Cardanes, S.A. de C.V. (Figura 3.1 y 3.2).

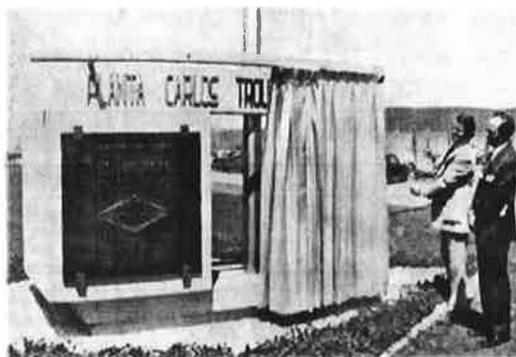


Figura 3.1 y 3.2: Inaguracion de Caradnes S.A de C.V. 1971

### CAPITULO III

En 1994 fue diseñada la flecha cardan de aluminio que se utiliza en la camioneta Suburban de GM. En el 2002 arranca la producción de componentes para ejes, los cuales son exportados a E.U.A. Debido a esto, la planta tuvo que ampliarse y se contrató más personal para que laborara en las nuevas líneas. La figura 3.3 muestra una vista aérea del interior de la planta en aquella época.



Figura 3.3. Interior Planta Cardanes

El 7 de Julio de 2006, el grupo americano Dana Corporation adquiere el 100% de las acciones de Cardanes, con lo cual se disuelve el joint venture denominado Spicer S.A. de C.V. que tenia con el grupo mexicano DESC S.A de C.V. Inicia el ciclo de Dana México planta Cardanes, la figura 3.4, muestra el complejo Dana división Cardanes actualmente.



Figura 3.4. Complejo Dana División Cardanes, Querétaro.

Debido al cambio de época y a los diversos problemas financieros, DANA decide trasladar plantas y líneas de producción de E.U.A. a CARDANES en México. Esto a su vez se ve reflejado en un aumento de fuentes de trabajo y DANA apuesta por México como su salvación para recuperar su capital.

**3.1.3. Ubicación geográfica.**

El complejo Dana situado en Santiago de Querétaro, Querétaro y localizado en el parque industrial Benito Juárez entre acceso 2 y acceso 3, está situada en XX Hectáreas, el área construida es de XX metros cuadrados, contando con edificios de oficinas administrativas, centro de entrenamiento, clínica de servicio médico, canchas deportivas, y otros servicios adicionales. La figura 3.5 muestra un croquis de localización de la empresa.

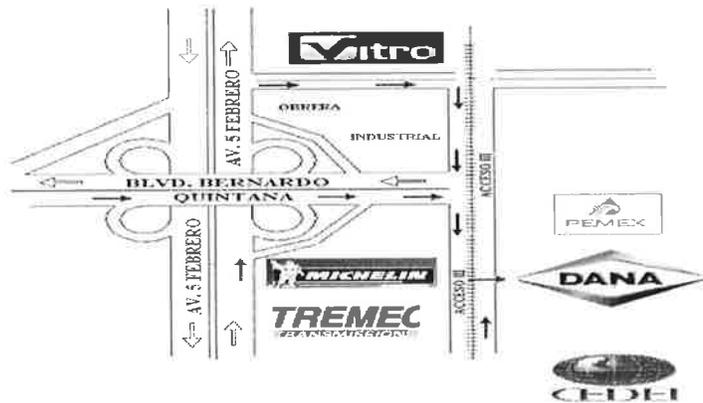


Figura 3.5. Croquis de localización de complejo Dana

El proceso productivo se divide en cuatro áreas principales siendo Yugos, Flechas, Espigas y Crucetas.

Tabulación 3.2. Descripción de las áreas productivas de la empresa

Nº	Nombre del área	Descripción técnica	Reseña grafica
1	Planta Cardanes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos principales: yugos deslizantes, yugo bola, yugo brida, flechas de dirección, flecha de aluminio, flecha serie 10, flecha SPL, crucetas, espigas.</li> <li>• Cuatro áreas, separadas por producto, mas el área de calidad, metrología.</li> <li>• Comedor</li> <li>• Servicio médico las 24 horas.</li> </ul>	

CAPÍTULO III

PROCESS FLOW MAGOG

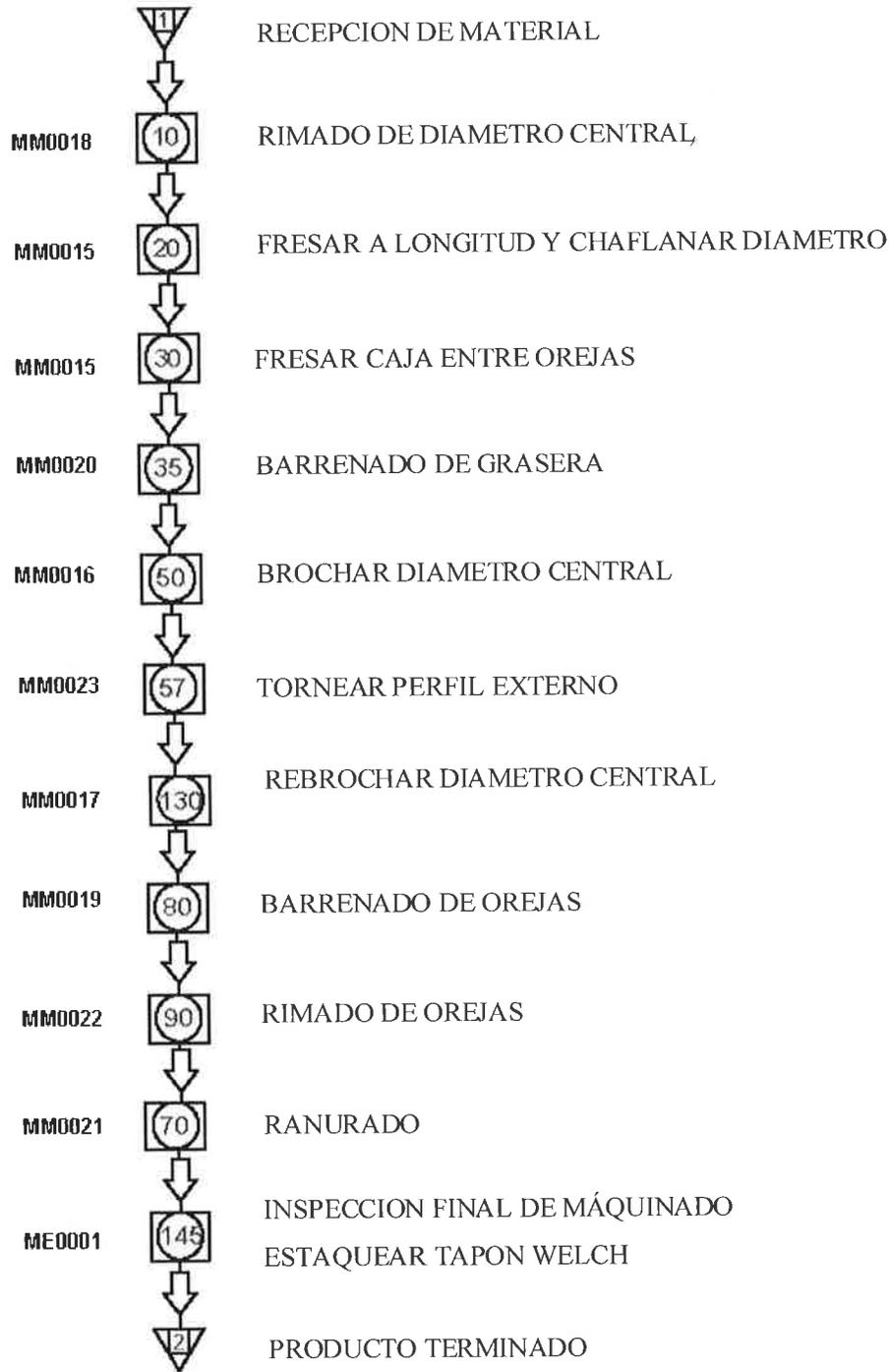


Figura 3.6. Diagrama de Flujo de Proceso

### CAPITULO III

En la figura 3.7. Se muestra la vista de localización de Layout de la línea a automatizar, así como de los códigos de cada una de las máquinas empleadas en el proceso de manufactura, la secuencia del flujo de las piezas, las delimitaciones de la misma, y la cantidad de operarios que en ella trabajan.

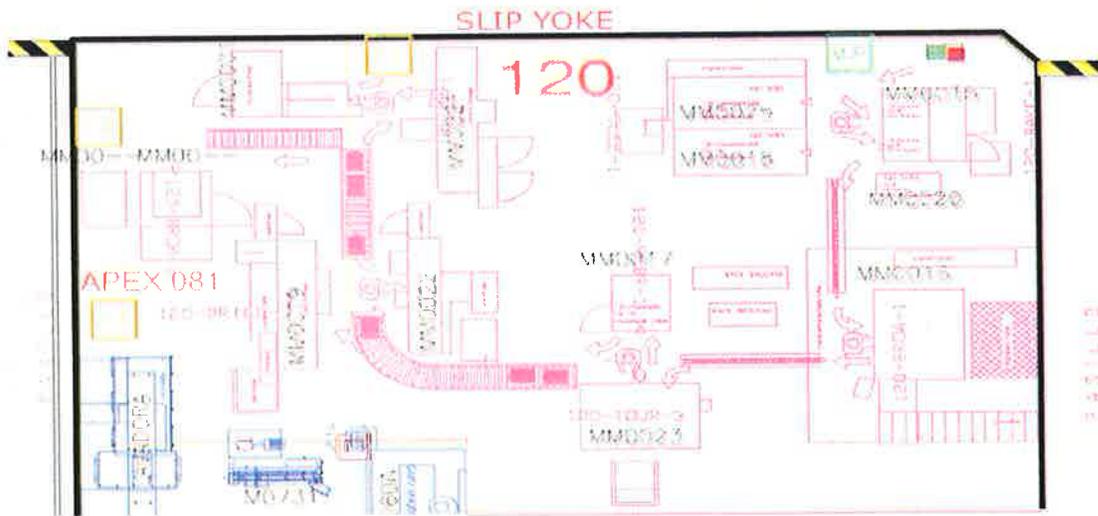


Figura 3.7. LayOut de localización de Línea 74 (120 Magog)

En la figura 3.8 se muestra la misma línea 74, pero en una forma de dibujo de CAD en 3D, en la cual se muestran las dimensiones reales de la línea, de cada máquina, las limitaciones y el flujo de las piezas en la línea.

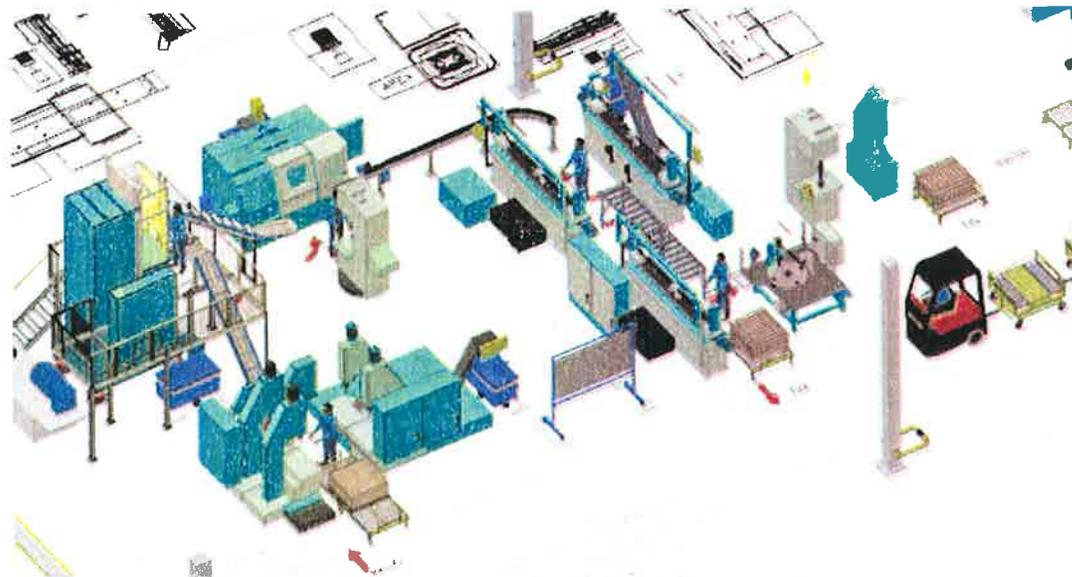


Figura 3.8. Imagen de CAD en 3D de la línea 74.

## CAPITULO III

### 3.2.2. Descripción del proceso

#### 3.2.2.1. Estructura del sistema

La tabulación 3.1, muestra la secuencia de operaciones de la línea de maquinado de yugos deslizantes, línea Magog, así como las tareas a realizar de cada estación.

Tabulación 3.3. Estructura del sistema de maquinado de yugos deslizantes, línea Magog

Nº	Nº de esta.	Tarea	Secuencia de operaciones	Fotografía
1	MM0018	RIMADO DE DIAMETRO CENTRAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador saca del stock los yugos</li> <li>• Carga el yugo en la máquina, y acciona botón de inicio</li> <li>• Baja taladro de rimado</li> <li>• Rimado termina regresa taladro a posición inicial, y se desactiva la operación</li> <li>• El operador retira la pieza, y coloca nueva pieza</li> </ul>	
2	MM0015	FRESAR A LONGITUD Y CHAFLANAR DIAMETRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador carga la máquina</li> <li>• Acciona botón de inicio</li> <li>• Se activa fresado a longitud</li> <li>• El operador retira la pieza y la coloca en su nueva posición</li> </ul>	
3	MM0015	FRESAR CAJA ENTRE OREJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador carga la pieza cambiando de posición</li> <li>• Se activa fresado de caja entre orejas</li> <li>• El operador retira pieza</li> </ul>	
4	MM0020	BARRENAR Y ROSCAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador carga pieza, dependiendo del número de pieza, o omite este punto</li> <li>• Se activa barrenado de agujero de aceite</li> <li>• El operador retira pieza y carga pieza en conveyer</li> </ul>	

CAPITULO III

Tabulación 3.3. Estructura del sistema de maquinado de yugos deslizantes, línea Magog  
(Continuación)

Nº	Nº de esta.	Tarea	Secuencia de operaciones	Fotografía
5	MM0016	BROCHAR DIAMETRO CENTRAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador retira pieza de conveyor y carga pieza a máquina</li> <li>• Se activa brochado de diámetro central</li> <li>• El operador retira pieza, checa brochado y monta pieza en conveyor</li> </ul>	
6	MM0023	TORNEAR PERFIL EXTERIOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador retira pieza de conveyor, carga pieza en máquina</li> <li>• Activa máquina de torneado del perfil exterior</li> <li>• Máquina desbasta perfil</li> <li>• El operario retira la pieza, bloqueando la máquina con pedal de seguridad</li> </ul>	
7	MM0017	REBROCHADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador introduce pieza en rebrochado, activa máquina</li> <li>• Máquina baja brocha suelta brocha</li> <li>• El operario retira pieza, y coloca la brocha nuevamente en su lugar</li> <li>• Coloca pieza en conveyor</li> </ul>	
8	MM0019	RECTIFICADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador retira pieza de conveyor</li> <li>• Carga pieza en máquina</li> <li>• Máquina rectifica pieza</li> <li>• El operador retira pieza</li> </ul>	

### CAPITULO III

Tabulación 3.3. Estructura del sistema de maquinado de yugos deslizantes, línea Magog  
(Continuación)

Nº	Nº de esta.	Tarea	Secuencia de operaciones	Fotografía
9	MM0022	RIMADO DE OREJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador introduce pieza en máquina</li> <li>• Máquina se activa y rima la parte exterior de las orejas</li> <li>• El operador retira la pieza, y la coloca en un pallet y la desliza por un conveyor manual</li> </ul>	
10	MM0021	RANURADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador introduce pieza en máquina</li> <li>• Máquina es activada y ranura la sección de las orejas.</li> <li>• El operador retira pieza</li> </ul>	
11	ME0001	INSPECCION FINAL DE MÁQUINADO, ESTAQUEAR TAPON WELCH Y PRUEBA DE FUGA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador coloca pieza en máquina y coloca tapón Welch, activa máquina</li> <li>• Pieza entra en máquina, se presiona el tapón hasta estaquear, y se prueba fugas en la pieza</li> <li>• El operador retira pieza de máquina y la coloca en un limpiador mediante presión neumática (si este paso se omite antes de colocar la pieza en stok se activa una alarma del pocayoki)</li> <li>• El operador retira pieza y la coloca en stok, rocía liquido anti oxidante, y manda stok a almacén</li> </ul>	

### 3.3. Análisis de tiempos y movimientos.

*El principio de la división de la mano de obra, cuando se aplica el armado en gran escala de artículos manufacturados, toma la forma de la línea de montaje progresivo. El trabajo se divide en tareas individuales, se asigna en la línea a operarios consecutivos y, a medida que el producto se mueve a lo largo de ella, cada uno le agrega su contribución de trabajo. El proceso de prorratar el trabajo de montaje entre los operarios, se conoce con el nombre de "balanceo o equilibrio de la línea".*

El concepto de balanceo de líneas, es el proceso de distribuir el trabajo de montaje entre operarios. Este proceso de balanceo de una línea de montaje es la distribución de tiempos dentro de la misma actividad, principio de la división de la mano de obra. Este concepto se ha empleado en diferentes industrias como la de automóviles, componentes electrónicos, teléfonos etcétera.

El balanceo o equilibrio de línea, puede tener los siguientes casos:

- 1 Conocidos los tiempos de las operaciones, determinar el número de operarios necesarios para cada operación.
- 2 Conocido el tiempo de ciclo, minimizar el número de estaciones de trabajo.
- 3 Conocido el número de estaciones de trabajo, asignar elementos de trabajo a la misma.

#### TERMINOLOGIA DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN

- Una estación de trabajo :

Es un lugar determinado en el que se ejecuta una cantidad dada de trabajo. Las estaciones de trabajo .de la línea de montaje generalmente están operadas por un solo trabajador; sin embargo, en turnos cortos, un trabajador podrá operar más de una estación, y en líneas de grandes productos (de aviación, por ejemplo), las estaciones de trabajo frecuentemente están operadas por varios trabajadores.

- Un elemento racional mínimo de trabajo:

Es un elemento indivisible del trabajo, o unidad natural mínima más allá de la cual el trabajo de montaje no puede dividirse racionalmente.

Por ejemplo, un elemento racional mínimo puede incluir el siguiente patrón de movimiento: alcanzar una herramienta, tomarla, colocarla en posición, ejecutar una tarea única, regresar la herramienta. En la práctica tales elementos de trabajo se consideran indivisibles, puesto

### CAPITULO III

que no pueden dividirse entre dos operarios, ya que esto crearía un trabajo innecesario en la forma de manejo extra.

- El contenido total de trabajo

Es la suma de la cantidad de trabajo del montaje total. El tiempo del contenido total del trabajo, es el tiempo requerido para ejecutar el contenido total de trabajo. El tiempo del contenido de trabajo de una estación, es el tiempo requerido para ejecutar el contenido de trabajo de dicha estación; este tiempo también se conoce como tiempo de operación.

- El tiempo de ciclo

Es el tiempo que el producto consume en cada estación de trabajo cuando la línea se mueve a su paso normal, o a eficiencia del 100%. Dicho en otras palabras, es la cantidad de tiempo empleado entre unidades sucesivas, a medida que ellas se mueven a lo largo de la línea y a su paso normal. Ampliando esta definición, el tiempo de ciclo es el máximo tiempo de operación. Juntos el tiempo de ciclo y el paso al que opera la línea, determinan la tasa a la que los productos fluyen fuera de la línea.

- El tiempo de retraso del balanceo

Es la cantidad de tiempo ociosa en la línea debido a la imperfecta división del trabajo entre las estaciones. Puesto que parece que rara vez se puede dividir el trabajo uniformemente entre todos los operarios de la línea, aquellos que tengan tareas más cortas, tendrán algún tiempo ocioso, el que es una medida del desequilibrio de la línea.

En la práctica, aquellos operarios que tengan tareas de trabajo menores, realmente no dejarán un tiempo ocioso al final de cada ciclo, sino que trabajarán continuamente a un paso más lento; sin embargo, el efecto, medido en términos de costo de mano de obra, es el mismo si ellos estuvieran ociosos una parte del tiempo y el resto lo trabajarán más rápidamente. Si todos los tiempos de contenido de trabajo de las estaciones son iguales, no hay desequilibrio, y el grado o porcentaje del mismo, simplemente llamado "retraso del equilibrio", es la relación existente entre el tiempo ocioso promedio en las estaciones y el tiempo máximo de operación. Dicho de otra manera, el retraso del equilibrio es la relación entre el tiempo ocioso total y el tiempo total consumido por el producto al moverse desde el principio hasta el final de la línea.

### 3.3.1. El problema de balanceo de líneas de producción.

Una línea de producción es una secuencia de estaciones de trabajo, que están frecuentemente conectadas por un sistema de manejo de materiales, la cual existe con el propósito de maquinar o ensamblar un producto final. El proceso consiste en una serie de operaciones, cada una compuesta por diversas tareas. Una tarea consiste en un conjunto de elementos básicos e indivisibles en forma lógica en la figura 3.8 se describe la estructura de las operaciones en una línea de producción.

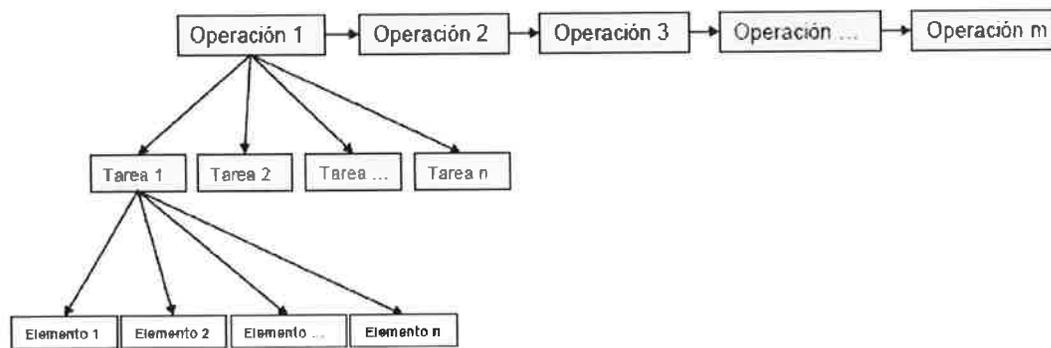


Figura 3.8. Estructura de las Operaciones en la Línea de Producción.

Por ejemplo, al trabajar con una máquina se consideran elementos de carga, tiempo de máquina y tiempo de descarga como el conjunto indivisible que compone la tarea de procesar la pieza de máquina. Otras tareas relacionadas con esta operación pueden ser la preparación de la pieza antes de colocar en la máquina y la inspección de la pieza luego de ser procesada.

El orden en el cual se llevan a cabo las diferentes tareas es en función de restricciones de precedencia debido a las características del producto. Uno de los retos en el proceso de balanceo de línea es la definición de las tareas y sus precedencias. Tareas con larga duración resultan con menos flexibilidad durante el proceso de balancear las cargas de trabajo y reducir la ociosidad en las estaciones es de trabajo.

El proceso de definir las precedencias de las tareas requiere del conocimiento vasto de las características de los procesos de manufactura y de las operaciones en la línea. Con frecuencia se establecen restricciones de precedencia impuestas solo por el modo acostumbrado de llevar a cabo las tareas. El resultado final es una reducción en la flexibilidad del proceso de balanceo de cargas de trabajo.

### CAPITULO III

El problema de balanceo de línea tradicional consiste en la asignación oportuna de las tareas a las estaciones de trabajo de manera que se optimicen los recursos disponibles. Cada tarea tiene una duración requerida para ser completada y asociada a ellas tiene unas restricciones de precedencia. Las restricciones de precedencias se refieren a que cada tarea puede ser asignada solo después de que todas sus tareas predecesoras han sido asignadas a estaciones previas. El conjunto de tareas asignadas a una estación constituyen la carga de trabajo de la estación. El tiempo acumulado de las tareas es llamado tiempo de estación. Un balanceo de línea es factible solo si el tiempo de las estaciones no excede el tiempo de ciclo de la línea. En aquellos casos donde el tiempo de la estación resulte ser más pequeño que el tiempo de ciclo, la estación tiene un tiempo de ocio. Este es el resultado de la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de la estación, como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$TO_k = TC - T(Sk) \tag{3.1}$$

Donde;

K = Número de la estación

TO<sub>k</sub> = Tiempo de ocio de la estación k

TC = Tiempo de ciclo de la línea

T(Sk) = Carga de trabajo (unidades de tiempo) asignadas a la estación k

Sk = Conjunto de tareas asignadas a la estación k

T(Sk) ≤ TC Restricción en la carga de trabajo

Diversas versiones del problema de balanceo de una línea han surgido de la variación de los objetivos como se demuestra en la tabla 3.4.

Versión	Tiempo de Ciclo	Número de Estaciones
SALBP - F	Fijo	Fijo
SALBP - 1	Fijo	Mínimo
SALBP - 2	Mínimo	Fijo
SALBP - E	Mínimo	Mínimo

Tabla 3.4. Versiones de SALBP extraído de Scholl A, Becker, C.

### CAPITULO III

El problema de balanceo de línea simple tipo F (SALBP – F) tiene como objetivo obtener una solución factible para una combinación determinada de número de estaciones y tiempo de ciclo. Las versiones SALBP-1 y SALBP-2 tienen una dual interrelación debido que la primera versión se esfuerza por minimizar el número de estaciones con el tiempo de ciclo fijo, mientras la segunda versión minimiza el tiempo de ciclo para un determinado número de estaciones de trabajo. Esta segunda versión busca maximizar el nivel de producción de la línea. La versión SALBP-E es el problema mas general donde se maximiza la eficiencia de la línea mientras que simultáneamente se minimizan el tiempo de ciclo y el número de estaciones de trabajo.

En las últimas tres décadas, nuevas metodologías han sido desarrolladas con el propósito de obtener mejores soluciones del problema de balanceo de línea. Algunas de estas metodologías se describen a continuación.

