

17
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MANUAL PARA LA ROBOTIZACION DE LOS
PROCESOS INDUSTRIALES

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
JOSE ANTONIO CAMBRAY GUERRA

DIRECTOR DE TESIS: ING. SILVINA HERNANDEZ GARCIA



MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

271449



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México que mediante la Facultad de Ingeniería hizo posible mi formación como Ingeniero Industrial.

A la profesora Ing. Silvina Hernández García por el tiempo que dedicó en la dirección de este trabajo de tesis.

Al Dr. Saúl Santillán Gutiérrez por sus valiosas aportaciones para la elaboración de este trabajo.

A mis padres por su apoyo incondicional en mi formación personal y académica.

A mi esposa por motivarme y participar activamente en la elaboración de este trabajo.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I. INICIACION A LA ROBOTICA	1
I.1 ARQUITECTURA DE LOS ROBOTS	7
I.2 SISTEMAS ACTUADORES	16
I.3 SISTEMAS SENSORIALES PARA ROBOTS	27
I.4 TIPOS DE CONTROL EN LOS ROBOTS	41
CAPITULO II. IDENTIFICACION Y SELECCION DE TAREAS	
POTENCIALES	46
II.1 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS	48
II.2 IDENTIFICACION Y SELECCION DEL PROCESO	52
II.3 APLICACIONES BASICAS DE LOS ROBOTS	65
CAPITULO III. SELECCION DEL ROBOT	71
III.1 REQUERIMIENTOS MECANICOS	72
III.2 CONFIGURACION	76
III.3 EL CONTROLADOR DEL ROBOT	79
III.4 DEFINICION DEL ROBOT IDEAL	84

CAPITULO IV. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE LA CELULA DE MANUFACTURA	92
IV.1 DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS EN LA ROBOTIZACION	92
IV.2 SISTEMAS PARA EL MANEJO DE MATERIALES PARA LA ROBOTIZACION	103
IV.3 CONFIGURACIONES BASICAS DE LAS CELULAS DE MANUFACTURA	115
IV.4 EL CONTROL DE LA CELULA DE MANUFACTURA	129
CAPITULO V. EL TIEMPO CICLO DEL ROBOT	140
V.1 METODOS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO CICLO	142
CONCLUSIONES	150
ANEXO	152
BIBLIOGRAFIA	160

INTRODUCCION.

Es muy probable que en México se encuentren más robots operando en los laboratorios de las principales universidades del país que en las plantas de producción de las grandes industrias de transformación y servicio. Las empresas mantienen automatizados sus procesos críticos mediante maquinaria rígida recurriendo a la mano de obra directa para ciertas tareas que aún les resulta difícil automatizar por ser poco costable.

En el Laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM donde realicé mi servicio social adquirí gran interés por los robots, su forma de operar y sus amplias aplicaciones potenciales. A partir de ese momento, inicié mi trabajo de tesis en un proyecto que consistía en hallar una aplicación específica a un robot experimental de coordenadas cilíndricas llamado RØZ (construido por un profesor de la Facultad de Ingeniería), cuyas capacidades de velocidad y carga de trabajo eran muy limitadas. Visité varias empresas en busca del proceso y/o tarea donde pudiera aplicar el RØZ, eran pocas áreas de las empresas a las que tenía acceso ya que muchas de ellas estaban restringidas por cuestiones de seguridad. Los procesos que más se prestaban a ser robotizados por el RØZ requerían de un tiempo ciclo muy corto, tiempo que jamás podría alcanzar el robot. Por otro lado el RØZ tenía como efector una ventosa, esto es que agarraba los objetos mediante succión. Era obvio que no se pudiera asociar fácilmente alguna tarea al RØZ ya que fue diseñado para un proceso muy específico en un ambiente limpio, el manejo de *discos de silicio*.

Comprendí entonces que el problema de robotizar un proceso no es el robot en sí, ya que los robots se fabrican con ciertas capacidades y características mecánicas que los hace adecuados sólo para ciertos procesos. Posteriormente surgieron una serie de dudas con respecto a las aplicaciones de un robot y el proceso de robotización.

La robotización de una planta o proceso requiere de una metodología que asegure dicho objetivo. Este es el enfoque sobre el cual se realizó este trabajo de tesis, plantear una serie de pasos que ayuden al analista o ingeniero de planta a proponer un proyecto de automatización utilizando robots.

La *iniciación a la robótica* es el primer paso para proceder a la aplicación de robots en una planta. Y está encaminada en primer término a definir al robot, resaltar sus bondades así como su tecnología básica de operación. De esta manera se dan a conocer sus diferentes configuraciones, métodos de impulsión, técnicas sensoriales y otros conceptos que en forma concisa iniciará al ingeniero encargado de robotizar su sistema de producción.

Posteriormente, se propone una metodología en base a conceptos de ingeniería industrial para llevar a cabo la *selección del proceso* a robotizar. Por lo regular, las grandes empresas cuentan con decenas de procesos en sus plantas de producción, por lo que hay que definir cuales son los procesos favoritos para ser en primera instancia robotizados, ya sea por sus requerimientos de precisión, seguridad y/o repetibilidad en las tareas.

La *selección del robot* precede a la selección del proceso. En esta parte se definen las características del robot para hacer una buena selección. El peso de la pieza de trabajo, su temperatura y velocidad de operación así como otros aspectos relativos al proceso determinarán las características del robot que mejor desempeñe dicha tarea.

El robot y el proceso deberán estar bien acoplados mediante dispositivos para el manejo y transporte de materiales, controladores y otros dispositivos auxiliares que formarán parte del *diseño de la célula de manufactura*, este es el cuarto punto que se desarrollará en este trabajo. El diseño de la célula de manufactura será tal vez el aspecto más complejo de lograr debido a la infinidad de formas que puede tener un objeto en proceso de producción y no siempre los proveedores de equipo de automatización podrán dar una respuesta inmediata.

Complementarios a los anteriores puntos se presentan algunas técnicas para calcular el *tiempo ciclo del robot*, aspecto fundamental para lograr que una célula de manufactura permita el flujo normal de producción. El tiempo ciclo del robot determinará la velocidad a la que habrá de operar, si ésta es excesiva a las capacidades del robot, sin duda alguna surgirá alguna falla temprana. Por otro lado el objetivo es que el robot incremente el nivel de producción de la célula de manufactura aprovechando sus capacidades mecánicas, de esta manera podrá amortiguar cualquier "pico" en la demanda de producción que pueda presentarse en la planta en algún período.

CAPITULO I. INICIACIÓN A LA ROBÓTICA

En esta sección se dan a conocer brevemente las partes que conforman a un robot así como su tecnología básica de operación. El objetivo es asegurar que el personal que tenga que involucrarse por primera vez con los robots cuente con los conocimientos elementales de robótica. Esta es la etapa inicial de cualquier manual, la introducción o iniciación al objeto en estudio.

Cuando la propuesta de robotización se está llevando a cabo en una empresa, el proceso de familiarización con esta nueva tecnología se iniciará mediante un programa de capacitación, bien estructurado, el cual estará apoyado por fuentes completas de información. Como son:

1. Libros y revistas técnicas
2. Revistas comerciales
3. Conferencias
4. Exposiciones
5. Diplomados
6. Seminarios
8. Empresas consultoras
9. Compañías fabricantes de robots y equipo afín
10. Universidades
11. Internet, etc.

Previo al proceso de introducción a la robótica se deben plantear las ventajas de robotizar una planta ante los ejecutivos y directivos de la empresa. Las ventajas se darán como resultado de un cambio radical en la organización y estructura de la planta. Los países altamente industrializados cuentan con un alto nivel de automatización asistida por la robótica la cual representa uno de los niveles más altos de la automatización.