Klein y Scholl, desarrollan el procedimiento de ramificar y acotar (“branch and bound”) para el problema de balanceo de línea simple tipo 2 (SALBP-2). Este problema es NP-complejo (“Non-deterministic Polynomial time”)<sup>7</sup>. Es decir que el uso de algoritmos para este tipo de problemas requiere un tiempo computacional excesivo. Por lo tanto, se opta por una técnica heurístico que no garantiza la obtención del óptimo, pero si genera una buena solución en un tiempo de computación más razonable. Esta investigación tiene como objetivo asignar las tareas a un número determinado de estaciones de trabajo con el fin de maximizar la tasa de producción. Para obtener una solución factible se requiere computar el límite inferior y superior del tiempo de ciclo, y de esta manera el modelo por medio de iteraciones comprueba si la asignación de tareas es factible de acuerdo al tiempo de ciclo definido dentro de dicho rango. La técnica utilizada para determinar el rango del tiempo de ciclo, es el método de Limite Inferior Local, para el cual se definen reglas de dominio y la regla de la máxima carga. Los investigadores realizaron una evaluación comparativa del método del Límite Inferior o “Lower Bound Method” (LBM), Búsqueda Binaria o Binary Search (BS), Fibonacci and Binary Search (FBS) y Búsqueda Binaria con predeterminado punto de entrada o Binary Search with Prespecified Entry Point (EBS). Los resultados computacionales demostraron que el método BS alcanzó soluciones aceptables para todo los problemas. Los métodos LBM y FBS, si bien para muchos ejemplos funcionaron bien,

---

<sup>7</sup> Klein & Scholl

### CAPITULO III

fallaron en mejorar soluciones iniciales factibles para problemas complejos. Por último, para el método de EBS, no es ventajosa la selección inicial de un tiempo de ciclo debido a que este puede no ser apropiado. El método EBS no logra mejorar el tiempo de ciclo inicial determinado en aquellos casos donde este es demasiado pequeño o toma mucho tiempo en encontrar la solución.

Goldberg et al. Utiliza la metodología de algoritmos genéticos (GA) para obtener soluciones óptimas de problemas complejos. Es basado en la manipulación de una población de soluciones por los operadores genéticos tales como selección, recombinación y mutación. Presenta la adaptación del problema general de balanceo de línea o SALBP. Los operadores genéticos, están codificados en forma de cromosomas y estos a su vez consisten en una secuencia de genes. Esta metodología es más relevante para los problemas de balanceo de línea tipo 2 o tipo E. Se desarrolla la metodología para resolver el problema de balanceo de línea SALBP-2. Los resultados obtenidos demuestran ser competitivos en comparación con los resultados obtenido con otras metodologías como Búsqueda Tabú o TS. Los autores recomiendan como trabajo futuro, resolver el problema tipo E utilizando algoritmos genéticos.<sup>8</sup>

Scholl y Voß desarrollan y examinan a fondo una búsqueda tabú o “Tabú Search” (por sus siglas en inglés TS), para el problema de balanceo de línea simple tipo 2 (SALBP-2). La solución inicial se puede determinar por cualquier procedimiento o aleatoriamente. Se ejecuta una estrategia local de búsqueda, donde la mejor estrategia apta se aplica en cada iteración.<sup>9</sup> Cuando ocurre conflicto y no es posible la asignación de tareas a estaciones, recomiendan una estrategia para mover sistemáticamente las tareas predecesoras y sucesoras lejos de las tareas críticas. Los experimentos computacionales demuestran que el procedimiento de los TS consigue resultados mucho mejores que procedimientos constructivos. Una extensión del procedimiento de TS para el problema de balanceo tipo 2 con mezcla de productos es dado por Pastor et al. Esta investigación tiene como objetivos maximizar la tasa de producción, hallar el tiempo de ciclo igual para todos los modelos, distribuir equitativamente la carga de trabajo en todas las estaciones, y finalmente minimizar la dispersión entre las tareas asignadas del trabajador en cada uno de los

---

<sup>8</sup> Goldberg et Al

<sup>9</sup> Scoll & VoB, Ed. 27

### CAPITULO III

diferentes modelos<sup>10</sup>. Es decir las tareas comunes de los diferentes modelos son asignados a la misma estación.

Karabati y Saym, consideran el problema de balanceo para una línea con mezcla de productos la cual opera dentro de una secuencia cíclica. El conjunto mínimo de modelos o “Minimal part set” (por sus siglas en ingles MPS) es la colección de los diferentes modelos que son ensamblados con más frecuencia. Los MPS se producen repetitivamente usando la misma secuencia, la cual es llamada secuencia cíclica. El problema consiste en una línea de ensamblaje con ambiente de transferencia sincronizada de los componentes entre las estaciones. El objetivo del balanceo de línea es minimizar el tiempo de ciclo total incorporando la secuencia de producto. El tiempo de ciclo total se refiere a la suma del tiempo de subciclo de cada modelo.<sup>11</sup> Los investigadores describen la solución mediante un modelo matemático que combina múltiples modelos. Como solución aproximada al problema original proponen una formulación alterna que sugiera la minimización del tiempo máximo del subciclo.

McMullen y Tarasewich [1] se basan en la técnica de las hormigas con el fin de tratar efectivamente el problema de balanceo de la línea de ensamblaje tipo 1 o SALBP-1. Los factores que se tienen en cuenta son: estaciones en paralelo, tiempo de duración de tareas estocásticos y mezcla de productos. Esta nueva metodología es inspirada en el comportamiento social de las hormigas, con el fin de distribuir las tareas entre trabajadores y de esta manera las medidas de desempeño son optimizadas. Los resultados obtenidos son usados para simular la corrida de producción con el fin de obtener la medida de desempeño (Tiempo de ciclo). La técnica de las hormigas es comparada con los resultados de otros heurísticos como Simulación Recocida o “Simulated Annealing”. La comparación demuestra que la técnica de las hormigas es competitiva en relación a los otros métodos heurísticos, en términos al tiempo de ciclo.<sup>12</sup>

Merengo, Nava y Pozzetti [1] estudian y analizan el problema SALBP-1 para líneas de ensamblaje manuales con mezcla de productos. Presentan una nueva metodología de balanceo y secuenciación la cual tiene como objetivo minimizar el número de estaciones de

---

<sup>10</sup> Pastor et Al, Ed. 28

<sup>11</sup> Karabati & Saym

<sup>12</sup> McMullen & Tarasewich, Ed. 1

### CAPITULO III

trabajo. La metodología indirectamente minimiza la tasa de trabajos incompletos y reduce el trabajo en proceso (WIP ó work-in-process). Se desarrollaron cuatro versiones de un heurístico de balanceo donde cada versión corresponde a diferentes combinaciones de restricciones y de funciones de balanceo horizontal con el fin de comparar los resultados obtenidos y seleccionar el mejor.<sup>13</sup> Esta necesidad se ha traducido en lograr una mejor integración entre el diseño y la administración de la línea de ensamblaje de tal manera que facilita la planificación y manejo, con especial énfasis en los problemas relacionados con la generación de unidades incompletas.

Las metodologías sugeridas se han diseñado especialmente para líneas de flujo continuo, es decir aquellas líneas de ensamblaje que tienen un sistema de transporte donde las unidades se mueven a una velocidad constante a lo largo de la línea. Esta metodología también se puede adaptar a otro tipo de líneas de ensamblaje.

Carnahan, Norman y Redfern, incorporan en el problema de balanceo de línea tipo 2 o SALBP-2 la carga física impuesta en el operador por la demanda del producto.<sup>14</sup> La Figura 3.9 se presenta un balanceo de una línea, donde el flujo de materiales se dirige en una sola dirección. Las tareas están representadas por números. Estas pueden ser asignadas solo a una estación de trabajo. Las tareas predecesoras son asignadas a una estación o a las estaciones anteriores a esa.

Una consecuencia importante de establecer el balanceo en una línea de ensamblaje basado solamente en el tiempo de operación de las tareas es que los trabajadores podrán estar sobrecargados físicamente lo cual puede conducir a desórdenes músculo-esquelétales. Este término es usado para describir enfermedades y desórdenes que afectan los músculos, tendones, ligamentos, cartílagos, nervios y vasos sanguíneos del cuello y extremidades superiores. Con respecto al balanceo de una línea, la asignación de las tareas en las estaciones de trabajo puede resultar en la presencia de riesgo al sistema músculo-esqueletal.

---

<sup>13</sup> Merengo, Nava & Pozzetti, Ed. 1

<sup>14</sup> Camahan, Norman & Redfern, Ed. 1

## Flujo de Materiales

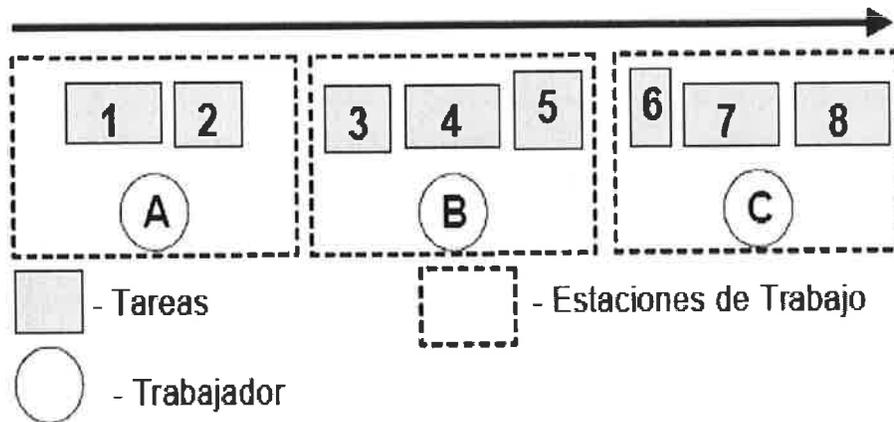


Figura 3.9. Configuraciones de una Línea de producción.

Con el fin de encontrar una solución óptima al problema de balanceo de línea utilizan tres heurísticos: (i) Rango Heurístico, (ii) Algoritmo genético combinatorio, y (iii) Algoritmo genético para el problema del espacio. Los resultados sugieren que es posible crear líneas de ensamble que incorporen la producción y riesgos físicos impuestos por la demanda. El Algoritmo genético para el problema del espacio arrojó mejores resultados en el balanceo debido a que minimiza el tiempo de ciclo y carga física de trabajo asignada a los trabajadores.

Malakooti, Malakooti y Kumar, consideran el problema de balanceo de línea con filas internas o “buffer” tanto para un criterio de decisión como para múltiples criterios de optimización. Las fallas en las estaciones de trabajo y otras circunstancias pueden tener como resultado un tiempo de ocio innecesario en la línea de producción. Con el propósito de mejorar la tasa de producción del sistema se colocan entre cada par de estaciones una fila con capacidad limitada.

Estas filas internas o “Buffer” son unidades de almacenamiento entre cada par de estaciones. Estas amortiguan el impacto de problemas en la línea y como consecuencia aumentan la capacidad de la línea de ensamblaje. El costo total se obtiene de la suma del costo de operación y el costo de las filas. El costo de operación se calcula de igual forma que en Malakooti: El costo de las filas es igual al número de estaciones multiplicado por el tamaño de las filas y por el costo de mantenimiento y operación de una unidad en la fila. El

### CAPITULO III

tamaño de las filas es obtenido por la eficiencia de la línea y  $C_k$  que es una constante dada para un determinado número de estaciones. Se desarrolla un heurístico para resolver el problema, presumiendo que todas las estaciones tienen un buffer con la misma capacidad. Los resultados obtenidos arrojan un conjunto de alternativas y demuestran que la mejor alternativa resultó del método de criterios múltiples. Malakooti y kumar desarrollan un sistema experto multi-objetivo para el problema de balanceo de línea. Estos seleccionaron el método de inteligencia artificial para lograr el objetivo. Esta investigación considera los mismos parámetros y presunciones que Malakooti. El sistema es una herramienta muy valiosa que fue construida con una diversidad de métodos para el balanceo de línea.

En la tabla 3.5 se muestra el resumen de la búsqueda literaria sobre metodologías de balances de líneas para producción industrial.

Tabulación 3.5 Resumen de la Metodologías de Balances de Líneas.

Referencia	Tipo de SALPB	Método	Estaciones y tareas en paralelo	Costo en función objetivo	Observaciones
Klein y Scholl et al. 1996	2	Ramificar y Acotar	-	-	-
Goldberg et al.	2	Algoritmos genéticos	-	-	
Scholl y VoB et al. 1996	2	Búsqueda Tabú	-	-	
McMullen y Tarasewich et al. 2003	1	Técnica de Hormigas	-	-	
Pastor, R, Andres, C., et al. 2002	2	Búsqueda Tabú	-	-	El problema de balanceo de una mezcla de producto con adicionales objetivos.
Karabati y Saym et el al. 2003	2	Heurístico	-	-	El heurístico minimiza el tiempo máximo sub ciclo.

CAPITULO III

Tabulación 3.5. Resumen de la Metodología de Balances de Líneas (cont inuación).

Referencia	Tipo de SALPB	Método	Estaciones y tareas en paralelo	Costo en función objetivo	Observaciones
Carnahan, b., Norman, B., y Redfern, M., et al.	2	Heurístico	-	-	Consideran los criterios físicos de la demanda.
Merengo, Nava y Pozzetti et al. 1999.	1	Heurístico	-	-	Líneas de ensamble manuales con mezclas de producto.
Amen et al. 2000	1	Método exacto	-	Costo por unidad de producto.	Incluye costo de capital por estación.
Amen et al. 2001	1	Heurístico	-	Costo por unidad de producto	Incluye costo de capital por estación.
Malakooti et al. 1991	1	Heurístico	-	Costo de operaciones	Modelo de múltiples criterios de decisión
Malakooti et al. 1994 y Malakooti y Kumar et al 1996	1	Heurístico	-	Costos de Buffer	Modelo de múltiples criterios de decisión
Rosenberg y Ziegler et al. 1992	1	Heurístico	-	Costos agregados de las estaciones	El método de la tasa de pago o "Wage-Rate"
Pinto et al. 1975	1	Ramificar y Acotar	Si	Costos de salarios regulares y horas extras	
Pinto et al. 1981	1	Ramificar y acotar	Si	Costos de facilidades y costos de estaciones de trabajo	

### CAPITULO III

Tabulación 3.5. Resumen de Metodologías de Balanceo de Líneas (continuación).

Referencia	Tipo de SALPB	Método	Estaciones y tareas en paralelo	Costo en función objetivo	Observaciones
Bard et al. 1989	1	Programación Dinámica	Si	Costos de las operaciones en paralelo	Tiene en cuenta el tiempo muerto de o tiempo necesario para transportar la pieza entre estaciones
Buchan & Rubin Ovitz et al. 2002	1	Ramificar y Acotar	Si	Costo total	Los costos incluyen costos de equipo y de estaciones en paralelo.
Vilarinho & Simaria et al. 1997	1	Simulación de recocido.	Si	Costos de estaciones en paralelo	Restricciones de Zonificación.
Askin & Zhou et al. 2002	1	Heurístico	Si	Costos de equipo/herramientas	Línea de ensamblaje para mezcla de productos.

Para entender los tiempos improductivos tendríamos lo siguiente en los cuales estos están compuestos por:

- Preparación de las máquinas.
- Preparación de insumos.
- Falta de material.
- Cambios de montaje.
- Traslados.
- Programación insuficiente.
- Instrucciones insuficientes.
- Información insuficiente.
- Daños mecánicos.
- Re-Procesos.
- Falta de polivalencia.

### CAPITULO III

Para atacar estos tiempos improductivos se requiere planear, programar y controlar los diferentes procesos y actividades que siguen un lote (desde que entra hasta que sale de la planta); aparte de las actividades de soporte, almacenamiento, mantenimiento y organización en general de la empresa.

**CAP. IV.**  
**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE OPERACIÓN DEL  
ROBOT FANUC QUE SE INSTALARÁ.**

- 4.1. Descripción básica.
- 4.2. Beneficios.
  - 4.2.1. Características de la flexibilidad.
  - 4.2.2. Características mecánicas.
  - 4.2.3. Funciones de control.
  - 4.2.4. Características del software.
  - 4.2.5. Opciones.
- 4.3. Vistas de dimensiones.
  - 4.3.1. Vista isométrica.
  - 4.3.2. Vista de base.
  - 4.3.3. Vista de placa de montaje.
  - 4.3.4. Modulo de control.
  - 4.3.5. Vista superior.
  - 4.3.6. Vista lateral.
  - 4.3.7. Vista frontal.

#### **4.1. Descripción básica.**

FANUC Robotic's S-420i esta línea de robots está diseñado para obtener el máximo rendimiento y fiabilidad en el taller de carrocería de automóviles y cuenta con el apoyo de una amplia aplicación de tecnología y de servicios / partes de red.

El S-420i cuenta con un único controlador integrado, SIXAXIS y una construcción modular flexible, servo eléctrico impulsado por el diseño para la alta velocidad y los procesos de carga pesada.

S-420i, la solución para:

- Automotriz-soldadura por puntos y el cuerpo de montaje.
- General industrial soldadura por puntos.
- Manejo de materiales.

#### **4.2. Beneficios**

- El sobre de trabajo permite tratar de grandes procesos de fabricación.
- El diseño de robot permite la conversión de un modelo al otro.
- Una unidad mecánica combinada y el regulador del robot reduce el espacio, el alambrado de punto a punto y los gastos de instalación.
- Las mínimas partes mecánicas/eléctricas aumentan la fiabilidad.
- Las altas velocidades de movimiento reducen el tiempo entre soldaduras.
- 360° Eje 1 rotación.
- El utilizar poder/señal/líneas aéreas de Usuario interno para armar para fiabilidad aumentada.
- "Fácil de aprender" y aplicación de uso de paquetes de programación.
- "Cambio Rápido" el gabinete electrónico reduce el tiempo de indisponibilidad a menos de 15 minutos.
- El diseño de brazo de menor peso permite una colocación más rápida.
- Un diseño de brazo probado en más de 13 000 instalaciones de robot S-420.

#### **4.2.1. Características de la flexibilidad**

- Extensión del brazo, la muñeca de carga pesada, cuña de pedestal, la proporción de reducción y módulos equilibrados permiten al robot simple conversión a un único punto de soldadura, montaje en rack, brazo largo o tipos de trabajo pesado.
- Sistema de entrada-salidas Flexible del sistema interno de control.
- Bloques distribuidos de E / S para reducir el cableado.

#### **4.2.2. Características mecánicas**

- Prevé la construcción mecánica precisa para la posición y movimiento de alta velocidad.
- Paso directo en todos los ejes con los resultados más altos de fiabilidad y mantenimiento reducido.
- RV- Los reductores de velocidad proporcionan el movimiento suave en todas las velocidades y una larga vida.
- Un diseño modular simple con pocos componentes.
- Los rodamientos y unidades selladas brindan una mayor protección y mejoran la confiabilidad.
- Codificador de posicionamiento absoluto de serie.
- Eje de torsión de muñeca y la inercia de movimiento permite que la velocidad nominal con grandes instrumentos y herramientas.
- Los reductores de velocidad huecos RV únicos simplifican movimiento del cable.
- El panel remoto del operador aparte de ser compacto reduce los requisitos de espacio de piso.
- Cintura de montacargas montada entre aros pueden utilizarse para periféricos y montaje de transformador de soldadura.
- Opción de brazo compacto para espacios reducidos.

#### **4.2.3. Funciones de control**

- El Contralor proporciona una instalación rápida r, puesta en marcha, mantenimiento y solución de problemas.
- Los programas de tiendas en formato DOS de IBM.
- La utilidad de un TCP incorporado permite la configuración especial sin fixturing.

## CAPITULO IV

- Fácil de aplicar al usuario multitarea en el entorno de programación.
- Seis ejes de servomecanismo para conducir y placa de control único maximiza la integración y la fiabilidad.
- Distribución de bloques de I/O para de eliminar costos en cables conductores.
- Con el sistema regulador del Robot conectado a la interfaz de controlador del PLC, periféricos de control, la válvula de paquetes, robots y programas de formación aumenta la facilidad de los usuarios.
- Control de movimiento de avance TurboMove para el aumenta del rendimiento.

### 4.2.4. Características del software

- El Teach Pendant usa órdenes en inglés controladas por un menú claro, de funciones específicas incorporadas.
- Los comandos en Inglés, los comentarios, definidos por el usuario correr marcos y la coherencia permiten la velocidad de configuración de rutas y la programación más rápida y fácil.
- Los paquetes de herramienta permiten los ajustes de posición y velocidad en los ciclos de robot.
- La tecla SpotTool panel del teach pendant reduce botones alambrados así como interruptores y luces indicadoras.
- Otras funciones de software estándar incluyen:
  - o Alarma de registro y de diagnóstico.
  - o Fácil configuración o un sistema de robot simple.
  - o Producción vigilada.
  - o Utilidades de archivos.
  - o Menú en ventanas.
- La interface opcional del ordenador personal de la célula SpotWorks complementa la funcionalidad del regulador y ofrece las siguientes características:
  - o Causa y recuperación de fallas críticas de diagnóstico.
  - o Editor de Tres dimensiones.
  - o Apoyo a la conectividad del PLC.
  - o Soldado del controlador a la red de apoyo.
  - o Manuales en línea.

## CAPITULO IV

- Conexión directa de PC en la red de plantas.

### 4.2.5. Opciones.

- I/O de l usuario del brazo interno, cableado de alimentación, y alimentación de aire.
- Ajuste del marco de Herramienta.
- Comunicaciones Ethernet y RS-232.
- TCP remoto y programación de control de jogging (equilibrio).
- Gabinete de montaje remoto con 7m (23 pies) o 14m (46 pies) de cables.
- CSA opción de aprobación.

### 4.3. Vistas de dimensiones.

#### 4.3.1. Vista Isométrica.

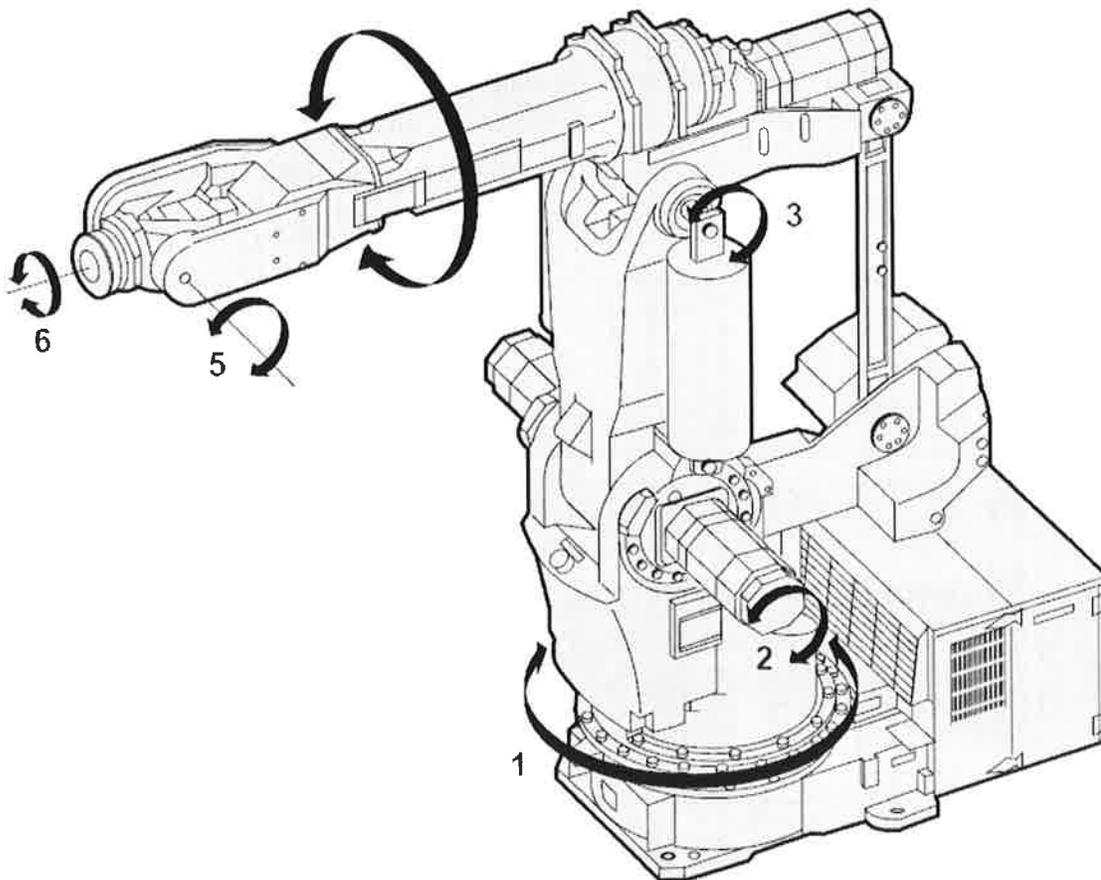


Figura 4.1 Vista isométrica del robot Fanuc S-420 i

4.3.2. Vista de base

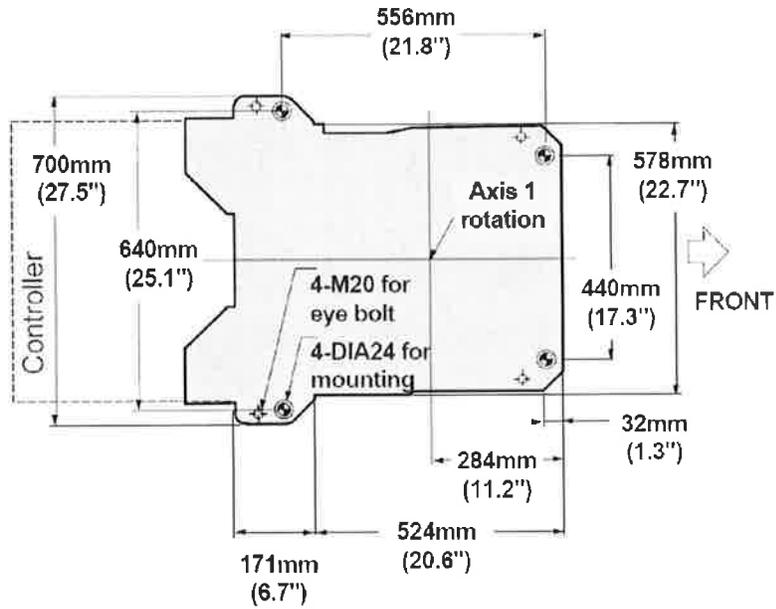


Figura 4.2. Vista de la base del robot

4.3.3. Vista de placa de montaje

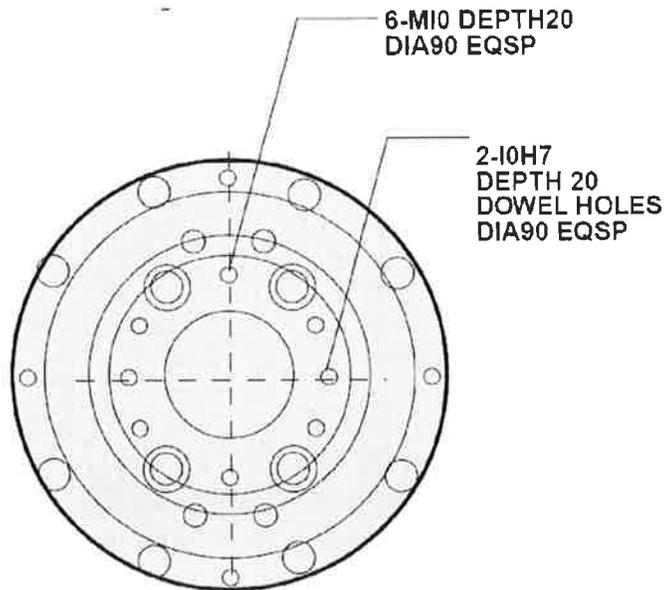


Figura 4.3. Vista de la placa de montaje

4.3.4. Modulo de Control

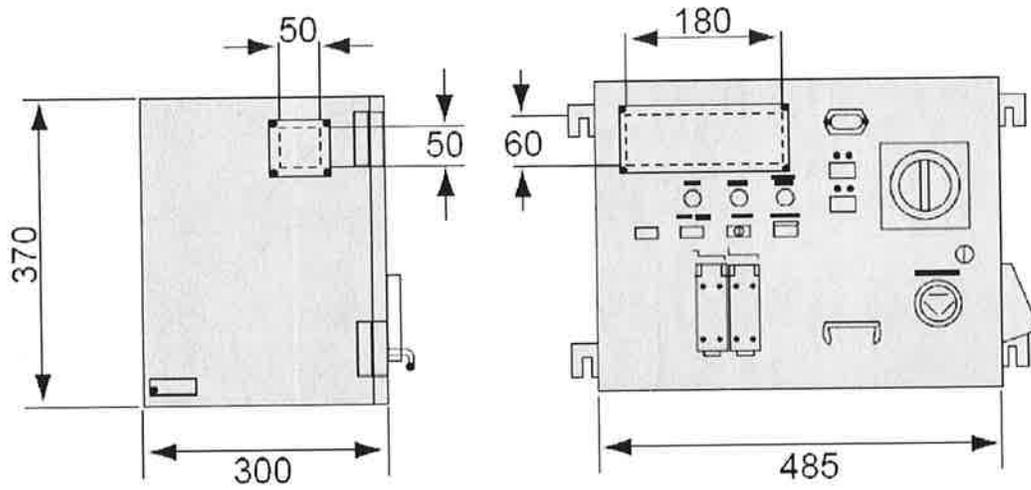


Figura 4.4. Vista del modulo de control RJ2 con sus dimensiones.