Cada 6 años surge otra nueva generación de equipo para la manufactura, y los expertos señalan que aquellas compañías que se empeñen en retener sus técnicas obsoletas de producción se encontrarán en desventaja ante los competidores domésticos y/o extranjeros. Un momento adecuado para implementar la robotización es cuando se introducen nuevos productos o se hacen mejoras de los anteriores y por consecuencia se tendrán que introducir nuevas líneas de producción. Las empresas que fabrican robots están creciendo como resultado de la demanda y es factible que éstas ofrezcan robots con mayores y mejores capacidades y a precios más accesibles que las anteriores generaciones. Hace 6 años un robot con sistema de visión costaba de 2 a 3 veces más en comparación con lo que cuesta hoy en día un equipo similar. [10]

Definición de robot

El número de acepciones asociables a la palabra *robot* son numerosas, pero en este trabajo daremos algunas definiciones simples y concisas.

- La palabra *robot* se deriva de la palabra checa *robota*, que significa "trabajo", a partir del origen de la palabra podríamos definir a un robot como "una máquina que trabaja compulsivamente sin detenerse". Esta es una definición muy general, ahora veremos algunas definiciones más detalladas.

- Un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados, a través de movimientos variables programados, con el fin de desempeñar una variedad de tareas.

- En el contexto antropomórfico un *robot* es un manipulador semejante al brazo humano que requiere de un cerebro, sentidos, un torrente sanguíneo, un brazo, una muñeca y una mano; y si fuera necesario piernas y pies, todo con los músculos correspondientes. Los elementos análogos en un robot industrial típico con respecto al brazo humano son:

<i>Robot industrial típico.</i>	<i>Brazo antropomórfico</i>
Controlador; Computadora, PLC, etc.	Cerebro humano
Dispositivos de medición, sensores (en sus diferentes niveles)	Sentido del tacto, nervios, visión, etc.
Actuadores hidráulicos, neumáticos, eléctricos (motores), etc.	Músculos
Fluido hidráulico, neumático o corriente eléctrica	Torrente sanguíneo
Muñeca y efector del robot	Muñeca y mano del brazo humano
Ruedas o deslizador	Piernas y pies
Uniones (lineales o rotatorias)	Articulaciones (hombro, codo, etc.)
Estructura del robot. (brazo)	Estructura ósea

El nivel de complejidad de cada componente del robot determinará el grado de semejanza que tenga con el brazo humano y en algunos casos con un hombre. En la actualidad, es posible hablar de robots con inteligencia artificial capaces de aprender y retroalimentarse del medio, lo que les permite tomar decisiones o corregir errores durante la ejecución de sus tareas.

La anterior semejanza de los robots con el brazo humano determinó la necesidad de que el robot contara con un brazo, una muñeca y un efector final; así como, de requerir por lo menos con seis grados de libertad para poder incrementar el número de tareas diferentes a desempeñar.

Componentes de un robot

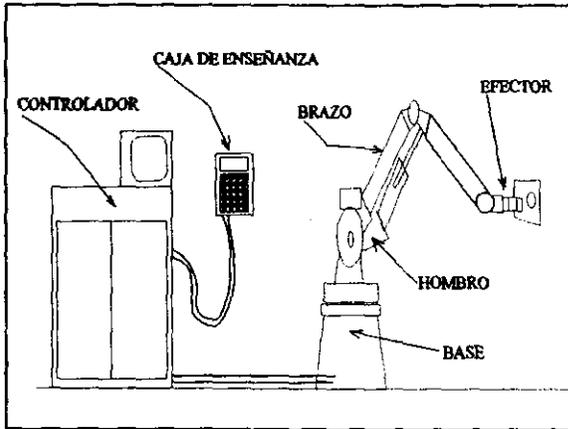


FIG. 1.1 COMPONENTES DE UN ROBOT.