4.3.5. Vista Superior.

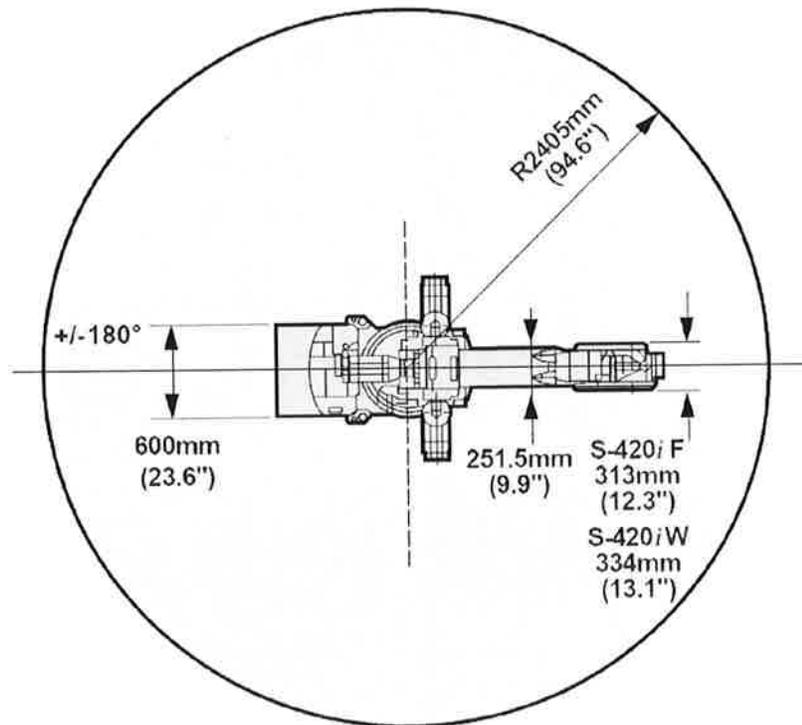


Figura 4.5. Vista Superior de amplitud del robot.

## CAPITULO IV

### 4.3.6. Vista Lateral

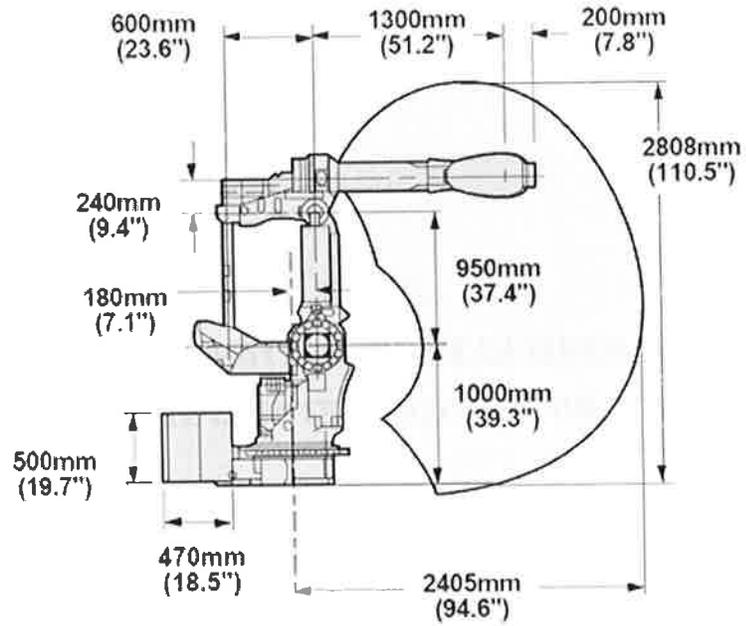


Figura 4.6. Vista lateral y sus dimensiones

### Vista Frontal

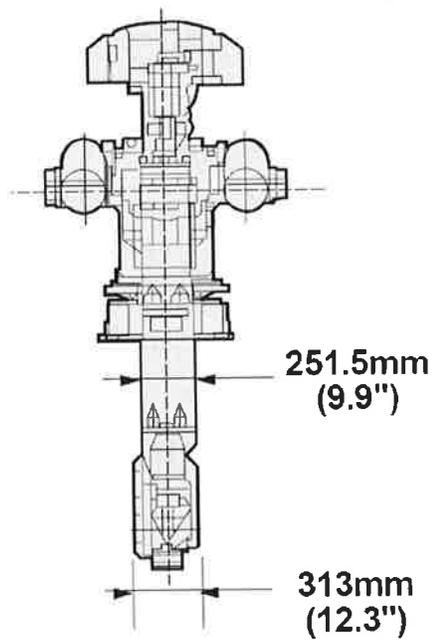


Figura 4.7. Vista Frontal

CAPITULO V

**5.1. Descripción proceso actual**

La manufactura de yugos, son operaciones complejas que proporcionan una gran diversidad de productos, los cuales, presentan cambios a nivel estructural, de carácter sensorial y de mayor importancia en el sector automotriz. El yugo maquinado es el principal componente de la manufactura de yugos deslizantes.

El diagrama de flujo para la manufactura del yugo deslizante actual se proporciona en la figura 5.1 aunque ya se mostro en la figura 3.6.

Diagrama actual de análisis de operaciones.

Nº DESCRIPCION	SIMBOLOS				EQUIPO
	◇	□	△	□	
1. RECEPCOION DE MATERILA					Rack ergonómico
2. BARRENADO (ESTRIADO)					MM0018
3. DESVASTE					MM0015
4. FRESADO DE CAJA					MM0015
5. BARRENADO DE GRASERA					MM0020
6. BROCHADO					MM0016
7. TORNEADO					MM0023
8. REBROCHADO					MM0017
9. BERRANDO DE OREJAS					MM0019
10. RIMADO DE OREJAS					MM0022
11. RANURADO					MM0021
12. ESTAQUEADO					ME0001
13. ENTREGA A ALMACEN					Rack ergonómico



## CAPITULO V

Descripción del proceso de manufactura de yugos.

- 1) Se recibe el material del almacén para proceso.
- 2) La pieza entra primero a máquina de barrenado o estriado.
- 3) Pasa a desbaste de cara final.
- 4) Dentro de la misma máquina solo cambia de posición y manufactura el fresado de la caja.
- 5) Dependiendo del número de parte se realiza el barrenado de la grasera.
- 6) Se pasa al Brochado del Diámetro interno o diámetro central.
- 7) De ahí se procede a manufacturar el torneado exterior de la pieza, dando forma definitiva exterior.
- 8) Pasa al rebrochado para eliminar rebaba y confirmar el tamaño del brochado.
- 9) Se procede al barrenado de orejas.
- 10) Y se Riman las partes exteriores de las mismas.
- 11) En este punto se realiza el ranurado de las orejas, y el punto de control de calidad, en el cual se revisa que este entre sus márgenes de calidad para poder ser distribuida.
- 12) En esta sección se coloca el estaqueado del tapo Welch, la inspección de fuga, el empaquetado.
- 13) Por último es traslado al almacén para su entrega o siguiente proceso de ensamble.

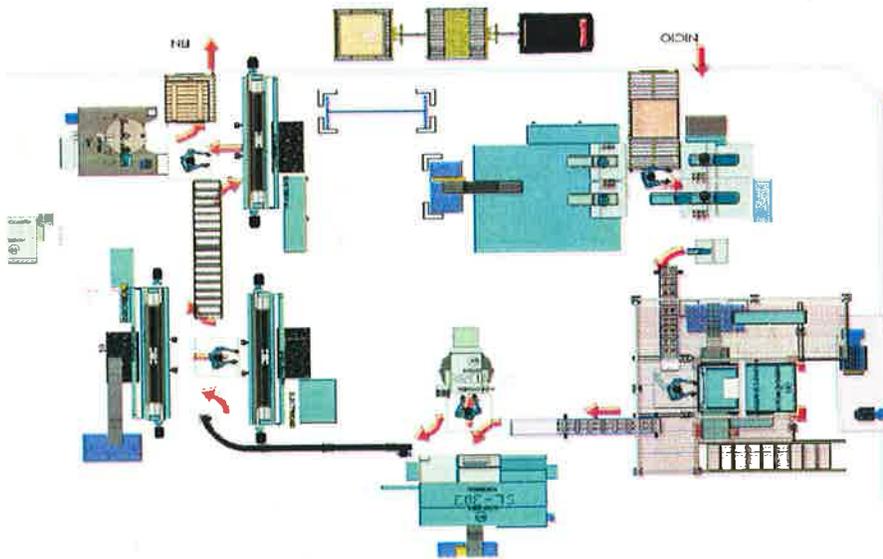


Figura 5.1 Diagrama de flujo de maquinado de yugos deslizantes.

CAPITULO V

5.2. Balance de línea actual y propuesta.

Como punto inicial y uno de los más importantes es conocer el comportamiento de cada operación así como el tiempo promedio que toma cada pieza en cada máquina, el tiempo que el operario debe tomar para realizar la carga, descarga e inspección.

Tomando en cuenta las recomendaciones de Time Study de General Electric (GE), en la cual determina que si un ciclo de operación tarda 1 ó 2 minutos entonces la cantidad de muestras recomendadas son las que se indican en la tabla 5.1.

Tiempos ciclo en minutos	Numero recomendados de ciclos
1	30
2	20

Tabla 5.1. Numero de muestras recomendadas por Eries Works de General Electric Co.

Por lo tanto para el desarrollo del mismo las muestras fueron tomadas teniendo en consideración estas recomendaciones. El balance actual se realizo con 5 operarios al inicio.

En la figura 5.2 se muestra el formato de llenado de la toma de tiempos, aclarando que el estudio se realizo sobre la pieza más significativa siendo la línea relativamente nueva en la planta, y tomando en cuenta que existen números de partes que no circulan por toda la línea o que saltan algunas operaciones.

		22		23		24		25		26		27		28		29		30			
Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real	Acum	Real		
7,42	7,65	7,65	7,55	7,55	7,12	7,12	7,32	7,32	9,45	9,45	7,85	7,85	9,48	9,48	7,94	7,94	8,32	8,32	7,82		
24,89	16,01	23,66	16,75	24,3	17,83	24,95	17,18	24,5	16,92	26,37	17,11	24,96	16,67	26,15	16,75	24,69	16,08	24,4	16,6		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	11		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	###		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	###		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	###		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	###		
40,61	32,97	32,97	36,7	36,7	35,09	35,09	35,46	35,46	35,97	35,97	40,07	40,07	34,51	34,51	38,56	38,56	35,78	35,78	###		
<b>Suplementos (K)</b>																				<b>Partes</b>	
Cond. Admosféricas				Estrés				Atención requerida				Nivel de Ruido				K = 26%					
%				%				%				%									
<b>Tiempo estandar por pza.</b>		<b>por</b>		<b>40,34</b>		<b>Piezas por hora</b>		<b>39,0</b>		<b>Piezas por turno</b>		<b>669,4</b>		<b>Piezas diarias</b>		<b>2908,0</b>					

Figura 5.2. Formato de Estudio de tiempos

## CAPITULO V

En el formato de la figura 5.2 al ingresar la información obtenida de la línea automáticamente el formato arroja los resultados del tiempo de carga, descarga y tiempo de operación promedio de la máquina, el tiempo estándar de la pieza que tarda en el ciclo de la operación, las piezas que circulan por hora, turno y por día. En el mismo se agregan las condiciones o factores que intervienen durante el transcurso de la operación, como es cansancio, fatiga, niveles de ruido, etc.

Al realizar la toma de tiempos de cada máquina e introducirlo a los formatos electrónicos, podremos pasar a la introducción de estos datos a el formato denominado GBM\_GBO en el cual el punto inicial es la introducen los datos de la demanda mensual de cada uno de los números de parte. Tendríamos que aclarar que los datos que se utilizaron para este en estudio fueron los históricos, proporcionados por Magog Canadá, y para los cuales también se utilizaron los que corrieron en la línea de producción de la línea 74, como se muestra en la figura 5.3.

Clasifica			DEMANDA				
NO. DE PARTE	Tipo	%	JUL	PROMEDIO	%	% ACUM	TOTAL
100-3-41X	1		1616	1.616	144,20	144,20	13448
2-3-13831X	1		8	8	0,71	144,91	
3-3-1601X	1		1600	1.600	142,77	287,69	
3-3-1621X	1		128	128	11,42	299,11	
3-3-1641X	1		120	120	10,71	309,82	
3-3-2871X	1		0	0	0,00	309,82	
3-3-3121X	1		96	96	8,57	318,38	
3-3-3151X	1		36	36	3,21	321,59	
3-3-4471X	1		244	244	21,77	343,37	
3-3-5141X	1		24	24	2,14	345,51	
3-3-5191X	1		4	4	0,36	345,87	
3-3-6021X	1		12	12	1,07	346,94	
3-3-6061X	1		164	164	14,63	361,57	
3-3-6101X	1		236	236	21,06	382,63	
3-3-6341X	1		2096	2.096	187,03	569,66	
3-3-6361X	1		2096	2.096	187,03	756,69	
3-3-6611X	1		20	20	1,78	758,48	
3-3-6841X	1		16	16	1,43	759,90	
3-3-7021X	1		1600	1.600	142,77	902,68	
65-3-64X	1		1.200	1.200	107,00	1.000,76	

Figura 5.3. Demanda mensual de producción.

En el formato mismo se puede obtener el estudio de Carga de la máquina, la cual se muestra en la figura 5.4, en este, el Requerimiento/Mes es el promedio de demanda por cada máquina, el Tiempo Ciclo es el tiempo promedio que tarda la pieza dentro de la máquina, contando desde la carga y descarga manual, y el tiempo ciclo automático de la máquina. Se puede observar que el tiempo usado es dado en segundos por pieza. Como se podrá apreciar en la figura el tiempo ponderado es tomado al 100% lo cual tendríamos que

## CAPITULO V

actualmente esta operación trabaja al 94.65%, apreciamos como otro punto la capacidad de producción de la operación por turnos, teniendo en cuenta que el total de la demanda debe ser el mismo, sin errores de aproximación.

<b>ESTUDIO DE CARGA DE MÁQUINA</b>					
MAQUINA OPERACIÓN	10 Rimado	LINEA FECHA			Yugos 74
NO. PARTE	REQ. / MES	TIEMPO CICLO	TIEMPO USADO	<b>TEMPO PONDERADO: 76,0700</b>	
100-3-41X	1.616	76,070	122.929	PROD/HR PONDER.100%:	94,65
2-3-13831X	8	76,070	609	PRO./MENSUAL AL 80%	137.999.211
3-3-1601X	1.600	76,070	121.712	CAP DE PROD ( 1T):	45.999.737
3-3-1621X	128	76,070	9.737	CAP. DE PROD ( 2T):	91.999.474
3-3-1641X	120	76,070	9.128	<b>CAP DE PROD ( 3T):</b>	<b>137.999.211</b>
3-3-2871X	0	76,070	0	HRS POR MES AL 80%	1458000
3-3-3121X	96	76,070	7.303	CANT DE MÁQUINAS:	2
3-3-3151X	36	76,070	2.739	<b>OBSERVACIONES:</b>	
3-3-4471X	244	76,070	18.561	TOTAL (SEG)	1022989,36
3-3-5141X	24	76,070	1.826	TOTAL (HRS)	284,16
3-3-5191X	4	76,070	304	<b>DEMANDA:</b>	<b>13448</b>
3-3-6021X	12	76,070	913		
3-3-6051X	164	76,070	12.475		
3-3-6101X	236	76,070	17.953		
3-3-6341X	2.096	76,070	159.443		

Figura 5.4. Estudio de Carga de Máquina

Al igual que la operación 10 como se aprecia en la imagen anterior, cada operación/máquina debe ser estudiada, para obtener la tiempo empleado para la demanda en producción, y ver las factibilidades que a ello conlleva.

El siguiente paso es recabar los datos para obtener las graficas que nos demuestren cómo se comporta la línea. En este caso el formato de la figura 5.5 muestra los datos recopilados dentro del mismo estudio, acomodándolos automáticamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>GBM</b>											
	<b>Yugos 74</b>											
2	<b>MAQUINA</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>CAP. 1 T.</b>	<b>CAP. 2 T</b>	<b>CAP. 3 T</b>	<b>TIEMPO POND.</b>	<b>REQ. MENSUAL</b>	<b>REQ / DIA</b>	<b>TAKT (1T)</b>	<b>TAKT (2T)</b>	<b>TAKT (3T)</b>	<b>Cap Total</b>
3	10	Rimado	6.815	13.204	19.187	76.0700	13.448	598	38.548	74.688	108.418	19.187
4	20	Desbasto	6.460	12.516	18.168	80.2500	13.448	598	38.548	74.688	108.418	18.168
5	30	Caja	6.460	12.516	18.168	80.2500	13.448	598	38.548	74.688	108.418	18.168
6	36	Grasera	7.555	14.637	21.247	68.6200	13.448	598	38.548	74.688	108.418	21.247
7	60	Brochado	5.372	10.408	15.109	96.5000	13.448	598	38.548	74.688	108.418	15.109
8	67	Torneado	7.533	14.595	21.186	68.8200	13.448	598	38.548	74.688	108.418	21.186
9	130	Rebrochado	15.795	30.603	44.424	32.8200	13.448	598	38.548	74.688	108.418	44.424
10	90	Rectificado	13.546	26.245	38.098	38.2700	13.448	598	38.548	74.688	108.418	38.098
11	80	Rimado de orejas	9.410	18.232	18.232	55.0900	13.448	598	38.548	74.688	108.418	26.466
12	70	Ranurado	18.013	34.899	34.899	28.7800	13.448	598	38.548	74.688	108.418	50.660
13	146	Eslaqueado	12.851	24.898	24.898	40.3400	13.448	598	38.548	74.688	108.418	36.142
14			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0000		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Figura 5.5. Capacidades, tiempos y requerimientos de producción

## CAPITULO V

Como se aprecia en la figura 5.5. se presentan las capacidades que cada máquina puede entregar o a la cual puede trabajar para la producción deseada, teniendo en cuenta que para nuestro caso, el importante o el que nos interesa es la OP 50, observamos que la capacidad a trabajar a 2 turnos no favorecería a la entrega del requerimiento total por mes para esta operación, y percatándonos en el estudio como se aprecia en la figura se demuestra que también las operaciones 20 y 30 no cumplen con la capacidad para el requerimiento mensual de la línea.

Como se demuestra en la grafica de la figura 5.6, la línea tendría que trabajar a tres turnos, para cumplir con las capacidades necesarias del requerimiento mensual. En la grafica se muestran las Capacidades al tercer turno (azul), el requerimiento mensual (rojo) y la capacidad total que la máquina podría entregar trabajando al 100% en un momento dado (línea verde).

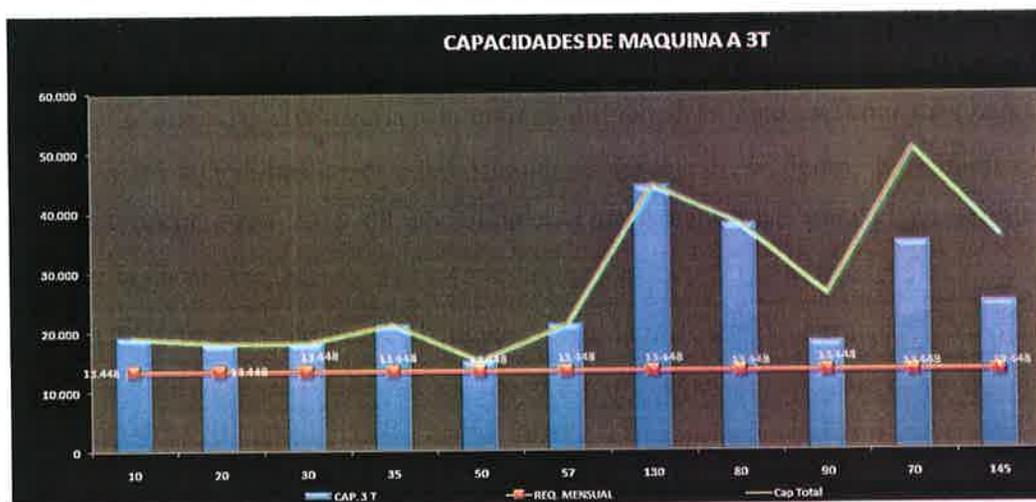


Figura 5.6. Capacidad total de la línea a 3 turnos.

Para demostrar que la máquina funcionara mejor a 3 turnos tendríamos que analizar los tiempos TAKT's contra los ciclos ponderados de la línea. Como se muestra en la grafica de la figura 5.7, en la cual se presentan los tiempos takt's esperados para cada turno y en los cuales apreciamos que tres operaciones (OP 20, OP 30 y OP 50) están sobrepasando el límite del takt del segundo turno, para cumplir con su demanda. Se llega a la conclusión que sin desearlo el tercer turno es necesario, para cumplir la demanda mensual necesaria y poder así tener una satisfactoria producción.

## CAPITULO V

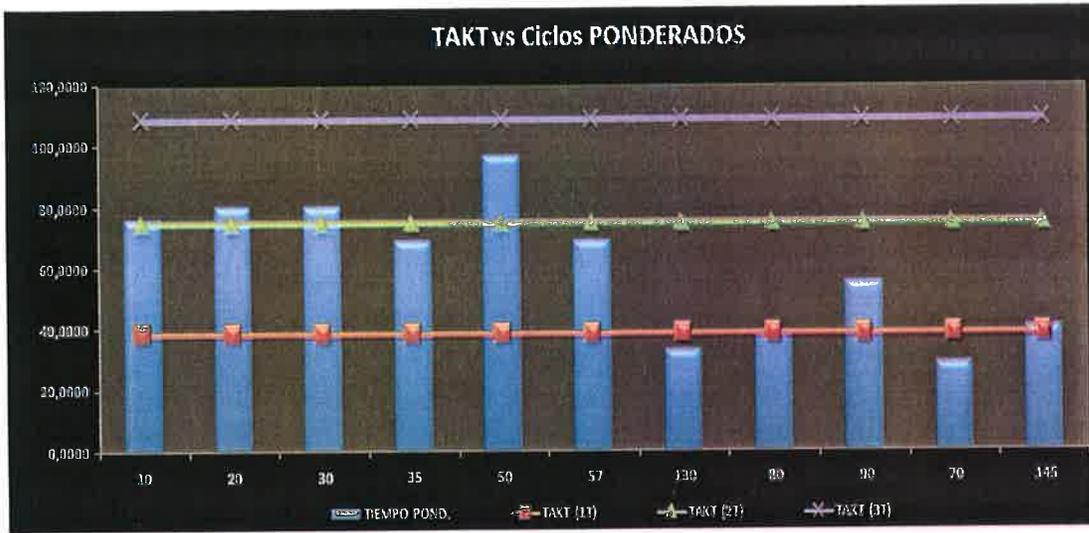


Figura 5.7. Tiempo TAKT vs Ciclos Ponderados

Como observamos en las graficas de las figuras anteriores, comprendemos como trabaja la línea actualmente y que es necesario implementar un tercer turno para poder satisfacer la demanda del cliente.

Pero ahora debemos entender como están organizados los operarios dentro de la misma línea, ver si afecta en algo su ubicación, y en su caso plantear la forma de organizarlos para disminuir este impacto. En la figura 5.8 se muestra la organización operario y cada operación a la que se encuentra ligado.

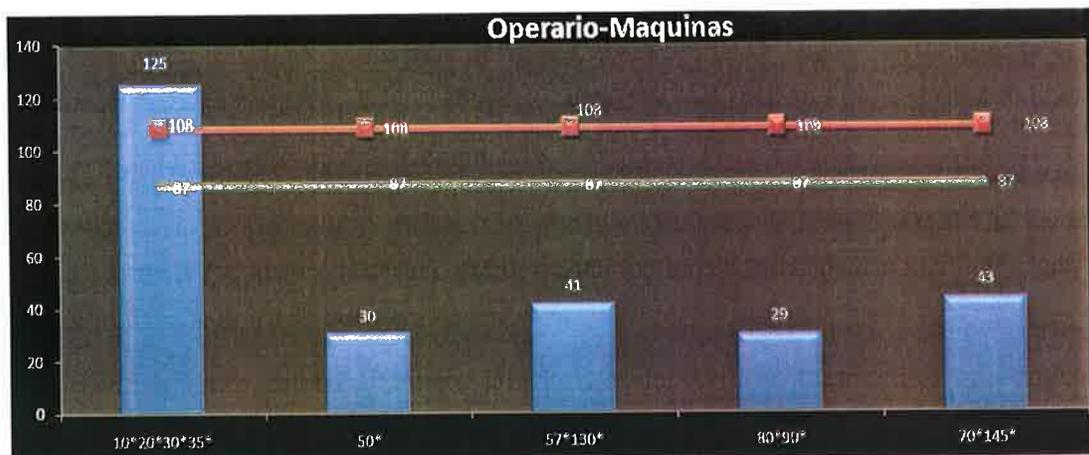


Figura 5.8. Organización de Operarios-máquinas

Como se aprecia en la figura 5.8, el tiempo del operario 1 al que llamaremos A, sobrepasa el tiempo TAKT de los tres turnos a lo que nos lleva a pensar que este operario, al estar

## CAPITULO V

con sobre trabajado y presión no podría rendir la necesidad requerida para su trabajo en un momento dado.

Para esto analizamos como es el comportamiento del trabajo Hombre-Máquina, esto se demuestra en la figura 5.9 en la cual se aprecia el tiempo de carga y descarga del trabajo manual realizado por el operario y el tiempo máquina, el cual es automático.

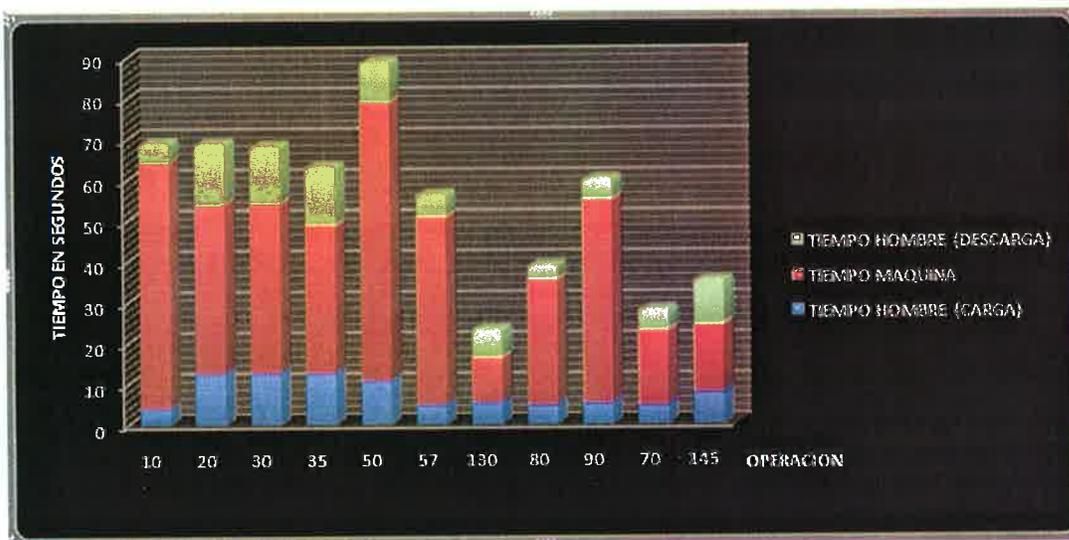


Figura 5.9. Tiempo Hombre-Máquina

Apreciando esta grafica y recordando que el operario A, es el que tiene más carga de trabajo, llevaremos esta misma grafica a una grafica denominada Tiempos combinados, en la cual se muestran los tiempos de cada uno de los operarios con cada máquina, la intercepción del tiempo takt, los pasos que del operario para realizar su tarea y los tiempos de inspección de cada uno de ellos como se muestra en la figura 5.10.

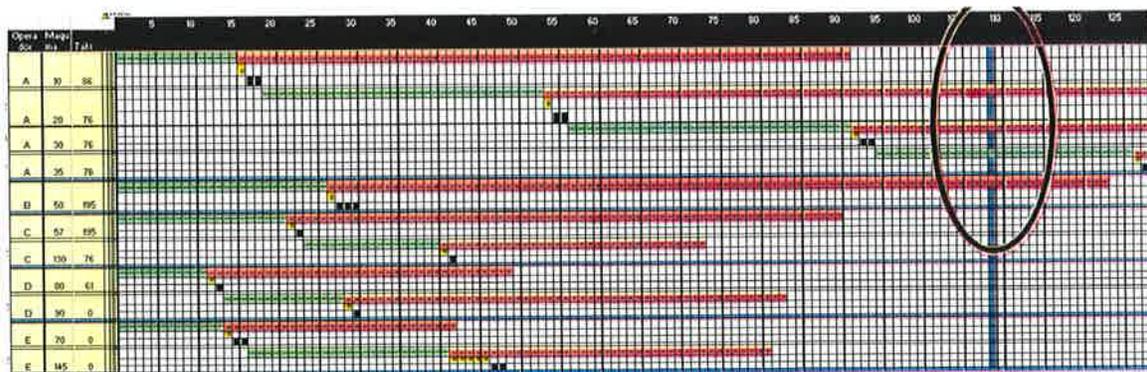


Figura 5.10. Tiempos combinados de cada operario

## CAPITULO V

Como se aprecia en el círculo marcado de la figura anterior, el operario A sobrepasa el tiempo Takt, al realizar las cuatro operaciones, lo cual no favorece a nuestro estudio.

Ahora analizaremos el balance propuesto, en el cual un operario fue reubicado en otra línea, (aclarando que nuestra intención en este proyecto no es poner en duda la integridad laboral del operario si no demostrar que puede ser más eficiente la línea con un robot sin tener que despedir a una persona) y sustituido por un Robot Fanuc S-420 i.

Saltándonos los puntos mostrados anteriormente, con respecto a la toma de tiempos, y el estudio de carga por máquina. En estos se desprecia el tiempo de carga y descarga de la máquina que realiza el operario, a lo cual conlleva lo siguiente:

En la figura 5.11, se muestran las capacidades de las operaciones. Como se puede observar la capacidad de la operación 50 aumenta su capacidad de producción (comparándola con la figura 5.6), y reduciendo el tiempo de la operación en la carga y descarga manual, aunque se desee reducir el tiempo de trabajo de la línea, el tercer turno es necesario para poder mantener el requerimiento por parte de las operaciones 20 y 30.

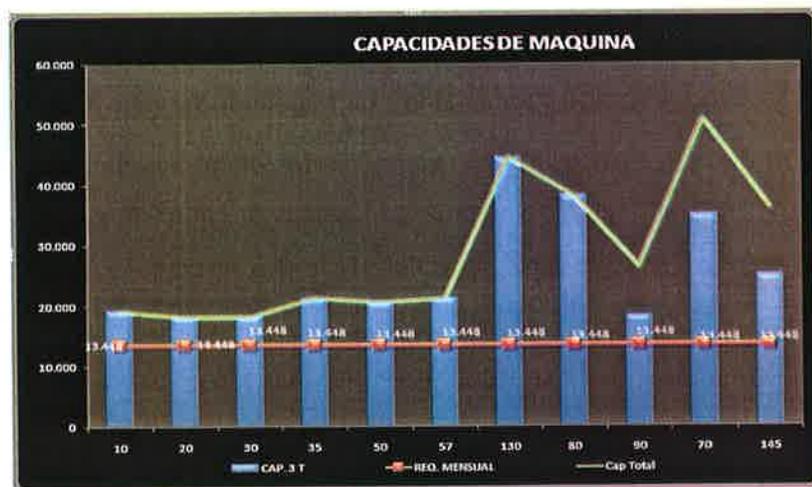


Figura 5.11. Capacidades de la máquina

Ahora si comparamos los tiempos takt's vs ciclos ponderados, obtendríamos los que muestra la grafica de la figura 5.12, en la cual se aprecia con mayor detalle que el tercer turno es solo aplicable ahora a las operaciones 10, 20 y 30, y que el tiempo ponderado de la operación 50 está por debajo del tiempo Takt del segundo turno, a lo cual podríamos deducir que si los tiempos y movimientos o en su caso el acomodo de estas máquinas se

## CAPITULO V

realizara se podría reducir el tiempo takt y mantener la operación de la producción en solo dos turnos.

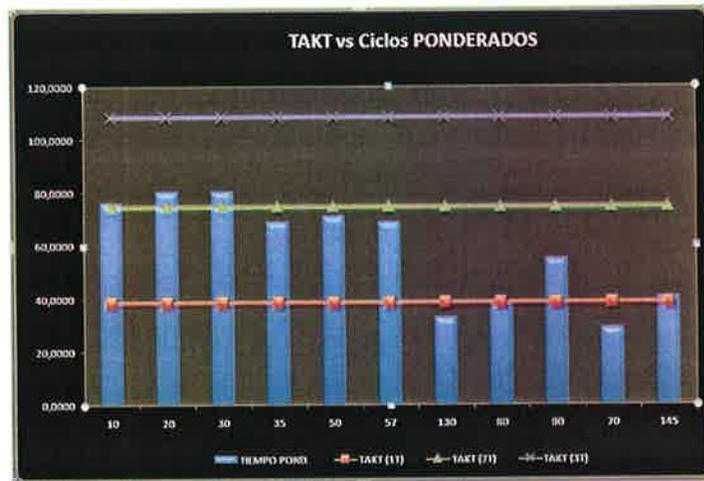


Figura 5.12. Tiempos Takt's vs Ciclos Ponderados.

Después de observar que la capacidad de la operación aumenta, disminuyen los tiempos, tendríamos que analizar la propuesta de posición de cada operario y cada máquina. En la figura 5.13 se muestra la propuesta de organización de línea.

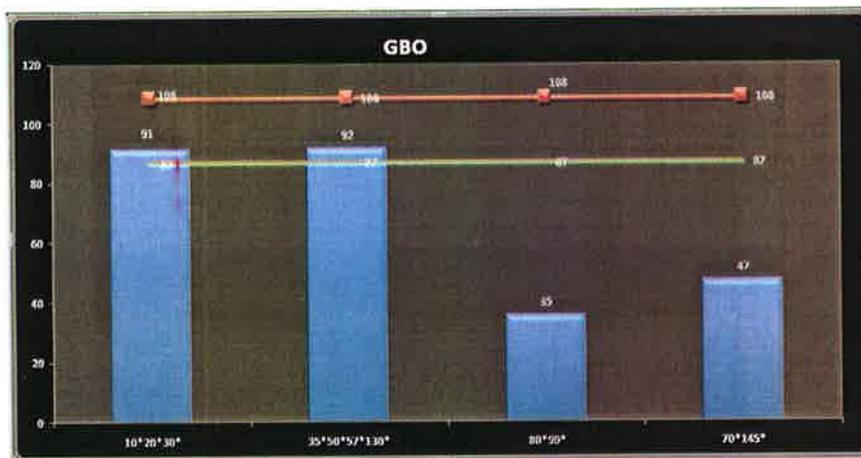


Figura 5.13. Organización Operarios-Máquinas

En la grafica 5.13 observamos de cinco operarios se redujo a cuatro operarios, a el primer operario a quien habíamos denominado A se le ha disminuido el trabajo, otro punto es que se le ha reducido una operación y reacomodado a otro operario. Como se ha mencionado en la operación 50 se ha integrado un robot, y el operario B se encargara de su supervisión,

## CAPITULO V

que solo sería en este caso, la activación, la puesta en marcha y la inspección por algún error, la elección del programa y la desactivación. En la figura 5.14, se muestra la propuesta de modificación del Layout para la esta propuesta, en la cual se aprecia que la operación 35 se ha movido algunos metros para ajustarla con el operario B, y se redujo la longitud del conveyor que conecta la posición del operario B con el operario C, también se redujo y ahorro espacio en la línea de producción, teniendo en cuenta que se respetaron los espacios para las aperturas de los gabinetes, y espacios de movimientos de los operarios.

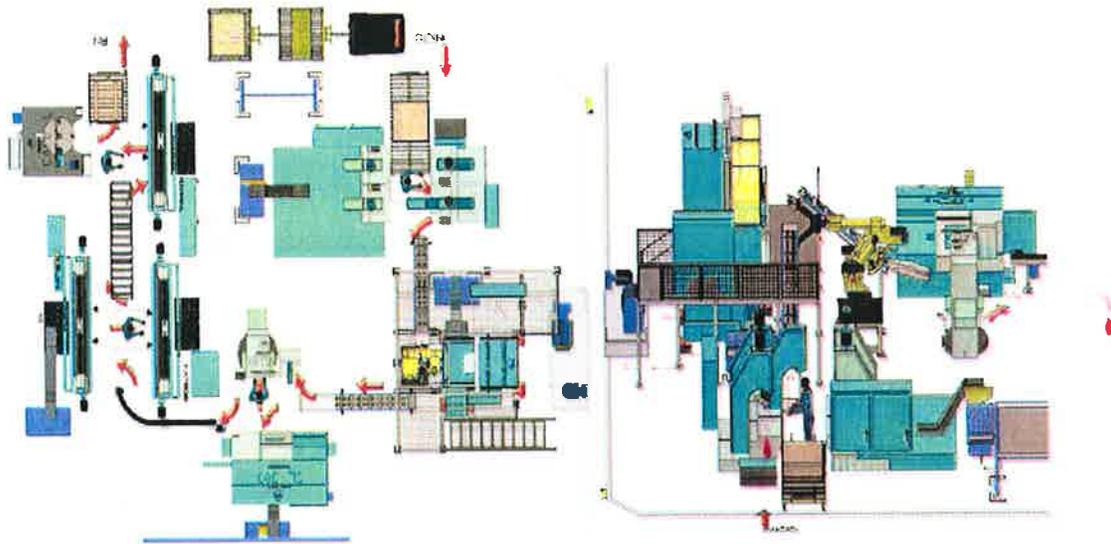


Figura 5.14. Propuesta de LayOut (vista superior y vista frontal) (ANEXO C)

Y para comprobar que los tiempos de cada operario no rebasan el tiempo takt se muestra en la figura 5.15, la grafica de tiempos combinados de cada operario, en la cual se muestra que todos los tiempos están por debajo del tiempo takt (marcado con línea azul vertical).

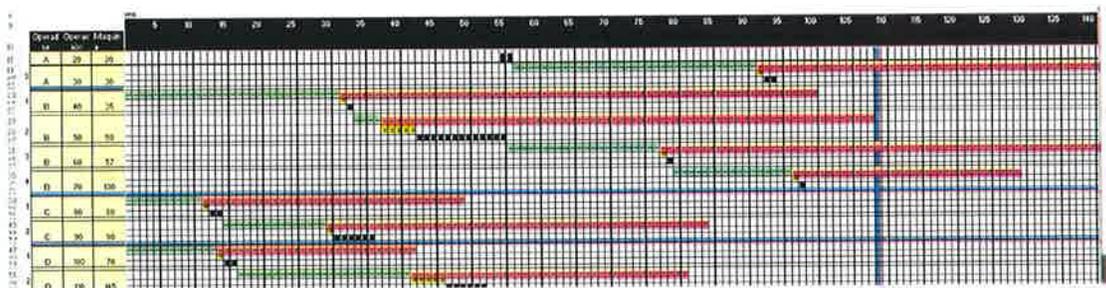


Figura 5.15. Tiempos combinados de propuesta

Entonces podríamos definir con base al estudio del balance de línea, es factible el colocar un robot y reubicar a un operario o a tres en distintas líneas o áreas de la planta.

## CAPITULO V

Pero el balance de la línea no queda solo en el estudio de los tiempos de los operarios y el acomodo de la línea, si no también involucra las evaluaciones de KPI'S que para nuestro caso serian OEE "Overall Efficiency Equipment" (Eficiencia Global del Equipo por sus siglas en ingles) y Productivity (Productividad), y que se muestran a continuación para su análisis.

$$OEE = \frac{\text{Piezas Producidas}}{3600 / (\text{Tiempo ciclo piso a piso cuello de botella}) \times \text{Hours scheduled to work}} \times 100$$

*Productivity*

$$= \frac{\# \text{ de gente para correr la línea a máxima capacidad} / \left( \frac{3600}{\text{Tiempo ciclo piso a piso cuello de botella}} \right) \times \text{piezas producidas}}{\text{Direct Labor Paid}} \times 100$$

Que para nuestro primer caso, el cuello de botella es la operación 50 y trabajan 5 operarios en la línea a máxima capacidad, con lo cual obtenemos:

$$OEE = \frac{279,9}{(3600/96,5) \times 8} \times 100 = 93.78$$

$$Product. = \frac{5 / (3600/96,5) \times 279,9}{40} \times 100 = 93.79$$

Con esto definimos que la eficiencia de la línea es de 93.78% y que la productividad de la misma es de 93.79% con 5 operarios.

Para el segundo caso del estudio de comparación, para OEE el cuello de botella es el de la operación 50 y para el de productividad el cuello de botella es el de la operación 20, 30 que viene siendo la misma máquina.

$$OEE = \frac{336.4}{(3600/96,5) \times 8} \times 100 = 112.72$$

$$Product. = \frac{5 / (3600/80,25) \times 336,4}{32} \times 100 = 117,2$$

En el momento en que se coloca un robot, se reduce el número de operarios, en este caso se toma al robot como un operario más, pero se reducen las horas de paga diaria de 40 a 32. Al momento de incorporarse un robot, y deja de ser la operación 50 el cuello de botella, para la eficiencia de la 90ater se toma el nuevo cuello de botella la cual es la máquina de las

## CAPITULO V

operaciones 20 y 30, y nos arroja el resultado en el cual se deduce que la eficiencia aumenta de 93,78 a 112,72% y que la productividad se aumenta de 93,79 a 117,2%, con 336,4 piezas por turno con los nuevos cuellos de botella.

Para el tercer comparativo en el cual nuestro cuello de botella es la máquina de las operaciones 20 y 30, quedaría definido del siguiente modo:

$$OEE = \frac{336,4}{(3600/80,25) \times 8} \times 100 = 93,74$$

$$Produc. = \frac{4/(3600/80,25) \times 336,4}{32} \times 100 = 93,74$$

Como se aprecia y comparando con el primer caso, la eficiencia de la línea es 93,74 vs 93,78 del primer caso, y que nuestra producción es de 93,74 en contra de 93,79% del primer estudio. Uno podría mencionar que no es mucha la diferencia y que la tendencia sería a la negativa, pero es lo contrario, seguimos manteniendo la eficiencia y la productividad en rangos satisfactorios, pero con la diferencia clave, de que se obtienen más piezas producidas con menos personal. A lo cual podríamos terminar por definir que la aplicación de un robot a la línea es más que satisfactorio y redituable.

### 5.3. Comandos de programación.

En la tabla 5.10 se presentan los comandos típicos de programación de robots industriales de las tres compañías más importantes, Fanuc, Mitsubishi y Kuka, para demostrar la comparación de comandos de programación.

Tabla 5.10. Comparación de Comandos típicos de programación Fanuc, Mitsubishi.

Nº	Nombre	Formato de entrada		Función
		Fanuc	Mitsubishi	
1	Movimiento lineal	L	MS	
2	Movimiento circular	C	MR	
3	Movimiento libre	J	MO	
4	Home		HO	Memoriza una posición inicial

CAPITULO V

Tabla 5.10. Comparación de Comandos típicos de programación Fanuc, Mitsubishi y Kuka  
(Continuación)

N°	Nombre	Formato de entrada		Función
		Fanuc	Mitsubishi	
5	Mover (MOVE)		MO	Mueva a la posición deseada
6	Velocidad definida (Speed define)	100%	SD	Con este comando es definida la velocidad, el tiempo constante, desaceleración y el CNT
7	Fin (End)	/POS	ED	Finaliza el programa
8	Ir a (go to)	JMP	GT	Continúa la instrucción hasta la línea indicada.
9	Ir a la subrutina	LBL	GS	Llama a la subrutina si esta activada la línea (a), del programa (b)
10	Repetir ciclo		RC	Repite el ciclo hasta que se active una instrucción que lo detenga
11	Cierra Gripper		GC	Cierra la mano del gripper
12	Abre gripper		GO	Abre la mano del gripper
13	Verifica bit – Testa bit		TB	Continua la rutina dependiendo de el estado del bit ya sea + ó – del valor del registro interno.
14	Espera	WAIT	PW	Realiza un tiempo de espera especificado por el usuario, antes de realizar la siguiente rutina.

**5.4. Habilitación por comandos externos**

Durante la instalación de nuevos dispositivos como suelen ser sensores, garras de Gripper's u otros dispositivos como relevadores para la realización de una nueva actividad se llega a tener el inconveniente de la activación, que el PLC, tiene un número determinado de entradas y salidas.

Para estos casos inconvenientes se cuentan con las entradas y salidas independientes del PLC que proporciona el Controlador del Robot directamente. Las cuales deben ser censadas para ser poder activarlas desde el programa para nuestro caso, siendo la misma modalidad para todos los robots como Mitsubishi, Kuka, Fanuc, etc. Solo recordando que la

## CAPITULO V

activación o el censado de I/O son distintos y a lo cual se recomienda verificar cada manual de programación del robot.

En la figura 5.16 se muestra un esquema de la salida del cable periférico CRM5, para las entradas y salidas externas independientes del PLC.

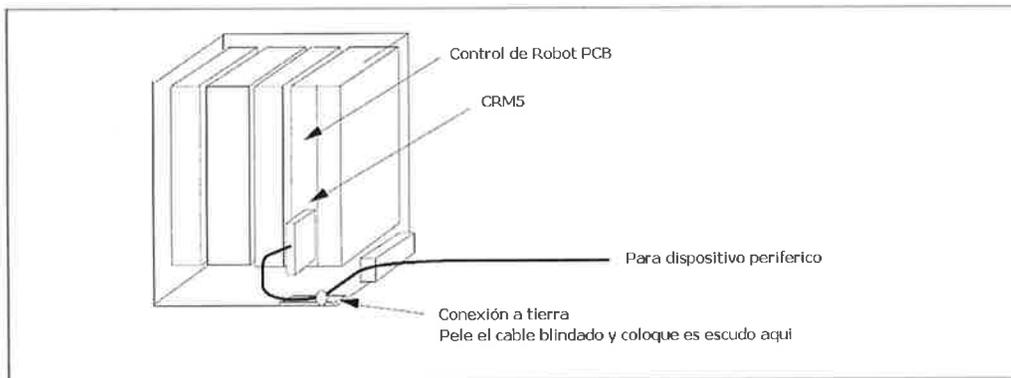


Figura 5.16 Conexión de cable de dispositivos periféricos.

Las señales especificadas en la tabla de la figura 5.17, no son asignadas y el robot está relacionado con las señales por una relación de I/O FANUC, por la interface CRM5.

01	SDI101			33	SDO101
02	SDI102			34	SDO102
03	SDI103	19	SDICOM1	35	SDO103
04	SDI104	20	SDICOM2	36	SDO104
05	SDI105	21		37	SDO105
06	SDI106	22	SDI117	38	SDO106
07	SDI107	23	SDI118	39	SDO107
08	SDI108	24	SDI119	40	SDO108
09	SDI109	25	SDI120	41	SDO109
10	SDI110	26		42	SDO110
11	SDI111	27		43	SDO111
12	SDI112	28		44	SDO112
13	SDI113	29	0 V	45	SDO113
14	SDI114	30	0 V	46	SDO114
15	SDI115	31	+24E	47	SDO115
16	SDI116	32	+24E	48	SDO116
17	0 V			49	+24E
18	0 V			50	+24E

- SDICOM1 y SDICOM2 son las señales usadas para seleccionar el COMM para la señal SDI.

- Si usa el común +24V, conecte SDICOM1 y SDICOM2 a 0V.

- Si usa el común 0V, conecte SDICOM1 y SDICOM2 a +24V.

- SDICOM1 – Selecciona un común para SDI109 a SDI108.

- SDICOM2 – Selecciona un común para SDI109 a SDI120.

- Nota: La salida máxima de corriente por una señal de SDO es 70 mA.

Figura 5.17. I/O interface CRM5

## CAPITULO V

En el caso que el común es 24V en el lado de dispositivo periférico (señal especificada no asignada), ver figura 5.18.