Caja de enseñanza. Dispositivo periférico del controlador, algunos modelos son portátiles, con el cual se dirige o se enseña al robot las posiciones requeridas, posiciones que son guardadas en una memoria para posteriormente aplicarlas en ciertas tareas mediante un programa. Así también, se puede desde este dispositivo iniciar o finalizar un programa.

Controlador. El controlador del robot tiene como función asegurar que el robot ejecute las tareas descritas en un programa o rutina, compensar errores, verificar el estatus del robot y otras funciones similares.

Efector. El efector del robot es el que mantiene contacto directo con la parte u objeto en proceso, desplazándolo de un lugar a otro o ejecutando la tarea directamente sobre éste (soldar, perforar, pintar, etc.). Por lo que el efector puede ser una pinza o herramienta.

Brazo. Es la estructura que desplaza al efector y se caracteriza por proporcionar la fuerza y alcance necesario a éste.

Ventajas que se obtienen de la robotización

Los beneficios de implementar la robotización en una planta pueden ser clasificados en tangibles e intangibles. Los beneficios intangibles son aquellos que no es posible percibir inmediatamente, ni ser cuantificables y sólo pueden ser evaluados en términos cualitativos. Esta es una situación ambigua, no obstante siempre será conveniente desarrollar o aplicar técnicas que permitan cuantificar cualquier tipo de beneficio que se genere de la robotización. Esto se debe a que sólo suele considerarse los beneficios tangibles para fines de evaluar un proyecto de robotización, considerándose también aquellos beneficios reflejados en toda la organización y no los que se manifiesten en una sólo división de la compañía [4].

Las principales ventajas de implementar la robótica se presentan a continuación:

Ventajas que se obtiene de la robotizacion.



Mejoras en la calidad del producto. Los robots propiamente aplicados contribuyen a un mejor control de proceso. Estos pueden aplicar nuevas pruebas de calidad que no eran funcionales con operadores humanos.

Mejoras en la adquisición de datos. La labor de recabar datos de lotes o procesos de producción se hace más consistente con los robots y controladores que con los operadores humanos. Esto se debe a que los robots ejecutan iterativamente las mismas tareas sin tener desviaciones o perturbaciones.

Incremento en el número de pruebas. Un robot es capaz de realizar una inspección continua de la tarea que esta llevando a cabo. Las pruebas son adicionadas fácilmente y con costos razonables en el programa que controla sus actividades, de esta forma el robot esta entrenado para rechazar en cualquier momento aquellas partes que no cumplan con los parámetros establecidos.

Simplificación en la administración del control de proceso. La administración del control de procesos se simplifica considerablemente con los sistemas robotizados. Esto es posible ya que los robots trabajan continuamente a diferencia de los operadores humanos que lo hacen por turnos. Es difícil lograr que los equipos sean operados de la misma forma por diferentes trabajadores y que los cambios de procesos se comuniquen a tiempo a operarios y supervisores cuando mucha gente está involucrada en múltiples turnos.

Eliminación de fallas por fatiga y/o aburrimiento. Una de las principales ventajas de los robots es que no se aburren ni se cansan y pueden realizar por un gran número de ciclos el mismo programa asignado sin falla o desviación significativa.

Ejecución de actividades que sólo pueden ser hechas por robots. La aplicación de los robots puede ser de gran ventaja al aplicarse en métodos de manufactura mejores y más económicos. Métodos que no serían posibles si se realizaran por operadores humanos.

Algún tipo de tareas ideales para los robots son:

- * Tareas con tolerancias casi nulas de ensamble.
- * Tareas en ambientes extremadamente limpios.
- * Tareas donde se utilicen sustancias tóxicas y/o peligrosas.

Movimiento de gente de áreas peligrosas. Los robots pueden sustituir a los operarios que laboran en áreas peligrosas en las cuales estén expuestos a químicos, irritantes, cancerígenos, explosivos, caídas de objetos, zonas de alto voltaje etc.

Menos desperdicios. Este ahorro significativo es posible gracias a la gran precisión y limpieza con la que trabajan los robots en comparación con los operadores humanos.

Disminución de mano de obra directa. La eficientización de los recursos humanos que se logra con la implementación de la robótica de los procesos es uno de los más notorios en este aspecto, ya que adicionalmente a los ahorros por sueldos también hay ahorros por reducción de prestaciones, estímulos y otros gastos inherentes a los contratos laborales.

Mayor producción. Un incremento en la producción se logra con la automatización gracias a la gran rapidez con la que trabajan los robots y su indiscutible fiabilidad.

Reducción de inventarios. La reducción de inventarios es resultado de una mejora en el control de procesos, disminución de desperdicios, así como una mejor planeación de las actividades de la planta.

Humanización de las plantas de producción. Reemplazar a operadores humanos de tareas tediosas, repetitivas, peligrosas y todas aquellas que no representen un medio para su desarrollo intelectual y económico, es un paso a la humanización de las plantas de producción y no necesariamente una amenaza a sus empleos. Una empresa que ha alcanzado un alto nivel de automatización debe ser por lo general una empresa productiva, con nuevas áreas y con los suficientes ingresos para que los operadores reemplazados de sus anteriores actividades sean empleados en tareas de inspección, control de calidad, mantenimiento y todas aquellas que se generen como resultado de la automatización.

I.1 ARQUITECTURA DE LOS ROBOTS

Los robots generalmente tienen alguna de las 4 siguientes configuraciones estructurales, que son:

- I.1.1 Coordenadas cartesianas
- I.1.2 Coordenadas cilíndricas
- I.1.3 Coordenadas Polares
- I.1.4 Coordenadas de brazo articulado

Cada configuración tiene sus ventajas y desventajas una con respecto a la otra, lo que hace a unos robots más propicios que a otros para la realización de ciertas tareas.

I.1.1 Configuración de coordenadas cartesianas

Con esta configuración (fig. I.1.1.) el robot es capaz de mover su brazo efector sobre tres ejes especificados como X, Y, y Z. Las direcciones de cada coordenada son ortogonales una con otra. Este tipo de robots operan dentro de una envolvente rectangular de trabajo.

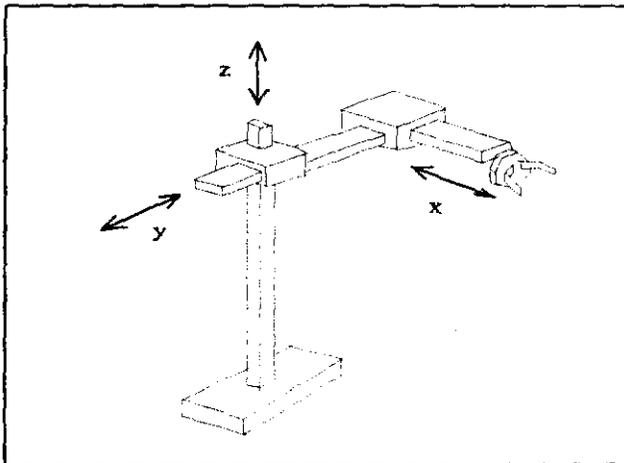


FIG. I.1.1. ROBOT DE COORDENADAS RECTANGULARES

1.1.2 Configuración de coordenadas cilíndricas

El movimiento del brazo del robot hará que el efector describa la superficie de un cilindro una vez que el radio del brazo esté definido. Esta configuración de robot utiliza una columna vertical y un dispositivo de deslizamiento que puede moverse hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la columna. El brazo del robot está unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial con respecto a la columna. En la figura 1.1.2. se muestra el robot de coordenadas cilíndricas.