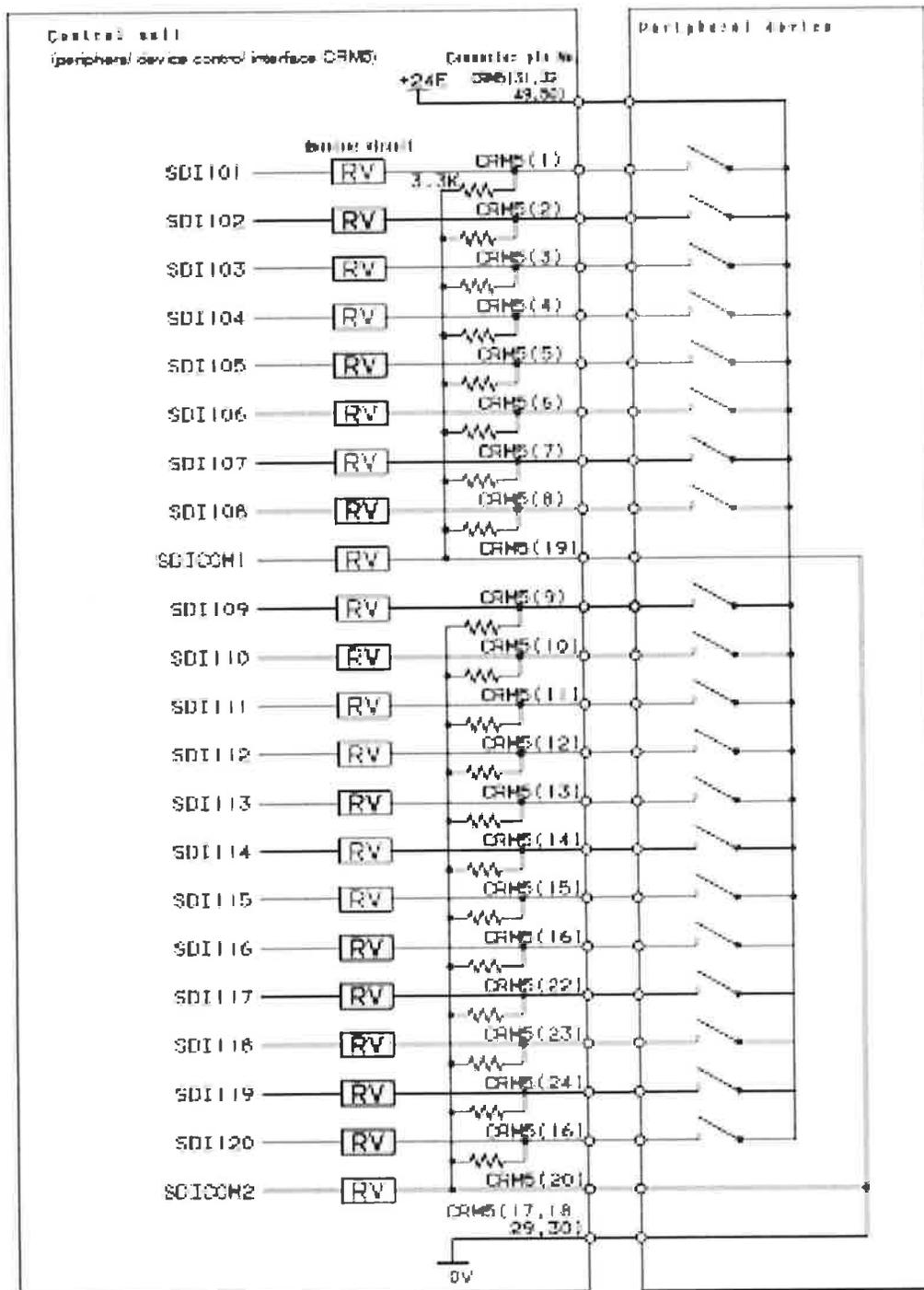


Figura 5.18. Interfaz de control de dispositivo periférico (señal de entrada, 24V común).

## CAPITULO V

En el caso que el común es 0V en el lado de dispositivo periférico (señal especificada no asignada), ver figura 5.19.

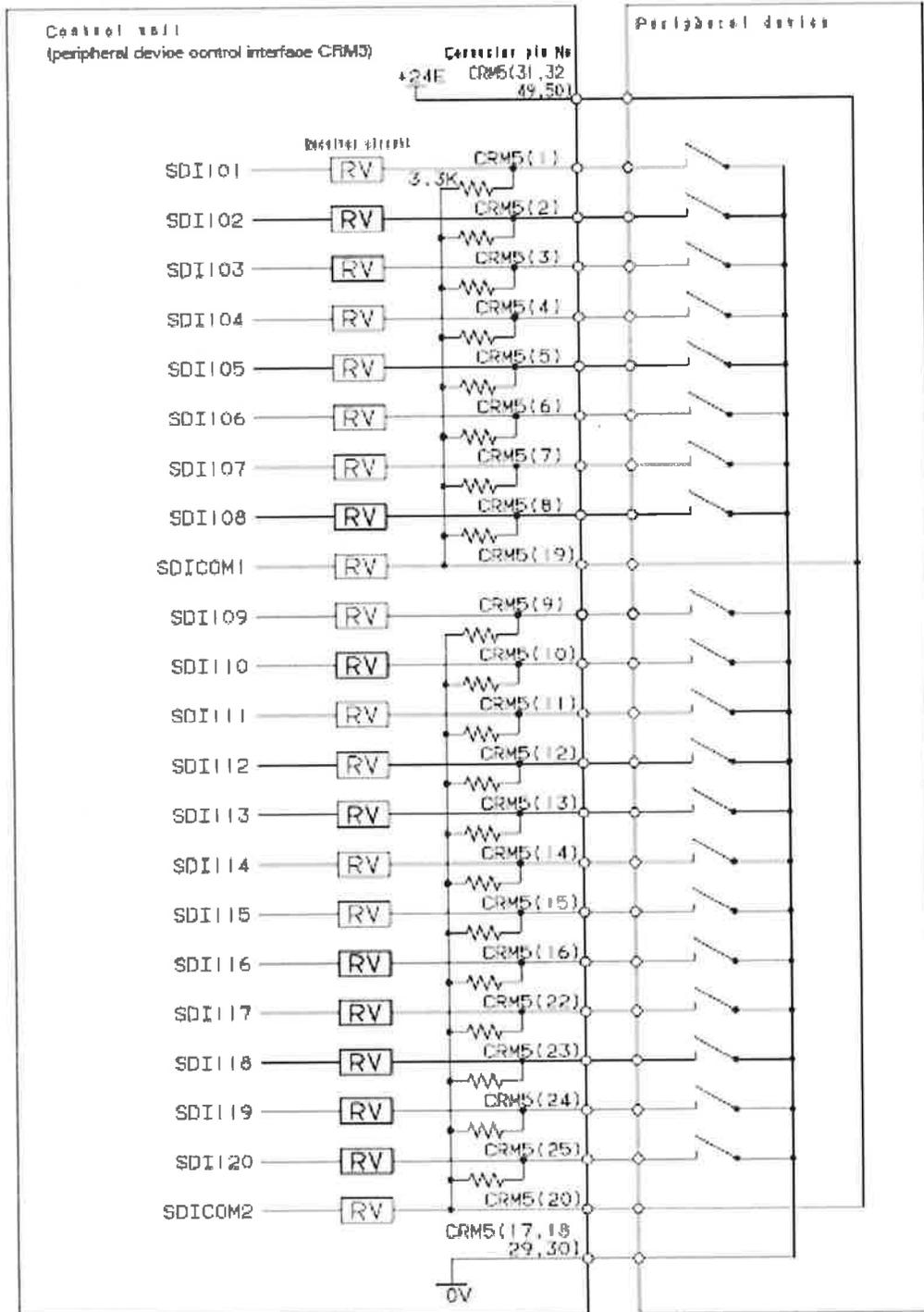


Figura 5.19. interfaz de control de dispositivo periférico (señal de entrada, 0V común).

## CAPITULO V

En la figura 5.20 se muestran las conexiones de las señales de salidas.

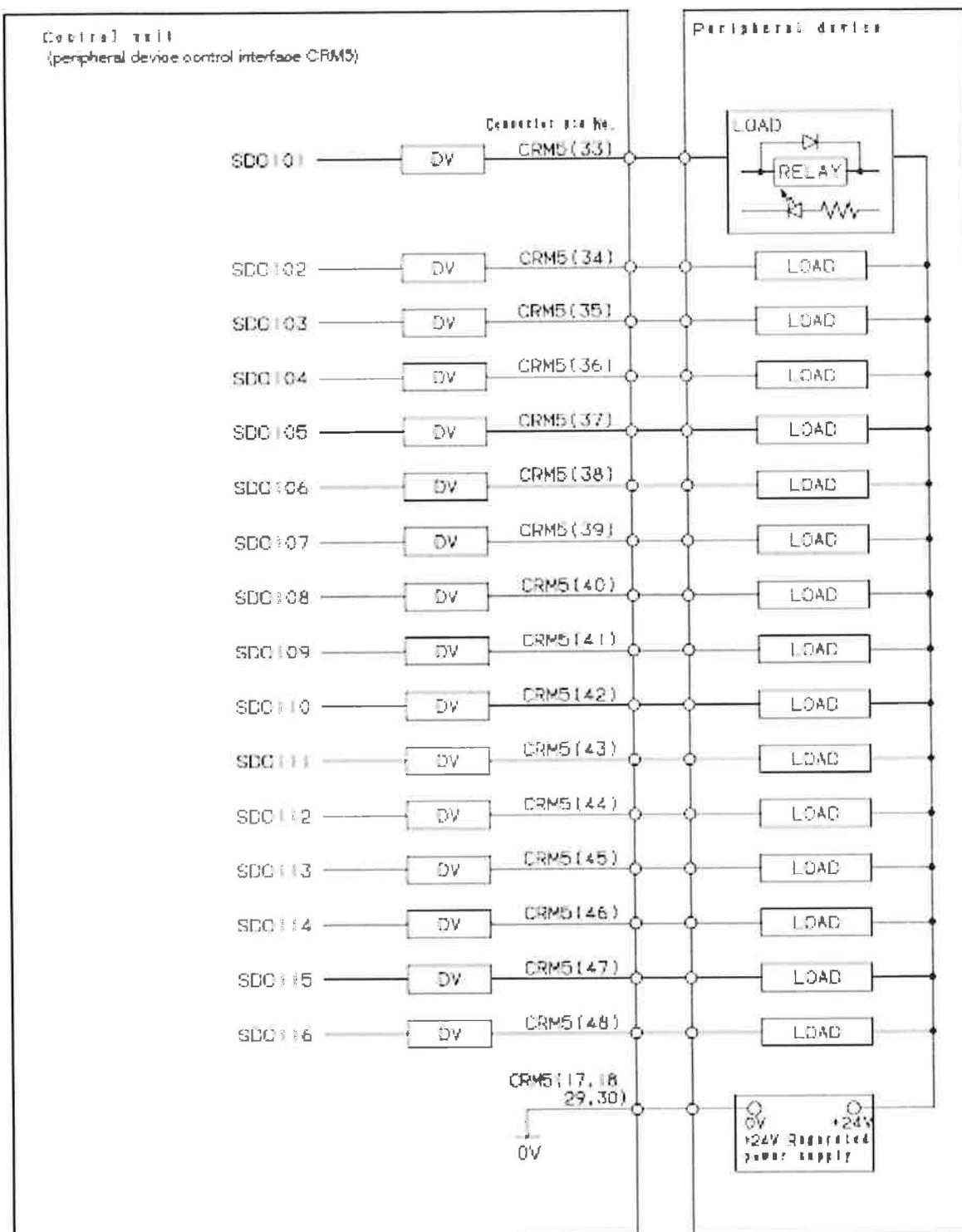


Figura 5.20. Interfaz de control de dispositivos periférico (señal de salida).

## CAPITULO V

Con respecto a las especificaciones de las señales de I/O digitales conectadas con el dispositivo periférico y el efector final, tendríamos los siguientes datos. En la figura 5.21 se aprecia la conexión de las señales de salida.

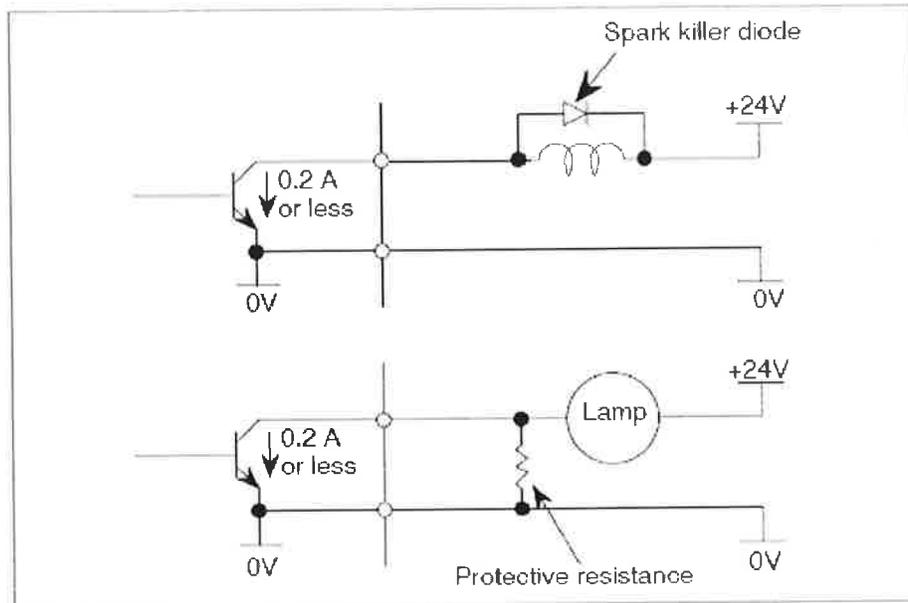


Figura 5.21. Ejemplo de conexiones

Regulación de las señales de salida.

Especificaciones eléctricas:

- Voltaje normal: 24 VDC.
- Voltaje máximo aplicado: 30 VDC.
- Carga máxima de corriente: 0.2 A.
- Tipo de Transistor: Colector abierto NPN.
- Voltaje de saturación en conexión: 1.0 V (aprox).

Especificaciones de protección del diodo.

- Voltaje inverso máximo: 100 V
- Corriente avanzada eficaz: 1<sup>a</sup>

Notas de uso.

- No use 24 V directamente al suministro de energía del robot, cargando un relevador, el solenoide, etc., conecte en paralelo con diodos para prevenir el flujo de corriente

## CAPITULO V

en sentido opuesto. Si una carga que causa una onda de corriente elevada, como la conexión de LED'S, use una resistencia protectora, como se aprecia en la figura 5.21.

Señal aplicable.

- La señal de salida del dispositivo periférico conectado CRM5: SDO101 a SDO116.

La regulación de señales de entrada.

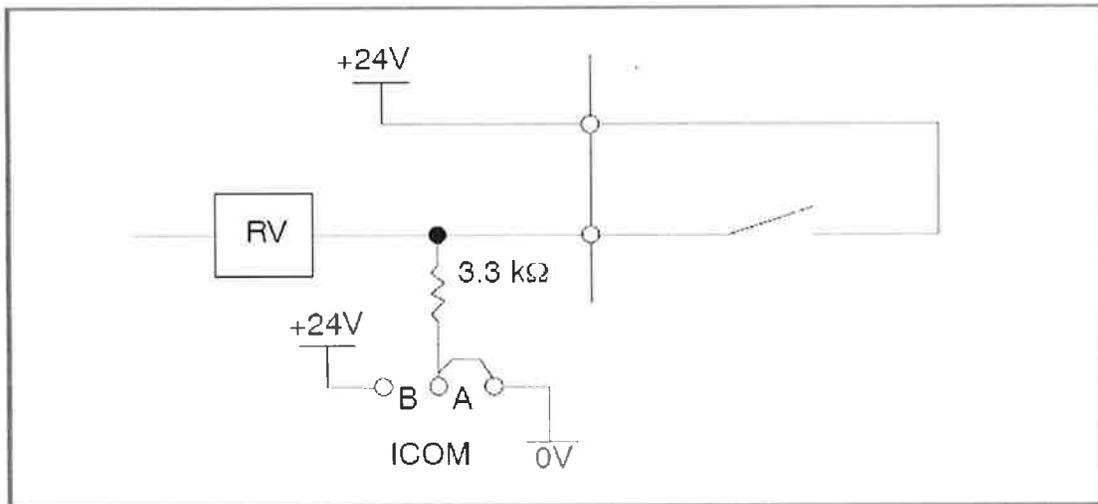


Figura 5.22. Ejemplo de conexión.

Especificaciones eléctricas del receptor.

- Tipo: voltaje a la entrada.
- Voltaje de entrada: Contacto cerrado: 20 V a 28 V.  
Contacto abierto: 0V a 4V.
- Voltaje de entrada máximo: 28 VDC.
- Impedancia de entrada: 3.3K $\Omega$  (aprox).
- Tiempo de respuesta: 5 mls a 20 mls.

Especificaciones del contacto de dispositivo periférico.

- Capacidad de contacto: 30 VDC, 50 mA.
- Ancho de señal a la entrada: 200 milisegundos.
- Tiempo Chattering: 5 milisegundos.
- Resistencia de circuito cerrado : 100 $\Omega$  o menos.

## CAPITULO V

- Resistencia de circuito abierto:  $100\text{ K}\Omega$

Notas de uso:

- Aplique la tensión de 24V del robot al receptor.
- Sin embargo, las regulaciones de señal deben estar satisfechas en el receptor del robot.

Señal aplicable.

- La señal de entrada del dispositivo periférico conectada CRM5: es de SDI101 a SDI120.

### 5.5. Diseño de Gripper.

Uno de los puntos del proyecto es el diseño del Gripper.

Para realizar el funcionamiento del proceso especificado al robot, el diseño del gripper debe tener las consideraciones siguientes:

- La garra del gripper debe permitir el manejo de todos los números de parte que circule por la línea de producción.
- No debe producir problemas al momento de entrar y cargar la pieza en la máquina.
- Debe ser construida con material resistente al movimiento del robot, resistir el peso de las piezas a lo largo del paso del tiempo.
- El diseño debe permitir el libre movimiento del robot al cargar, descargar las piezas en:
  - o conveyor de entrada o de carga,
  - o máquina y,
  - o conveyor de salida o de descarga.

Todos estos puntos se tomaron en consideración para el diseño de gripper. Tomando las dimensiones de la máquina, la posición del robot, y los distintos tamaños de los yugos que corren en producción.

El primer diseño, en el cual se pensó es mostrado en la figura 5.23 como una fotografía aparente. Inicialmente el robot pensado para esta producción sería el robot S-700, el cual se montaría en la plataforma de la misma máquina y para el cual se diseñó el gripper.

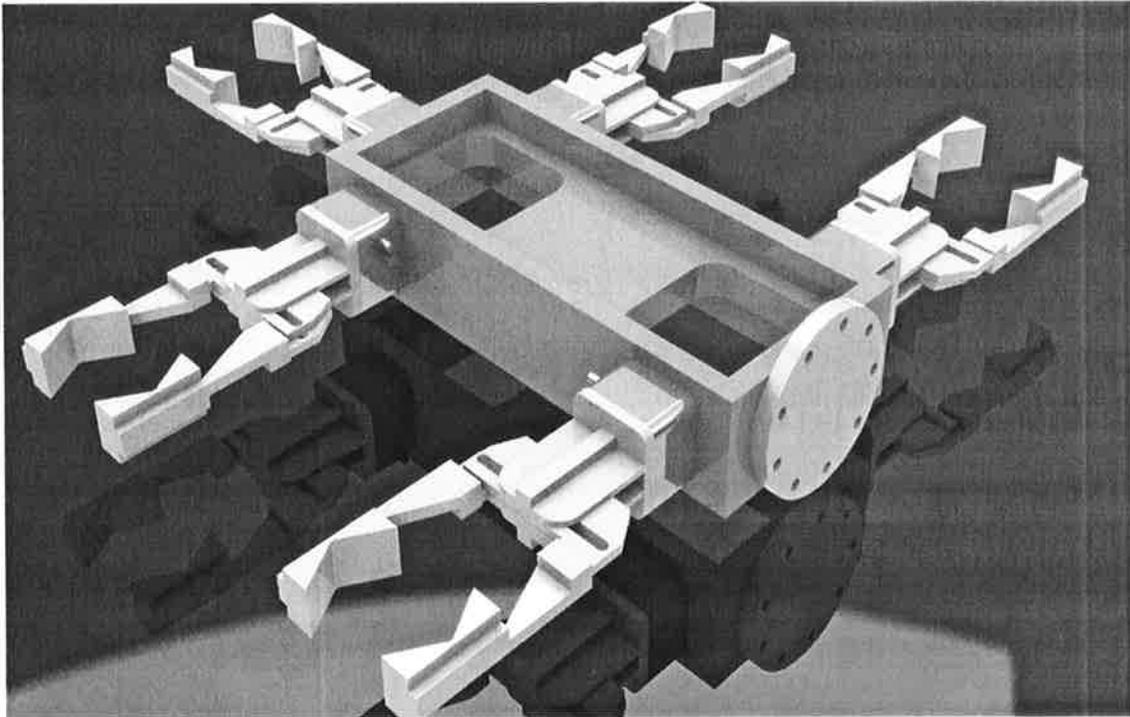


Figura 5.23. Diseño de Gripper 1

Como se aprecia en la figura, existen 5 garras, estas, propuestas por el movimiento de flujo de piezas que se sufre en la línea de producción. Las 2 primeras del lado derecho han sido especificadas para la carga de la máquina, las dos garras del lado izquierdo en sentido contrario fueron diseñadas para la descarga de la máquina. La garra del gripper que se localiza en la punta, como única, está diseñada solo, para los números de parte que en este caso solo corren una pieza dentro de la máquina, que son los casos muy contados, en este la garra realiza la operación de carga y descarga.

Para comprender como está la estructura de la máquina en la figura 5.24, se muestra una clara imagen de las dimensiones internas de la operación 50. En esta se puede observar las tres posiciones de los yugos, para la cual podría la producción ser de la siguiente manera.

- Producción máxima; en la cual se colocan dos yugos a los extremos, la brochadora ocupa dos herramientas o “brochas” y realiza dos brochados al instante.
- Producción media; en esta solo se coloca una pieza de yugo en la parte central de la máquina, y la misma solo ocupa un herramienta o “brocha” para realizar el brochado de la pieza, en este caso solo se realiza una operación.

## CAPITULO V

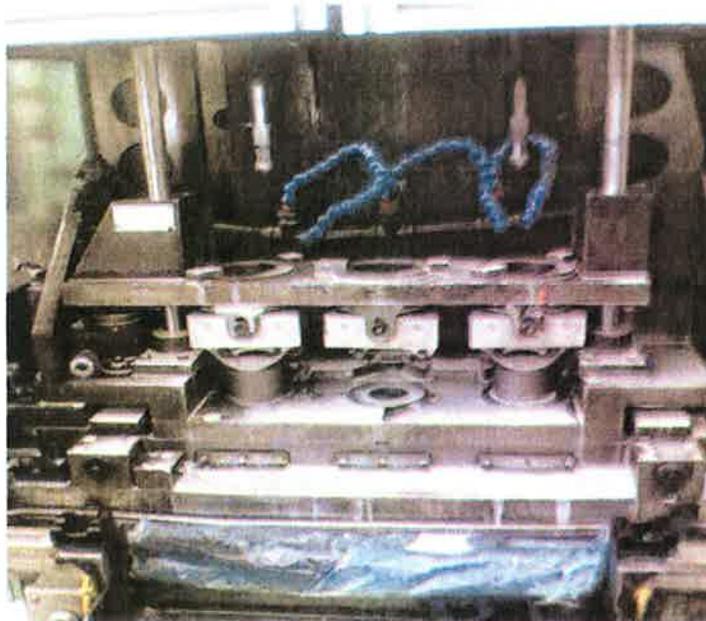


Figura 5.24. Fotografía de la operación 50.

Como se observa en la fotografía del interior de la máquina al igual que una de las piezas que se muestra, siendo esta una de las piezas más pequeñas pero no significativa, que circulan por la línea de producción. Tomando en cuenta los tamaños de los yugos, del más chico al más alto, del más delgado al más grueso, el tamaño de las garras se aprecia en la figura 5.25 mismo que integra el anexo A, en donde se recopilan los dibujos de ingeniería realizados. En la figura se muestra una ampliación de las dimensiones de la garra del gripper tomando en cuenta los tamaños de los yugos antes mencionados.

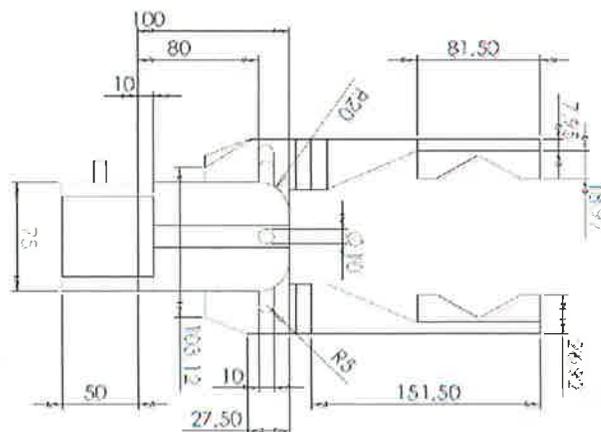


Figura 5.25. Dimensiones de garra del Gripper

## CAPITULO V

Toda dimensión aquí señalada es a tamaño real sin margen de error para prevenir colisiones con la estructura interna de la operación.

El segundo diseño corresponde el señalado para el robot Fanuc S-420i, el cual sería montado en una base de acero o hierro, colocada a un extremo de la máquina en la parte frontal.

Este diseño es diseñado en forma de V con un par de garras a cada extremo, y una garra independiente en la parte central, para las distintas cargas como antes se menciono de dicha producción.

En la figura 5.26 se muestra un esquema fotográfico del gripper en cuestión, en dimensiones reales.

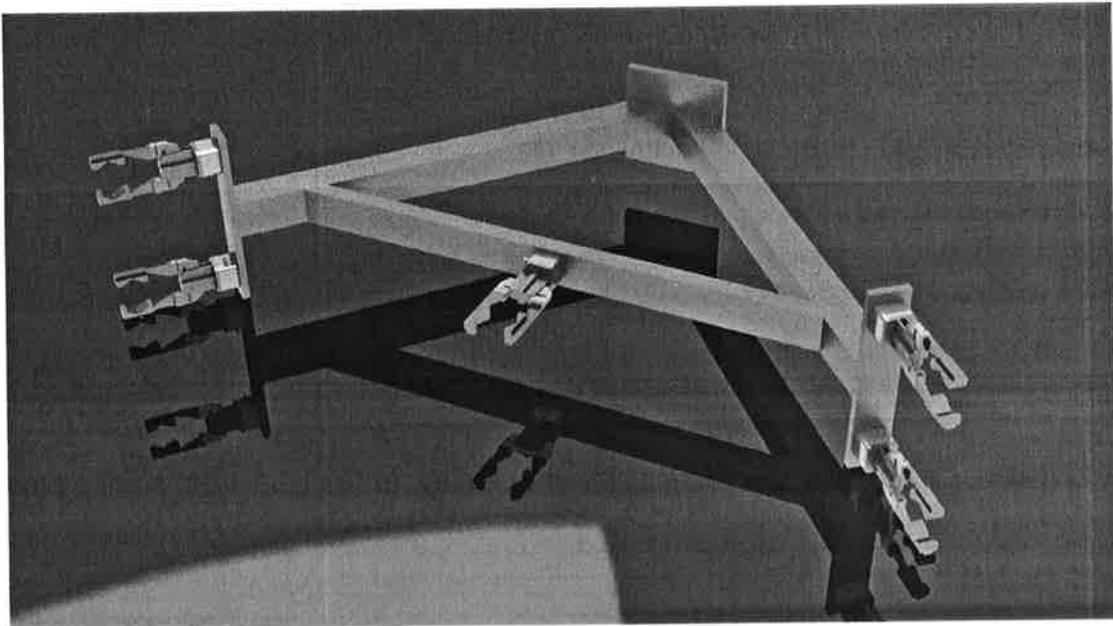


Figura 5.26. Segunda propuesta de Gripper.

Como en el caso anterior la garra sigue siendo la misma solo en el caso contrario las dimensiones cambian para el libre movimiento del robot. Para comprobar este caso se muestra en la figura 5.27, la imagen proporciona una perspectiva del gripper y la operación, en la cual se analiza que no se tienen impactos con la máquina y que puede tener un movimiento libre al rotarse el gripper.

## CAPITULO V

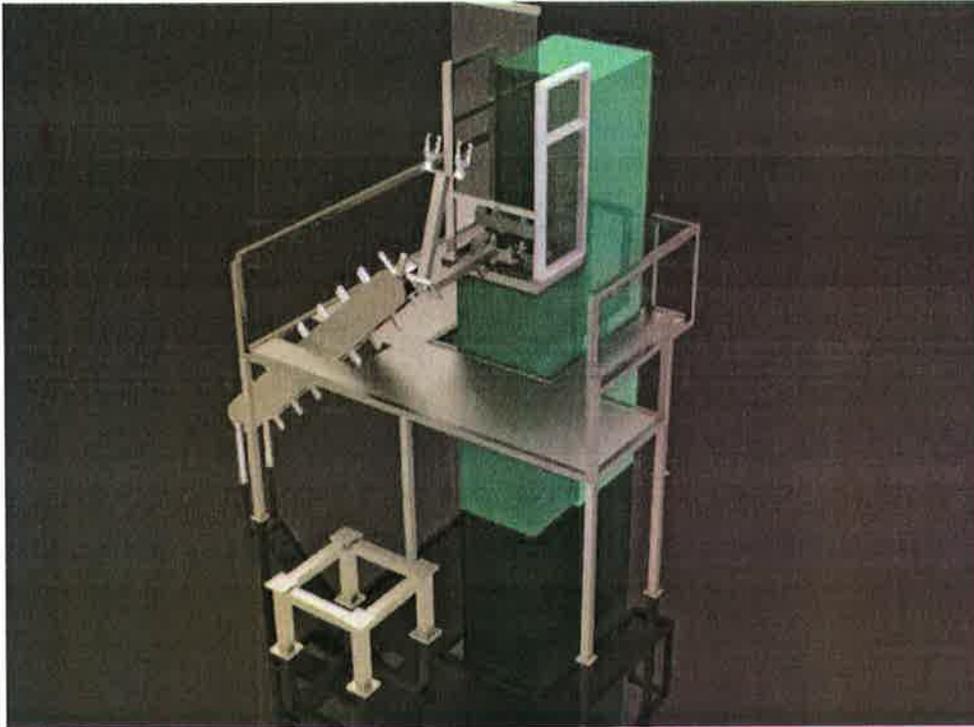


Figura 5.27. Espacio de trabajo sin colisión.

Definiendo que no se producirán problemas con la máquina y el gripper, y como se muestra en la imagen anterior, se procedió a la propuesta de diseño de conveyor, el cual sería localizable, proporcionando solides a los movimientos del robot.

En la figura 5.28 se muestra la ampliación del conveyor de la hoja del dibujo de ingeniería anexado.

En esta imagen se muestra que la punta terminal donde se coloca el yugo es del tipo domo o redondeada, una por cuestiones de seguridad, en la cual si el operario llegara a tener un accidente esta punta no perforaría ni dañaría la integridad personal del mismo.

Cada pilar está separado por una pieza de unión, y están separados en forma de zigzag, con una leve base para que el yugo no pueda tener movimiento durante el desplazamiento del conveyor de la OP 35 a la OP 50.

## CAPITULO V

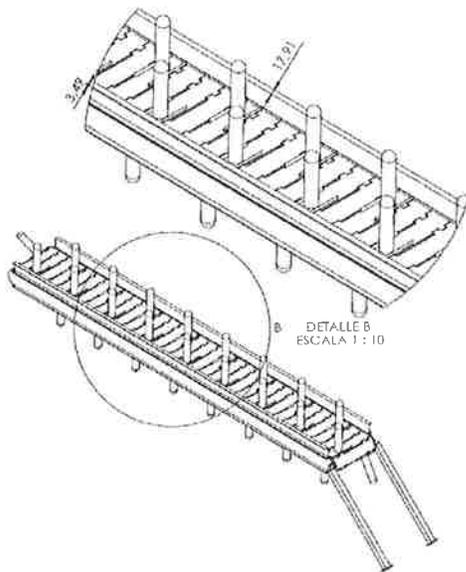


Figura 5.28. Conveyor localizable (Propuesta)

Para el accionamiento de las garras del gripper se coloca una caja de válvulas en la parte trasera del robot, en esta se colocarán las electroválvulas que serán accionadas por comandos externos o por el controlador mismo del robot mediante el programa.

En las figuras 5.29 se muestra la imagen de la primera propuesta de control de las garras del gripper en la cual las electroválvulas usadas son 5/2, con un pilotaje y retorno por muelle.

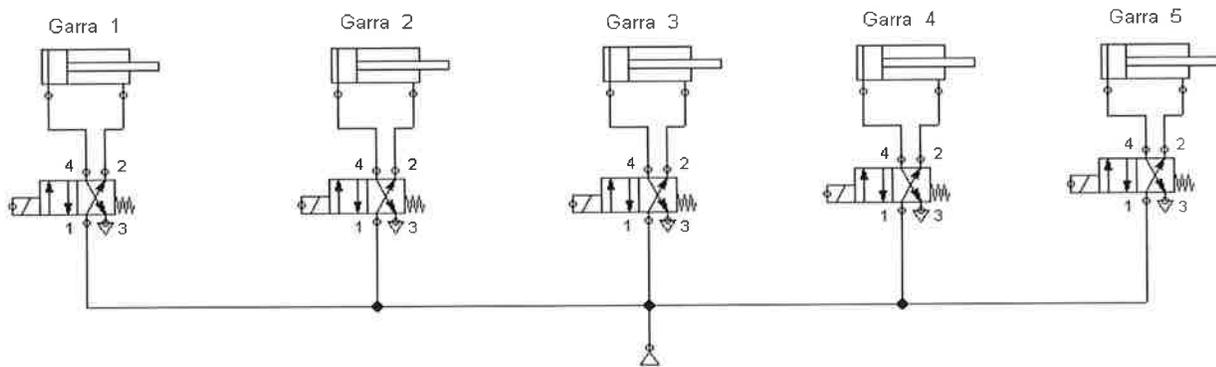


Figura 5.29. Accionamiento de las garras del gripper (FluidSim P, FESTO)

Los inconvenientes de este diseño son: la electroválvula debe estar accionada siempre que contenga pieza, la alimentación de aire debe ser consecutiva para mantener cerrada la garra.

En la figura 5.30 se muestra la segunda propuesta. En esta se utilizan electroválvulas 5/3 de doble pilotaje con retorno por muelles en ambos lados.

## CAPITULO V

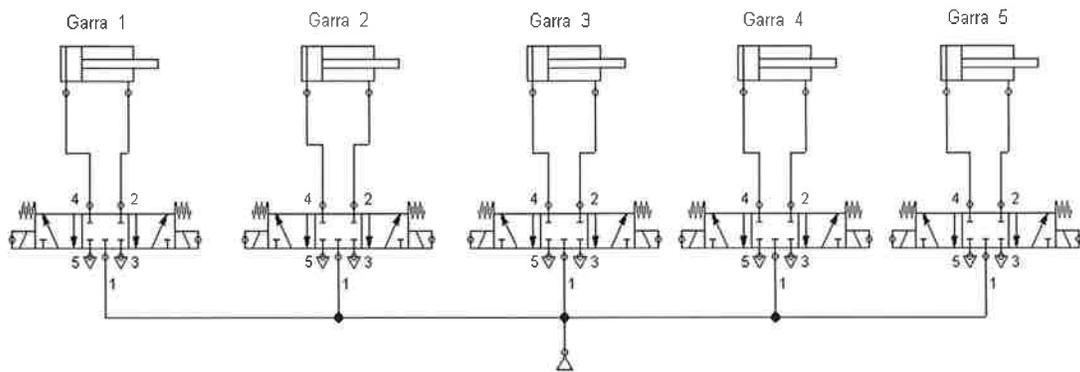


Figura 5.30 Accionamiento de garras de Gripper (FluidSim P, FESTO)

Este diseño proporciona una mayor seguridad en el aspecto, que si la alimentación, ya sea eléctrica o neumática falla la pieza no caerá y provocara daño alguno al personal.

### 5.6. Puesta en marcha y programa

Para poner en operación el robot Fanuc deberá programarse el control R-J2, el cual se ubicara junto al robot. El procedimiento es ingresando las instrucciones y luego grabar los puntos, clasificar las entradas y salidas, trabajando con el Teach Pendant.

Lista de asignaciones de entradas y salidas.

Operador	Símbolo	Comentario
I0.0	Sensor1	Sensor detector de pieza en conveyor a la entrada
I0.1	Sensor2	Sensor detector de pieza en conveyor a la salida
I0.2	Sensor3	Sensor detector de pieza en máquina.
O0.0	GripOpen1	Salida para activación de electroválvula gripper 1
O0.1	GripOpen2	Salida para activación de electroválvula gripper 2
O0.2	GripOpen3	Salida para activación de electroválvula gripper 3
O0.3	GripOpen4	Salida para activación de electroválvula gripper 4
O0.4	GripOpen5	Salida para activación de electroválvula gripper 5

Diagrama de funcionamiento del sistema.

El grafet que se presenta en la figura 5.31, muestra el diagrama de funcionamiento del proceso que realiza el Robot.

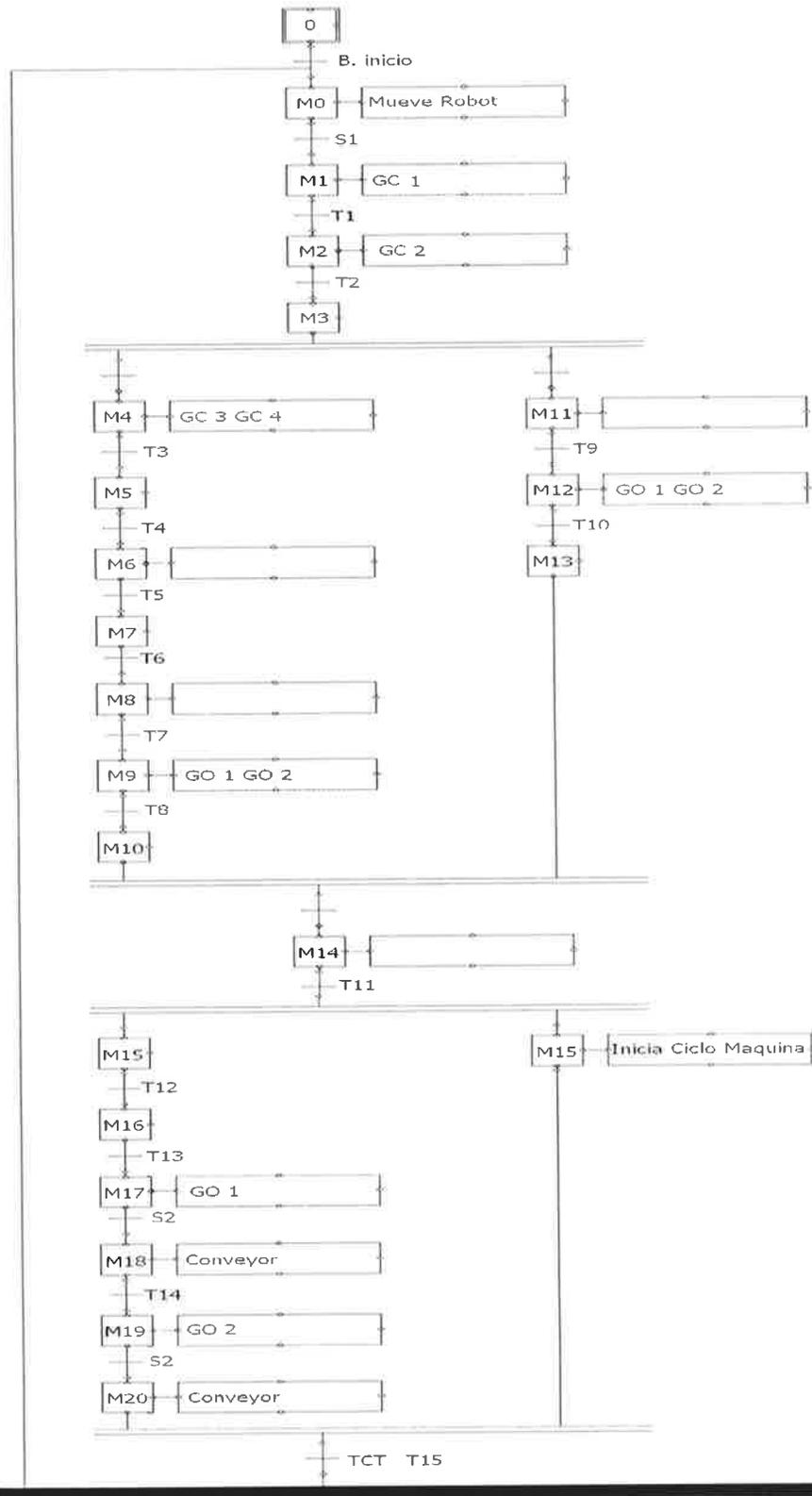


Figura 5.31. Grafet de Diagrama de funcionamiento del proceso del robot

## CAPITULO V

### Programa principal.

“inicio de programa, el cual involucra asignaciones los valores iniciales, las pausa, los tiempos, la memoria utilizada, y le asigna al PLC de Fanuc el numero de programa”

```
/PROG Prog2
/ATTR
OWNER          = MNEDITOR;
COMMENT        = "PROGRAMA ROBOT FANUC S-420"
PROG_SIZE      = 913;
CREATE         = DATE 80-02-25 TIME 20:03:08;
MODIFIED       = DATE 80-02-25 TIME 20:06:02;
FILE_NAME      = ;
VERSION        = 0;
LINE_COUNT     = 13;
MEMORY_SIZE    = 1197;
PROTECT        = READ_WRITE;
TCD: STACK_SIZE = 0,
    TASK_PRIORITY = 50,
    TIME_SLICE = 0,
    BUSY_LAMP_OFF = 0,
    ABORT_REQUEST = 0,
    PAUSE_REQUEST = 0;
DEFAULT_GROUP  = 1,*,*,*,*;
CONTROL_CODE   = 00000000 00000000;
/MN
1:!FANUC Robotics America ;
2:!ROBOGUIDE Generated This TPP ;
3:!Run SimPRO.cf to setup frame and tool data ;
4:!This program will be overwritten on the next save or run. ;
7:UTOOL_NUM= 1 ;
8:UFRAME_NUM= 1 ;
9: IF R[5:REC_ACK]=1 ,JMP LBL[36] ;
"Checa si el puerto está recibiendo un valor de 1(valor asignado al
sensor en bit0, los de mas deben estar a cero), si lo está recibiendo
salta a la línea 400, con un sensor normalmente cerrado

10:! Drop ;
11:! R[190] = $GROUP[1].$PAYLOAD ;
12:! R[190] = R[190] - 0.000 ;
13:! $GROUP[1].$PAYLOAD = R[190] ;
14:J P[1] 100% CNT100 ;
15:J P[2] 100% CNT100 ;
16:J P[3] 100% CNT100 ;
17:J P[4] 100% CNT100 ;
18:J P[5] 100% CNT100 ;
19:! Pickup ;
20:! R[190] = $GROUP[1].$PAYLOAD ;
21:! R[190] = R[190] + 0.000 ;
22:! $GROUP[1].$PAYLOAD = R[190] ;
23:! WAIT 0.00(sec) ;
24:WAIT 2.00(sec) ;
25:J P[6] 100% CNT100 ;
26:J P[7] 100% CNT100 ;
27:J P[8] 100% CNT100 ;
28:J P[9] 100% CNT100 ;
```

## CAPITULO V

```
29:! Drop ;
30:! R[190] = $GROUP[1].$PAYLOAD ;
31:! R[190] = R[190] - 0.000 ;
32:! $GROUP[1].$PAYLOAD = R[190] ;
33:! WAIT 0.00(sec) ;
34:WAIT 2.00(sec) ;
35:J P[10] 100% CNT100 ;
36:J P[11] 100% CNT100 ;
"termina la rutina de sacar la pieza en brochadora"

37:! Pickup ;
38:! R[190] = $GROUP[1].$PAYLOAD ;33
39:! R[190] = R[190] + 0.000 ;
40:! $GROUP[1].$PAYLOAD = R[190] ;
41:! WAIT 0.00(sec) ;
42:WAIT 2.00(sec) ;
43:J P[12] 100% CNT100 ;
44:J P[13] 100% CNT100 ;
45:J P[14] 100% CNT100 ;
46:J P[15] 100% CNT100 ;
47:! Drop ;
48:! R[190] = $GROUP[1].$PAYLOAD ;
49:! R[190] = R[190] - 0.000 ;
50:! $GROUP[1].$PAYLOAD = R[190] ;
51:! WAIT 0.00(sec) ;
52:WAIT 2.00(sec) ;
53:WAIT 2.00(sec) ;
54:J P[16] 100% CNT100 ;
55:J P[17] 100% CNT100 ;
/POS
/END
```

Para comprender los puntos de localización en el plano tridimensional y para datos de asignación de ubicación de cada movimiento se integra en el anexo B las coordenadas de cada punto.

## 5.7. Manual de operación.

### 5.7.1. Teach Pendant (Unidad de Programación)

#### TEACH PENDANT (COMPONENTES)

Dispositivo que utilizamos para:

- mover el robot, configurar la aplicación, crear y editar los programas.
- verificar programas ya creados.
- poner el robot en condiciones de producción.
- verificar status del robot.
- ejecutar funciones manuales.

Existen 2 tipos de TP disponibles:

#### MONOCROMÁTICO:

*Pantalla de 16 líneas y 40 caracteres (Figura 5.32)*

Once indicadores de Status

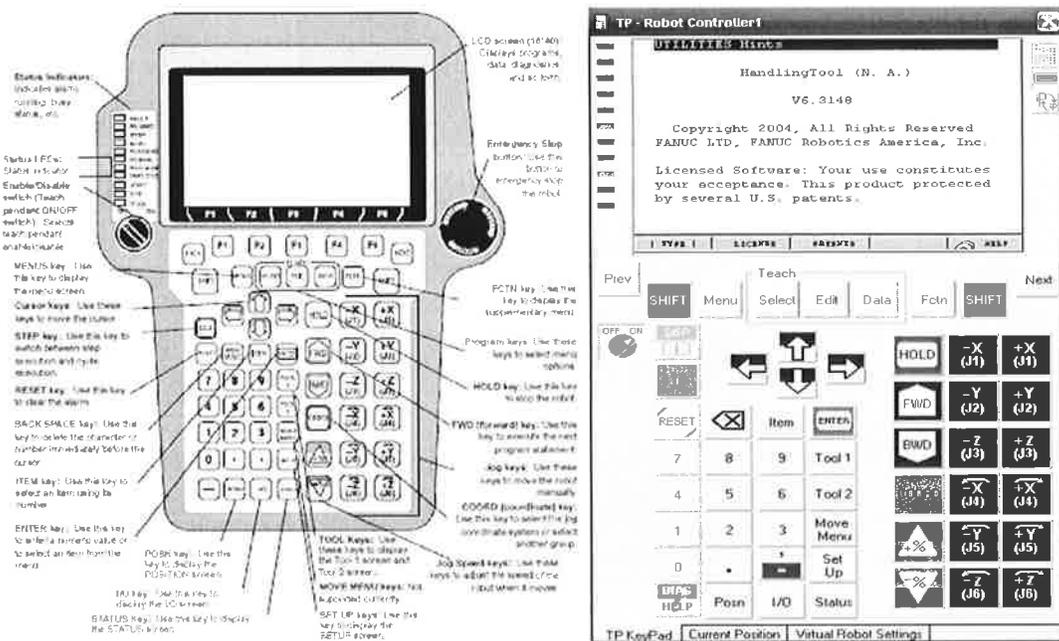


Figura 5.32. Teach Pendant Monocromático. TP de Simulador FanucRobotics.

**IPENDANT:**

- Una interfase gráfica a color.
- Es una barra de Indicadores de estatus.
- Múltiples ventanas.
- Tiene integrado la ayuda y los diagnósticos.



Figura. 5.33. Teach Pendant Tipo Ipendant.

El dispositivo de habilitamiento se encuentra en la parte posterior del TP (Figura 5.34), nos habilita el movimiento del robot únicamente cuando se encuentra en la posición intermedia

El Dispositivo de habilitamiento tiene tres posiciones:

- 1 Liberado.
- 2 Media.
- 3 Presionado a tope.

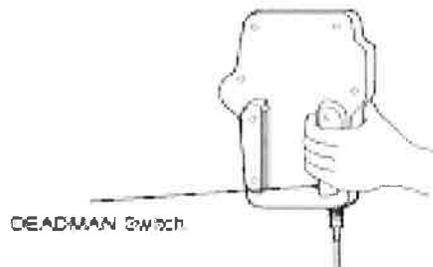


Figura 5.34. Accionamiento DEADMAN Switch

## CAPITULO V

En la figura 5.35 se muestra la función de cada una de las teclas del Teach Pendant.

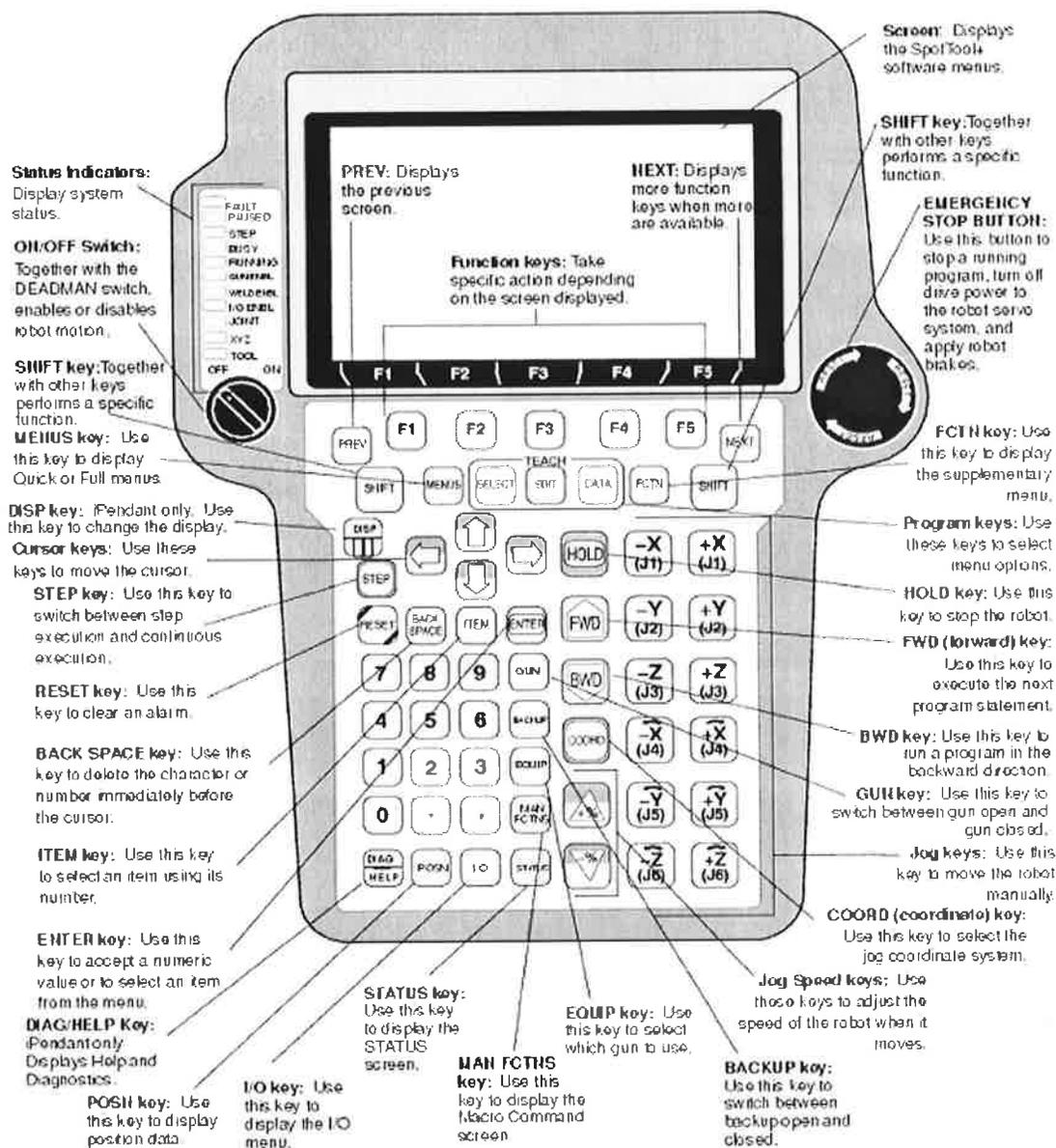


figura 5.35. Función de cada una de las teclas.

### 5.7.2. Movimiento del Robot.

#### FACTORES QUE INFLUYEN AL MOVER UN ROBOT:

- Velocidad de movimiento,
- Sistema de coordenadas (explicar tipos de coordenadas),

## CAPITULO V

- Movimiento de ejes menores (regla de la mano derecha),
- Movimiento del TCP.

### Velocidad de Movimiento

La velocidad de movimiento es un porcentaje de la velocidad máxima a la cual se puede mover el robot. La velocidad actual se despliega en la esquina superior derecha de cada pantalla del TP.

Una velocidad de movimiento del 100% indica que el robot se moverá a la máxima velocidad, dependiendo del modo seleccionado. La velocidad máxima puede variar dependiendo del modelo del robot. La velocidad máxima está definida por la velocidad en que se mueve el TCP y debe estar por debajo de los 250 mm/seg en modo T1. Una velocidad de FINO o MUY FINO indica que el robot se moverá por pasos de pequeños incrementos.

Las teclas de movimiento en el TP (figura 5.36) que se utilizan para incrementar o disminuir la velocidad en que se moverá la unidad mecánica se muestran a continuación. La combinación de la tecla SHIFT y las de velocidad de movimiento ocasionan que la velocidad cambie entre, 100, 50, 5, FINE, VFINE.

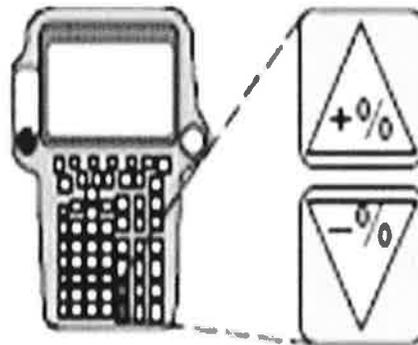


Figura 5.36. Teclas de velocidad de movimiento.

### Sistemas de Coordenadas

En movimiento con el TP, un sistema de coordenadas define como se moverá el robot. Existen 5 sistemas de coordenadas:

- JOINT.
- XYZ - incluye WORLD, JGFRM, y USER.

CAPITULO V

- TOOL.
- PATH – (Sólo para Soldadura de Arco, Arc Tool).
- LDR 2 – Movimientos Coordinados, Refiérase al manual *FANUC Robotics SYSTEM R-J3iB Controller Coordinated Motion Manual*.

Puedes cambiar el Sistema de Coordenadas presionando la tecla COORD en el TP como se muestra en la figura 5.37. El sistema de coordenadas que tu seleccionas se despliega en la esquina superior derecha de la pantalla en TP, y en los indicadores del TP, Encendiendo los LEDs que corresponden al sistema de coordenadas seleccionado (tabla 5.12 y 5.13).

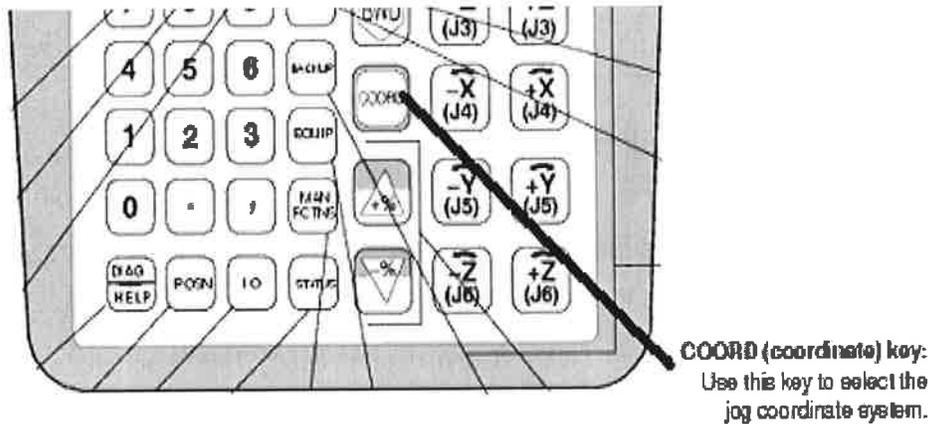


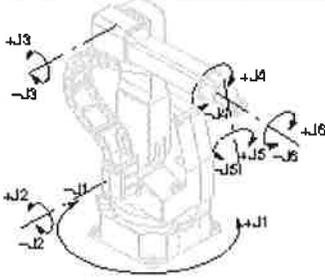
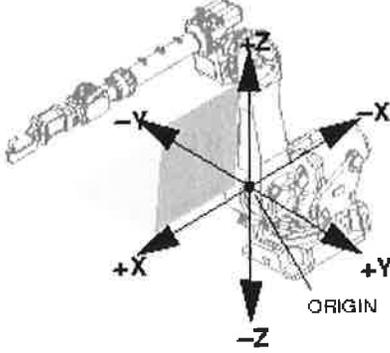
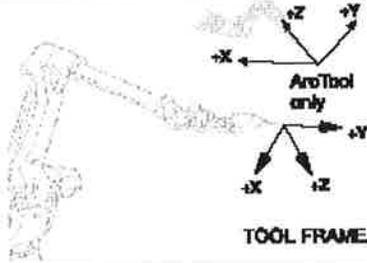
Figura 5.37. Tecla COORD en TP

Tabla 5.12. Indicadores LCD

LCD	Sistema de Coordenadas
JOINT	JOINT
XYZ	WORLD, USER, JGFRAME
TOOL	TOOL
PATH	PATH (Sólo ArcTool)

En la tabla 5.13 se muestran las descripciones de cada uno de los sistemas de coordenadas LCD.

Tabla 5.13. Descripción de sistemas de coordenadas

SISTEMA DE COORDENADAS E INDICADOR	DESCRIPCION	ILUSTRACIÓN
<p><b>JOINT</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> JOINT  <input type="checkbox"/> XYZ  <input type="checkbox"/> TOOL</p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON</p>	<p>Mueve individualmente los ejes del robot</p>	
<p><b>XYZ</b></p> <p><input type="checkbox"/> JOINT  <input checked="" type="checkbox"/> XYZ  <input type="checkbox"/> TOOL</p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON</p>	<p>Mueve el TCP del robot en las direcciones X, Y, Z y gira al rededor de x (w), y (p), o z®.</p>	
<p><b>TOOL</b></p> <p><input type="checkbox"/> JOINT  <input type="checkbox"/> XYZ  <input checked="" type="checkbox"/> TOOL</p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON</p>	<p>Mueve el TCP del robot en las direcciones X, Y, Z y gira al rededor de x (w), y (p), o z®. En el tool frame seleccionado.</p>	

### 5.7.3. Dar de alta un TCP (Tool Center Point)

En los párrafos siguientes se muestra el ajuste de un punto central en la herramienta que está montada en el robot, para poder moverlo con respecto a los ejes de la herramienta, así como reorientar dicha herramienta cuando sea necesario, mediante el método de los seis puntos.

## 5.7.3.1. METODOS DE LOS 6 PUNTOS

**PROCEDIMIENTO**

1. Presionar MENU,
2. Seleccionar SETUP,
3. Presionar F1, [TYPE],
4. Seleccionar Frames,
5. Seleccionar grupo de movimientos 1, presionando F3[OTHER] si el que aparece en la pantalla no es el grupo 1 (Group1),
6. Si no aparece la pantalla correspondiente a las coordenadas del grupo 1 presiona F3[OTHER], y seleccionar Tool Frame. Si al hacer lo anterior no se despliega la pantalla presiona PREV, hasta que aparezca una pantalla como se muestra en la figura 5.38.

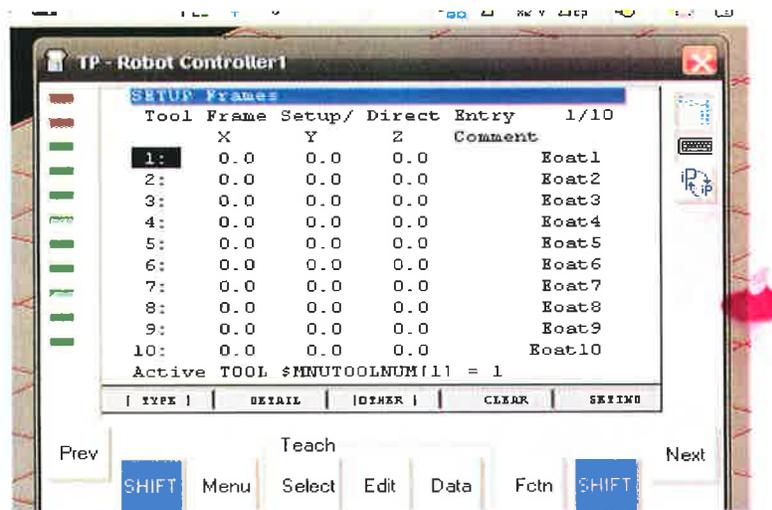


Figura 5.38. Pantalla de Coordenadas, TP de Simulador FanucRobotics.

7. Poner los valores a cero, ubicar el cursor en cada coordenada del 1 al 6 y presionar F4, CLEAR, y posteriormente confirmar presionando YES, F4.
8. Presione F2, DETAIL.
9. Para seleccionar un Frame.
  - a. Presione F3, FRAME,
  - b. Teclar el número de FRAME deseado,
  - c. Presionar ENTER,

## CAPITULO V

10. Presionar F2, [METHOD].

11. Seleccionar SIX POINT. Y aparecerá una pantalla como la que se muestra en la figura 5.39 y 5.40.



Figura 5.39. Menu de selección

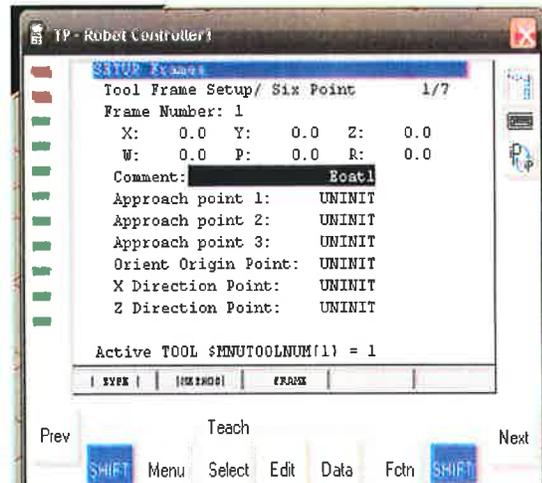


Figura 5.40. Pantalla de Selección de Six Point

12. Agregue un comentario.

13. Grabe el primer punto.

- Mueva el cursor hacia Approach Point 1.
- Mueva el robot manualmente hasta que un punto de la referencia con el toque del punto de referencia.
- Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD.

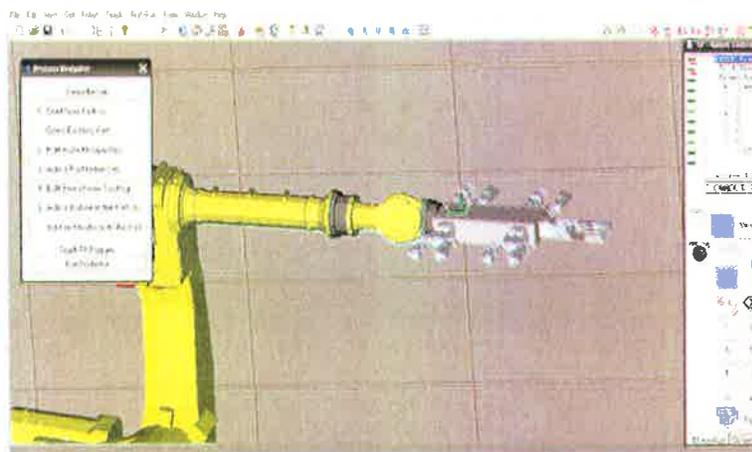


Figura 5.41. Grabando el primer punto, TP de Simulador FanucRobotics.

## CAPITULO V

### 14. Grabar el segundo punto. (figura 5.42)

- a. Mueva el cursor hacia Approach point 3.
- b. Gire la herramienta o gripper 90°.
- c. Mueva el robot hasta que el punto fijo en la herramienta toque el punto de referencia usado en el paso 13.
- d. Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD al mismo tiempo.

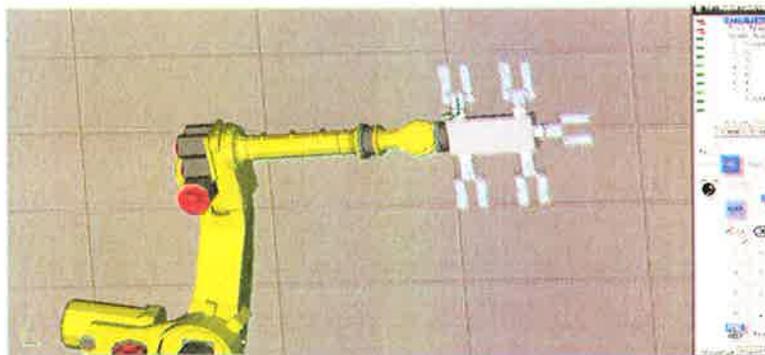


Figura 5.42. Grabando el segundo punto. TP de Simulador FanucRobotics.

### 15. Grabemos el tercer punto. (figura 5.43).

- a. Mueva el cursor al tercer punto en el TP.
- b. Gire la herramienta o gripper alrededor del eje X o Y en las coordenadas de la herramienta, entre 90° y 180°.
- c. Mover el robot y hacer que el punto fijo de la herramienta coincida con el punto de referencia.
- d. Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD al mismo tiempo.

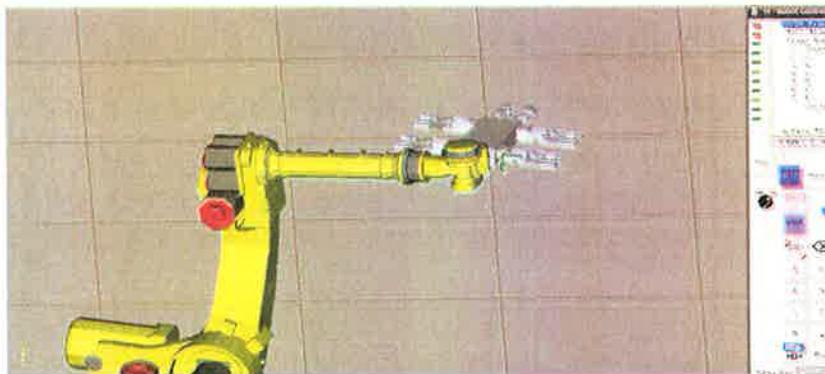
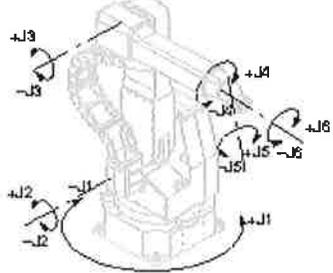
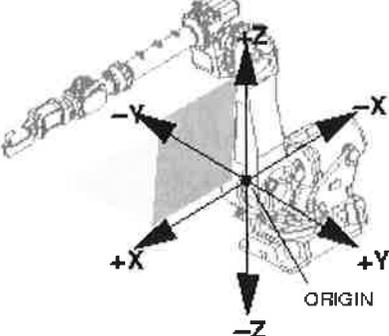
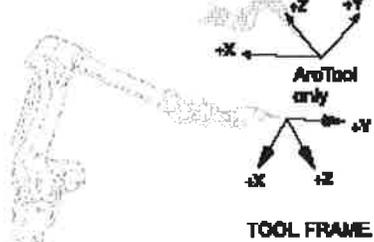


Figura 5.43. Grabando el tercer punto. TP de Simulador FanucRobotics.

Tabla 5.13. Descripción de sistemas de coordenadas

SISTEMA DE COORDENADAS E INDICADOR	DESCRIPCION	ILUSTRACIÓN
<p><b>JOINT</b></p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> JOINT  <input type="checkbox"/> XYZ  <input type="checkbox"/> TOOL                 </p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>Mueve individualmente los ejes del robot</p>	
<p><b>XYZ</b></p> <p> <input type="checkbox"/> JOINT  <input checked="" type="checkbox"/> XYZ  <input type="checkbox"/> TOOL                 </p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>Mueve el TCP del robot en las direcciones X, Y, Z y gira al rededor de x (w), y (p), o z®.</p>	
<p><b>TOOL</b></p> <p> <input type="checkbox"/> JOINT  <input type="checkbox"/> XYZ  <input checked="" type="checkbox"/> TOOL                 </p> <p>OFF <input type="checkbox"/> ON <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>Mueve el TCP del robot en las direcciones X, Y, Z y gira al rededor de x (w), y (p), o z®. En el tool frame seleccionado.</p>	

**5.7.3. Dar de alta un TCP (Tool Center Point)**

En los párrafos siguientes se muestra el ajuste de un punto central en la herramienta que está montada en el robot, para poder moverlo con respecto a los ejes de la herramienta, así como reorientar dicha herramienta cuando sea necesario, mediante el método de los seis puntos.

**5.7.3.1. METODOS DE LOS 6 PUNTOS****PROCEDIMIENTO**

1. Presionar MENU,
2. Seleccionar SETUP,
3. Presionar F1, [TYPE],
4. Seleccionar Frames,
5. Seleccionar grupo de movimientos 1, presionando F3[OTHER] si el que aparece en la pantalla no es el grupo 1 (Group1),
6. Si no aparece la pantalla correspondiente a las coordenadas del grupo 1 presiona F3[OTHER], y seleccionar Tool Frame. Si al hacer lo anterior no se despliega la pantalla presiona PREV, hasta que aparezca una pantalla como se muestra en la figura 5.38.

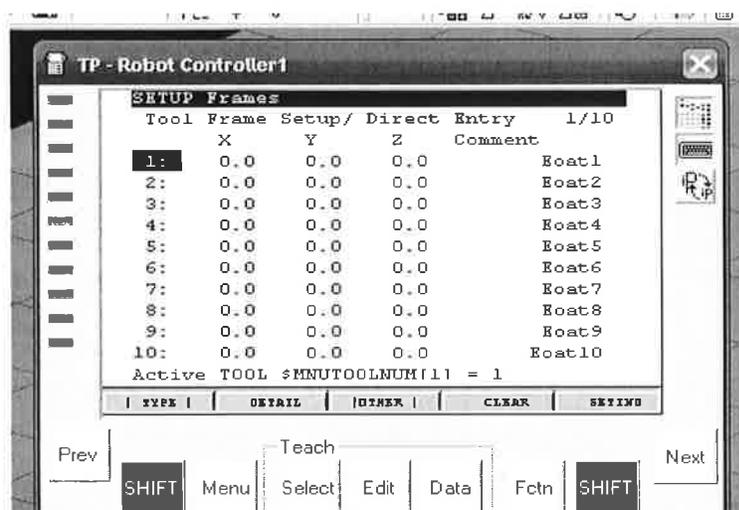


Figura 5.38. Pantalla de Coordenadas, TP de Simulador FanucRobotics.

7. Poner los valores a cero, ubicar el cursor en cada coordenada del 1 al 6 y presionar F4, CLEAR, y posteriormente confirmar presionando YES, F4.
8. Presione F2, DETAIL.
9. Para seleccionar un Frame.
  - a. Presione F3, FRAME,
  - b. Teclar el número de FRAME deseado,
  - c. Presionar ENTER,

## CAPITULO V

10. Presionar F2, [METHOD].

11. Seleccionar SIX POINT. Y aparecerá una pantalla como la que se muestra en la figura 5.39 y 5.40.

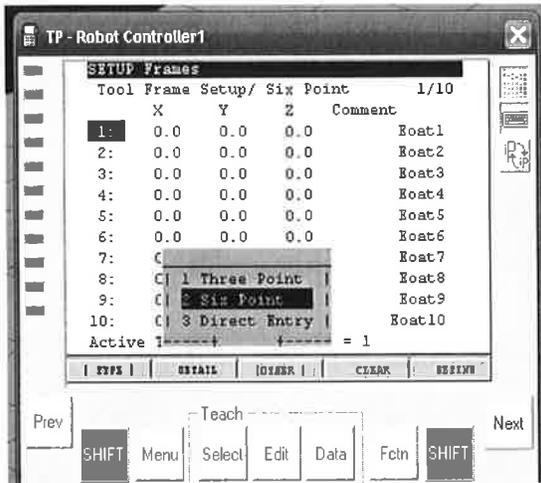


Figura 5.39. Menu de selección

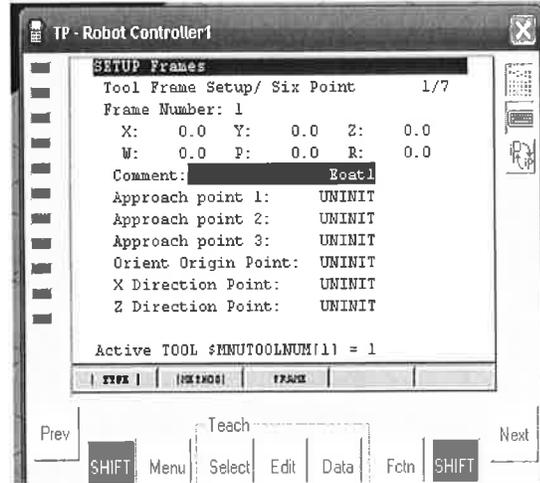


Figura 5.40. Pantalla de Selección de Six Point

12. Agregue un comentario.

13. Grabe el primer punto.

- Mueva el cursor hacia Approach Point 1.
- Mueva el robot manualmente hasta que un punto de la referencia con el toque del punto de referencia.
- Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD.

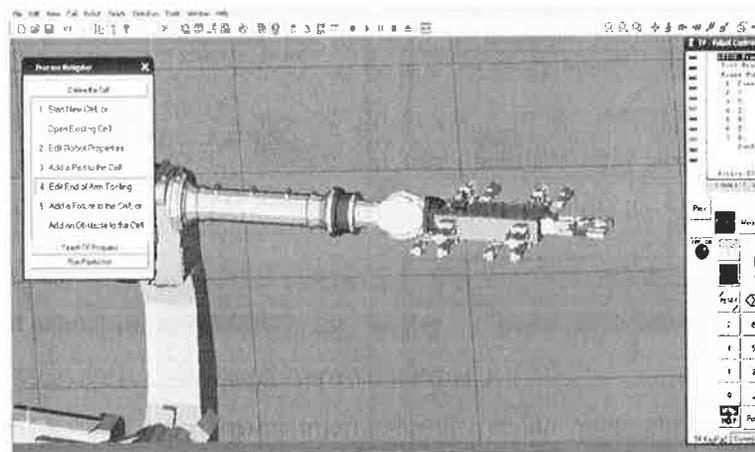


Figura 5.41. Grabando el primer punto, TP de Simulador FanucRobotics.

## CAPITULO V

### 14. Grabar el segundo punto. (figura 5.42)

- a. Mueva el cursor hacia Approach point 3.
- b. Gire la herramienta o gripper 90°.
- c. Mueva el robot hasta que el punto fijo en la herramienta toque el punto de referencia usado en el paso 13.
- d. Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD al mismo tiempo.

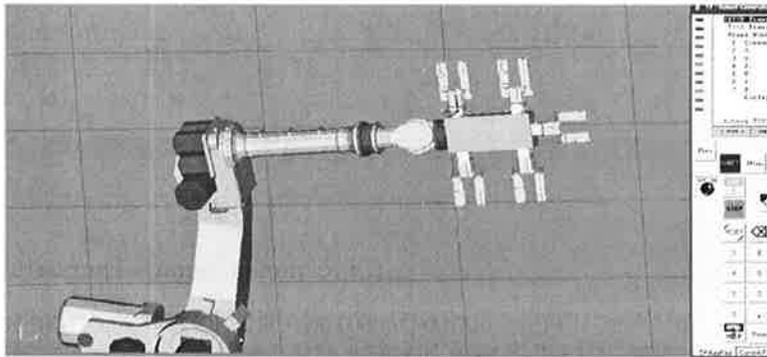


Figura 5.42. Grabando el segundo punto. TP de Simulador FanucRobotics.

### 15. Grabemos el tercer punto. (figura 5.43).

- a. Mueva el cursor al tercer punto en el TP.
- b. Gire la herramienta o gripper alrededor del eje X o Y en las coordenadas de la herramienta, entre 90° y 180°.
- c. Mover el robot y hacer que el punto fijo de la herramienta coincida con el punto de referencia.
- d. Grabe este punto presionando SHIFT y F5, RECORD al mismo tiempo.

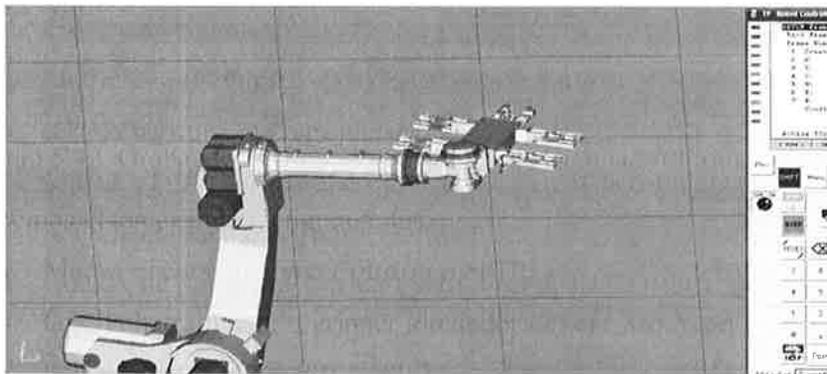


Figura 5.43. Grabando el tercer punto. TP de Simulador FanucRobotics.

## CAPITULO V

16. Definir 118atería118n118n para el TCP (figura 5.44).
  - a. Posicionar el cursor en la variable ORIENT ORIGIN POINT del TP.
  - b. Mueva el robot hasta que la herramienta quede totalmente paralela al eje Z de las coordenadas MUNDO, así como el eje X.
  - c. Grabe presionando SHIFT y F5, RECORD.

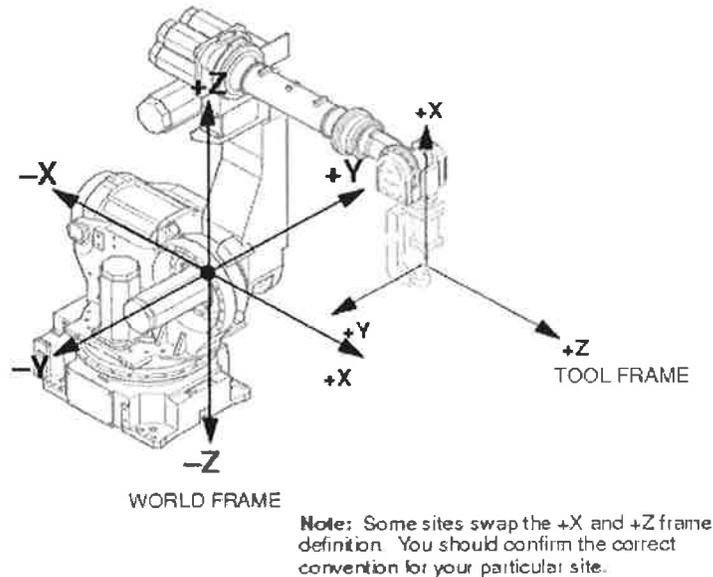


Figura 5.44. Orientación del TCP

17. Definir el sentido de X+
  - a. Mover el cursor hacia X Direction Point.
  - b. Cambiar de coordenadas JOINT a WORLD.
  - c. Mover el robot sobre el eje X hacia donde se desee que sea X+ para la herramienta.
  - d. Presione SHIFT y F5, RECORD para grabar.
18. Definir el sentido de Z+.
  - a. Mover el cursor hacia ORIENT ORIGIN POINT.
  - b. Presionar SHIFT y F4, MOVE\_TO, para mover el robot hacia ORIENT ORIGIN POINT.
  - c. Mover el cursor hacia Z DIRECT POINT.
  - d. Mover el robot en la 118atería118n de Z+ (en coordenadas de WORLD).
  - e. Presionar SHIFT y F5, RECORD para grabar.

### 5.7.4. Crear un programa de TP

Procedimiento para crear un programa de TEACH PENDANT.

1. SELECT.
2. CREATE.
3. PROGRAM NAME.

Poner comentario al programa

1. SELECT.
2. PROGRAMA.
3. COMMENT.
4. ENTER.
5. EDITAMOS.

Ejemplo de programa creado:

```

1:  !***** ;
2:  !PICKUP PART FROM TOOL 1 ;
3:  !***** ;
4:  !ENTERING PICKUP - PATH SEGMENT ;
5:  SET SEGMENT(10) ;r
6:  ;
7:  !"Enter I-Zone with AE020R01" ;
8:  ENTER I-ZONE (1) ;r
9:  ;
10: UTOOL_NUM=1 ;r
11: UFRAME_NUM=0 ;r
12: ;
13: J P[18] 100% CNT100 ;
14: J P[15] 100% CNT100 ;
15: J P[1] 100% CNT100 ;
16: J P[16] 100% CNT100 ;
17: L P[2] 2000mm/sec CNT100 ;
18: L P[3] 2000mm/sec CNT100 ;
19: L P[4] 200mm/sec FINE ;
    
```

### 5.7.5. Definición de macros.

Son programas preestablecidos de movimientos normalmente, los cuales se mandan llamar desde cualquier programa raíz, que se realice, cuando se requiere que el robot se mueva hacia *HOME*, *POUNCE*, *REPAIR*, *CALIB*, etc. En estos programas se editan o modifican

## CAPITULO V

las posiciones y movimientos que el robot debe seguir para llegar a *HOME*, *POUNCE*, *REPAIR*, etc.

### ASIGNAR EL ESTILO DE UN PROGRAMA.

Pasos:

1. MENU.
2. SETUP.
3. PROG SELECT.
4. Posicionarse en STYLE.
5. DETAILS.
6. ENTER.

Se cambia el estilo.

### 5.7.6. Manipulación de Archivos.

#### TIPOS DE ARCHIVOS

Para poder utilizar los archivos del robot, es de suma importancia que el usuario sepa con que tipos de archivo cuenta para así hacer un manejo adecuado de estos.

Se puede determinar el tipo de archivo observando el nombre de estos. Los diferentes tipos de archivos con los que el robot cuenta se pueden visualizar en el MENU FILE.

El nombre de un archivo consiste de un nombre propio seguido por un (.) y posteriormente dos o tres letras que se conocen como extensión y que son las que determinan el tipo de archivo (tabla 5.14).

Ej. **FILE.XX**, donde FILE es el nombre del archivo y XX es el tipo de archivo.

Tabla 5.14 Tabla de descripción de tipo de archivos.

File Type	Description
Bit map file (.BMP)	This file type contains bit map images used in robot vision systems.
Command file (.CF)	This file type contains text (ASCII) files that contain a sequence of KCL commands for a command procedure.
Condition handler file (.CH)	This file type contains files that are used as part of the condition monitor feature.
Default file (.DF)	This file type contains binary files that contain the default motion instructions for teach pendant programming.

CAPITULO V

File Type	Description
Diagnostic file (.DG)	This file type is an ASCII file that provides you with a snapshot of the special diagnostic files on the memory device. The names of the diagnostic files are stored in the system variable \$FILE_DGBCK.
Data file (.DT)	This file type contains text (ASCII) or binary files that contain any data that is needed by the user.
I/O file (.IO)	This file type contains binary files that store configuration data.
KAREL file (.KL)	This file type contains text (ASCII) files that contain the KAREL language statements for a KAREL program.
Listing file (.LS)	<p>This file type contains text (ASCII) files that contain the listing of a KAREL language program, and line numbers for each KAREL statement. Listing files are also generated when a teach pendant screen is printed.</p> <p>Listing files also include error log files and other special diagnostic files.</p>
Part model file (.ML)	This file type contains part model information used in robot vision systems.
Mnemonic(.MN)	Files of this type are supported in previous versions of the application software.
Macro (.MR)	This file type contains programs with a macro sub type.
P-Code file (.PC)	This file type contains binary files that contain the translated version of a .KL KAREL program file. This is the file that is actually loaded into controller memory and executed.
PMC (.PMC)	This file type contains Programmable Machine Controller (PMC) information.
Process (.PR)	This file type contains programs with a process sub type.
System file (.SV)	This file type contains binary files that store default values for system variable, servo parameter data, and mastering data.
Teach pendant program file (.MN)	This file type contains binary files that contain teach pendant instructions for teach pendant programs.
Text file (.TX)	This file type contains text (ASCII) files that contain system-defined or user-defined text.
Variable listing file (.VA)	This file type contains text (ASCII) files that contain the listing of KAREL variables or system variables.
Variable file (.VR)	This file type contains binary files that contain variable data for a KAREL program.

**SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO**

La primer cosa que debes hacer es seleccionar un STORAGE DEVICE (Dispositivo de almacenamiento). Esto es llamado seleccionar el dispositivo de default.

Los siguientes tipos de dispositivos de almacenamiento pueden ser usados para almacenar programas y archivos:

- PS-100/PS-110.
- PC IBM o computadoras personales compatibles con software de emulación.
- Tarjeta de memoria PCMCIA.
- Floppy disk.

**DAR DE ALTA DISPOSITIVO PREESTABLECIDO**

Seleccionando el dispositivo de default.

Elegir el dispositivo del robot que respaldara/restablecerá:

- Presionar MENU.
- Seleccionar FILE.
- Presionar F1, [TYPE].
- Seleccionar FILE (Figura 5.45).

```

FILE
MC:\*.*
 1  *      * (all files)
 2  *      KL (all KAREL source)
 3  *      CF (all command files)
 4  *      TX (all text files)
 5  *      LS (all KAREL listings)
 6  *      DT (all KAREL data files)
 7  *      PC (all KAREL p-code)
 8  *      TP (all TP programs)
 9  *      MN (all MN programs)
10  *      VR (all variable files)
11  *      SV (all system files)
12  *      IO (I/O config data)
13  *      DF (all DEFAULT files)
14  *      ML (all part model files)
15  *      BMP (all bit-map images)
16  *      PMC (all PMC files)
17  [you enter]
Press DIR to generate directory

```

Figura 5.45. Alta de dispositivo preestablecido.

## CAPITULO V

Presiona F5, [UTIL].

Seleccione *SET DEVICE*.

Mueva el cursor a el dispositivo que quiera seleccionar y presione ENTER.

```
FILE
MC:\*.*
```

El dispositivo de default esta ahora seleccionado.

El nombre del dispositivo default es desplegado en la pantalla FILE, debajo de la palabra "FILE".

### RESPALDO DE ARCHIVOS

Realice un respaldo de archivos de archivos importantes SRAM.

. Pasos

- Presionar MENUS.
- Seleccionar FILE.
- Presionar F1, [TYPE].
- Seleccionar FILE.

```
FILE
MC:\*.*
 1  *      * (all files)
 2  *      KL (all KAREL source)
 3  *      CF (all command files)
 4  *      TX (all text files)
 5  *      LS (all KAREL listings)
 6  *      DT (all KAREL data files)
 7  *      PC (all KAREL p-code)
 8  *      TP (all TP programs)
 9  *      MN (all MN programs)
10  *      VR (all variable files)
11  *      SV (all system files)
12  *      IO (I/O config data)
13  *      DF (all DEFAULT files)
14  *      ML (all part model files)
15  *      BMP (all bit-map images)
16  *      PMC (all PMC files)
17  [you enter]
Press DIR to generate directory
```

Figura 5.46. Respaldo de archivos

Presionar F4, [BACKUP].

Seleccionar All of above.

Presione F4, [YES] y el respaldo del archivo comenzar.

## CAPITULO V

### **MASTERIZACIÓN (POSICIONAMIENTO)**

Propósito

Sincronizar la posición mecánica de los robots con la información del SPC's.

### **CUANDO UN ROBOT NO ESTA MASTERIZADO**

- No se conoce su posición.
- Un mensaje de alarma se desplegara en el Teach Pendant.
  - SRVO-062 BZAL (alarma de batería zero).
  - SRVO-038 Alarma de pulso mal hecho.
- El Robot no ejecuta un programa.
- El Robot no puede ser desplazado (Jogged) en XYZ or TOOL.
- Limites del software no son validos y no son confiables.

### **CAUSAS DE PÉRDIDA DE POSICIONAMIENTO (MASTERING)**

- La tapa de las baterías es removida con la energía del controlador apagada.
- La falla de baterías bajas ha sido ignorada y la energía es apagada.
- Un servo motor ha sido reemplazado.
- Un mal cableado interrumpe la energía del encoder.
- Pérdida de memoria SRAM en el CPU.
- Los datos de posicionamiento son almacenados en la memoria SRAM.
- Desensamble mecánico.
- Estos cambios de la relación mecánica de los engranajes de la posición del encoder.

### **PREPARACION PARA POSICIONAMIENTO.**

PASOS PARA RESTABLECER ALARMAS Y PREPARAR PARA POSICIONAMIENTO.

1. Presionar MENU.
2. Seleccionar SYSTEM.
3. Presionar F1 [TYPE].
4. Seleccionar MASTER/CAL.

## CAPITULO V

PASOS PARA DESPLEGAR MASTER/CAL EN CASO QUE NO APAREZCA EN EL MENU [TYPE].

- Seleccionar VARIABLE del menú [TYPE].
- Mover el cursor a \$MASTER\_ENB.
- Presionar la tecla “1” y después presionar ENTER en el Teach Pendant.
- Presionar F1 [TYPE].
- Seleccionar Master/Cal.
- Presionar F3, RES\_PCA.
- Presionar F4, YES.
- Prender y apagar el controlador.
- Rotar cada eje que necesite ser posicionado al menos una revolución de motor.
- Desplazar (jog) cada eje rotatorio al menos 20 grados.
- Desplazar (jog) cada eje lineal al menos 30 milímetros.
- Presiona el botón RESET.
- Posicionar el Robot utilizando el método apropiado para la situación.

### TIPOS DE POSICIONAMIENTO

- Posición del fixture.
- Posición a zero grados.
- Posición de un solo eje.
- Posición Rápida.

### POSICION A CERO GRADOS

Ventaja

Rápido.

Desventaja

No tan exacto como la posición del fixture.

Procedimiento

Se requieren marcas para ser accesadas.

Posicionarlo a cero grados.

## CAPITULO V

### PASOS PARA POSICIONAR A CERO GRADOS

1. Desplazar (jog) cada eje del Robot en JOINT a las marcas.
2. Presionar MENU.
3. Seleccionar SYSTEM.
4. Presionar F1 [TYPE].
5. Seleccionar Master/Cal.
6. Seleccionar ZERO POSITION MASTER.
7. Presionar F4, YES.
8. Seleccionar *Calibrate*.
9. Presionar F4, YES.

### HACER PROGRAMA PARA MODIFICAR CALIBRACION

1. HACER UN MOVIMIENTO JOINT.
2. CAMBIAR A ZONA FINA.
3. POSICIONARSE EN P1.
4. ENTER.
5. POSIC.
6. ENTER.
7. JOINT.
8. CAMBIAMOS LOS VALORES DE LOS EJES A 0.

### AJUSTAR LÍMITES DE LOS EJES.

Esto se hace para limitar los grados de libertad de cada eje del robot, además que nos sirve como seguridad para que cuando se mueva el robot de forma manual no se corra ningún riesgo de choque con algún otro robot, herramienta o cualquier objeto que pudiera estar cerca de la trayectoria del robot.

Existen dos formas de hacer el ajuste de los límites, manual y calculado.

### PROCEDIMIENTO PARA EL METODO MANUAL:

Para ajustar los límites de cada eje existen dos procedimientos el método calculado y el método manual, en este caso lo haremos de forma manual.

1. *MENU*.
2. *NEXT*.

## CAPITULO V

3. *SYSYTEM.*
4. *AXIS LIMITS.*
5. *INTRODUCIMOS VALOR DE LOSLIMITES DE CADA EJE.*

### RECUPERACION DE FALLAS

Visualizar pantalla de alarmas

- MENU.
- ALARMAS.
- HISTORIAL.

### MONITOREO DE I/O

Para monitorear las I/O es necesario desplegar la pantalla de I/O. Existen dos formas para desplegar esta pantalla:

1. Presionando la tecla de I/O del TP.
2. presionando MENU, I/O.

Aparecerá la pantalla de I/O con las siguientes opciones:

- Analog.
- Digital.
- Group.
- User Operator Panel (UOP).
- PLC.
- Standard Operator Panel (SOP).
- Robot.
- Ethernet.
- Device net.
- Interconnect.
- Weld interface.
- Spot equipment.

Para cambiar entre Entradas y Salidas presionar F3 INPUT/OUTPUT.

### 5.7.7. Controlador R-J2

En la figura 5.47 y 5.48 se muestra los tamaños regulados de los controles R-J2, el cual tiene la capacidad de comunicación con una variedad de dispositivos. El cual proporciona una interfaz entre el software del sistema entre I/O y puertos de comunicación consecutivos a dispositivos externos.

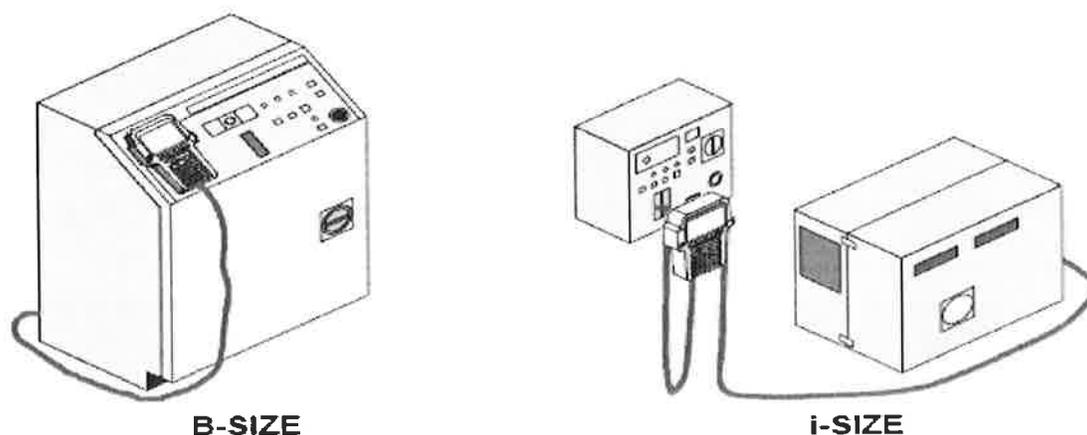


Figura 5.47 Tamaños regulados de R-J2

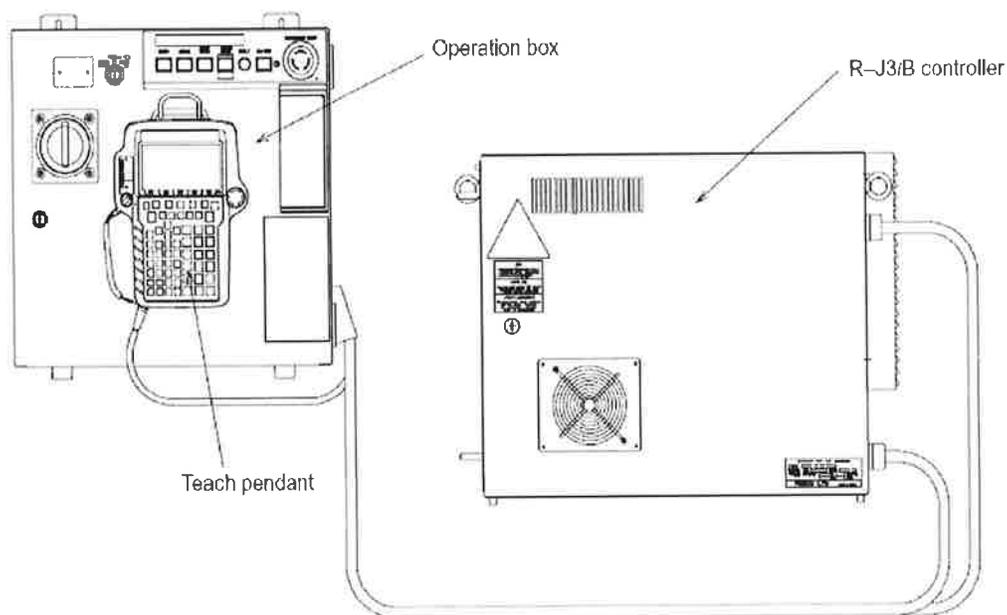


Figura 5.48. Comunicación del R-J Panel de operación y TP.

## CAPITULO V

En la figura 5.49 se muestra el panel de control interno, mostrando una perspectiva interna del controlador R-J y la figura 5.50 muestra las conexiones del controlador.

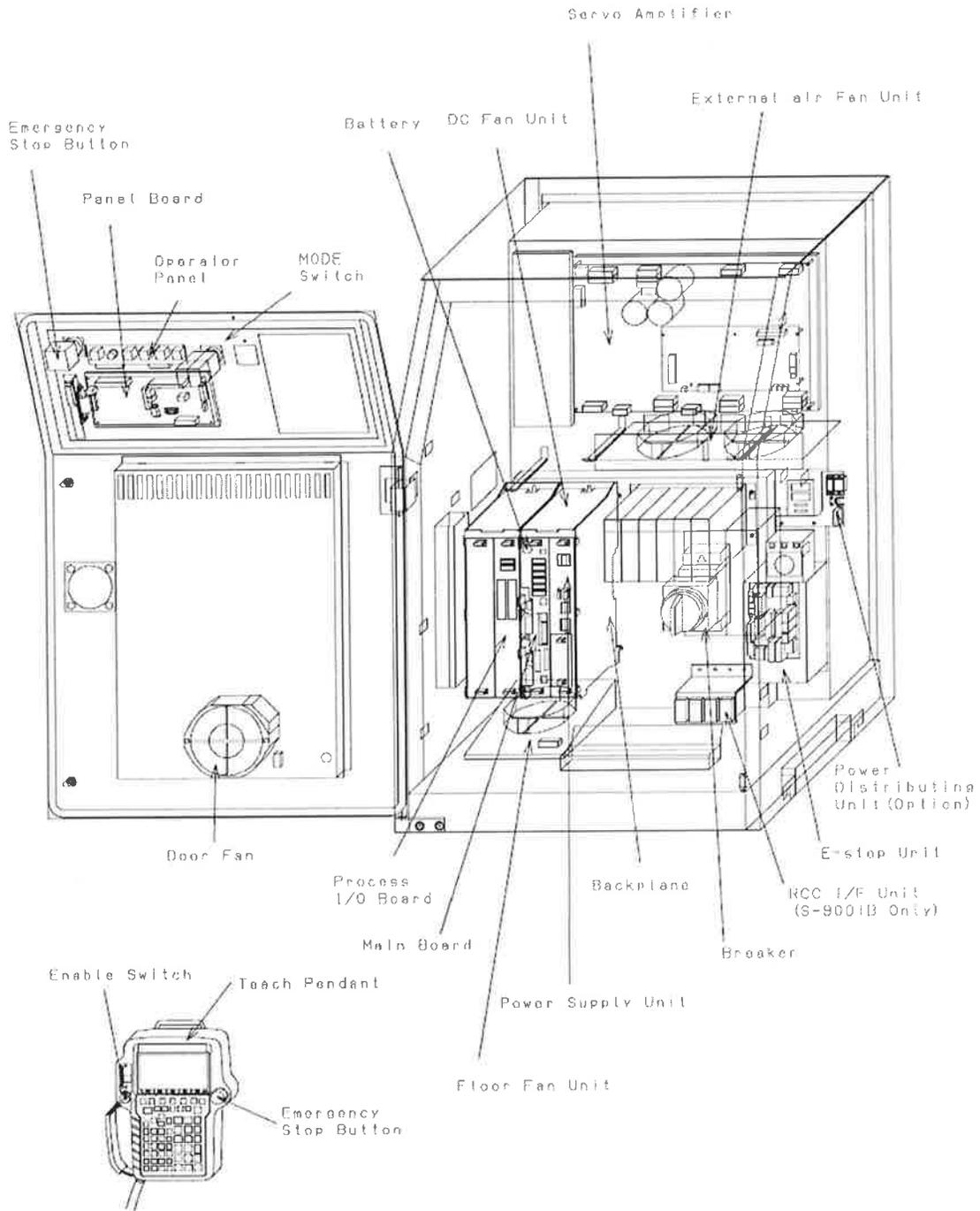


Figura 5.49. Controlador R-J2.

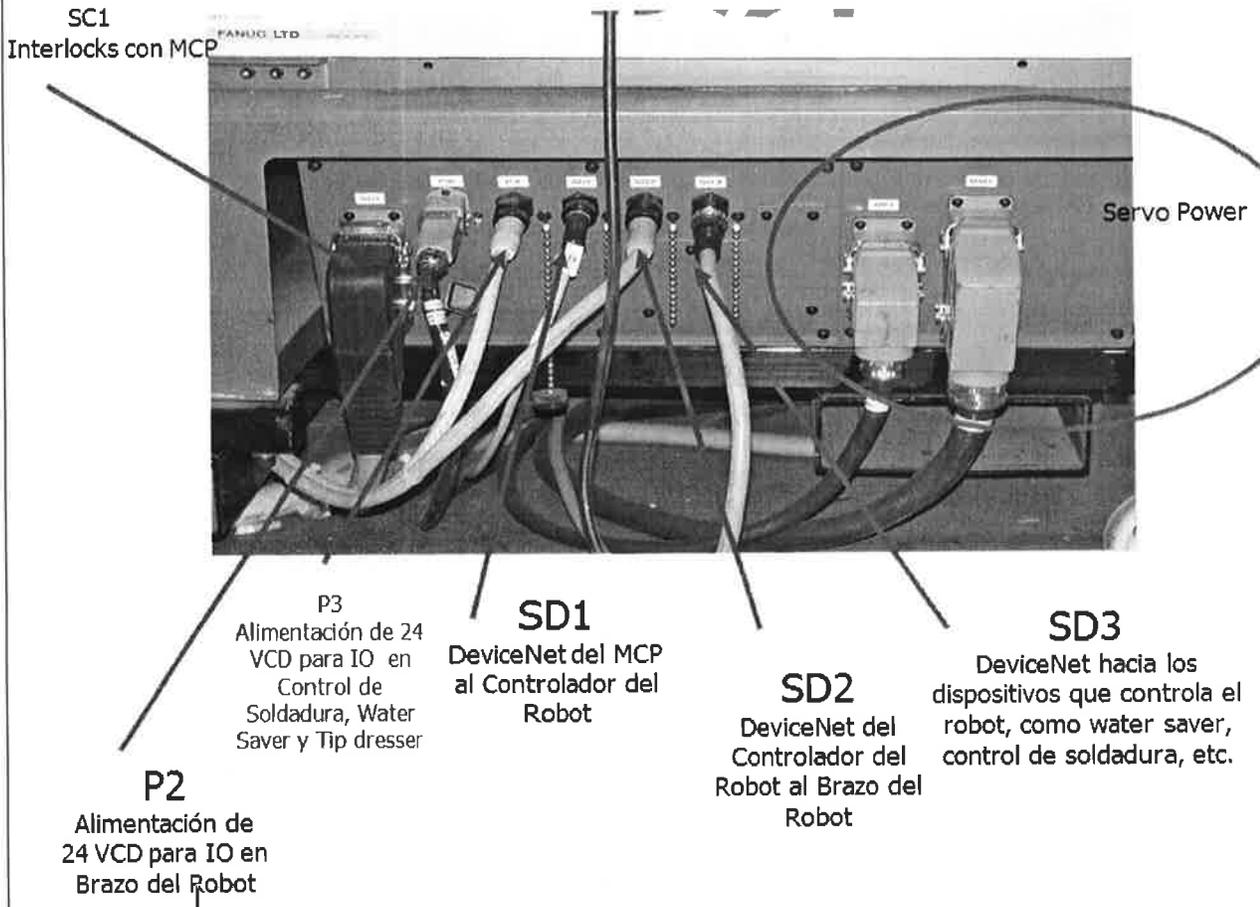


Figura 5.50. Conexiones del controlador.

**5.7.8. Conexión del cable de suministro de energía.**

Cuando será montado el panel de control para su uso, la preparación del cable de alimentación, así como el cable de ON/OFF es responsabilidad del usuario. La conexión correcta se muestra en la figura 5.51.

Habríamos que tomar en cuenta la siguiente nota:

“Ninguna conexión se requiere cuando las interfaces AL, FA y FB del CP\$ no están siendo usadas”.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Conexión de unidad de control (Control Unit Connection R-J2 Mate Fanuc)