Las coordenadas son:

- R .- Longitud del brazo del robot en un momento dado
- θ .- Posición angular del brazo con respecto a la vertical
- Z .- Posición en una dirección vertical o altura del brazo

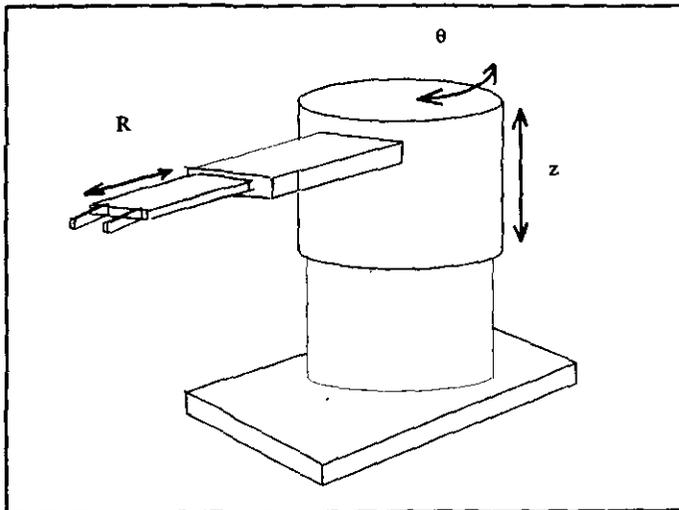


FIG. 1. 1. 2 ROBOT DE COORDENADAS CILINDRICAS

I.1.3. Configuración de coordenada polar

La superficie que describe el robot es un hemisferio de radio R , y utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar alrededor de un pivote horizontal (fig.I.1.3). Este pivote está montado sobre una base giratoria. Esta configuración proporciona al robot la capacidad para desplazar su brazo dentro de un espacio esférico.

Las coordenadas son:

- R .- Radio, o desplazamiento lineal del brazo.
- A .- Es el ángulo de rotación alrededor del eje vertical que soporta el brazo del robot
- B .- Es el ángulo medido con respecto a la horizontal y el brazo del robot.

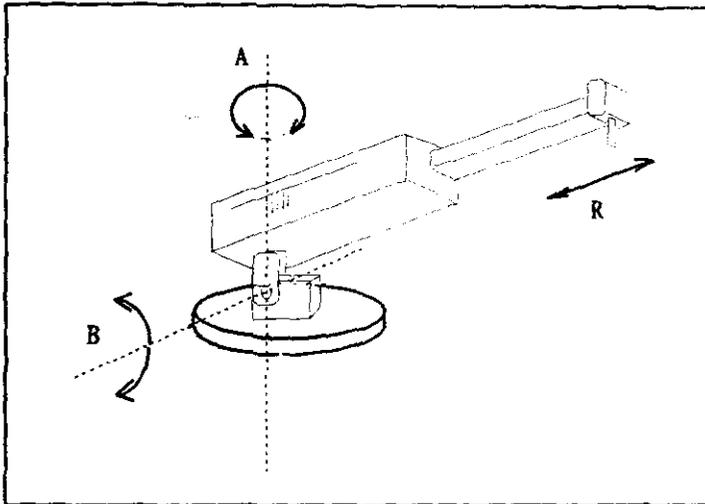


FIG. I.1.3. ROBOT DE COORDENADAS POLARES

I.1.4 Configuración de brazo articulado

Estos tipos de robots son conocidos como *brazo articulado* debido a su similitud con el brazo humano (fig. I.1.4.). Está constituido por dos componentes rectos que corresponden al brazo y antebrazo humanos, montados sobre un pedestal vertical. Estos componentes están conectados por dos articulaciones giratorias que corresponden al hombro y al codo; una muñeca está unida al extremo del antebrazo con lo que se proporcionan varias articulaciones suplementarias. En esta configuración se definen tres ángulos especificados como:

- A : Es la rotación alrededor del eje vertical a través de la base.
- B : Es el ángulo entre la horizontal desde la base y el primer miembro del brazo del robot.
- C : Es el ángulo entre segundo y primer miembro del brazo del robot.

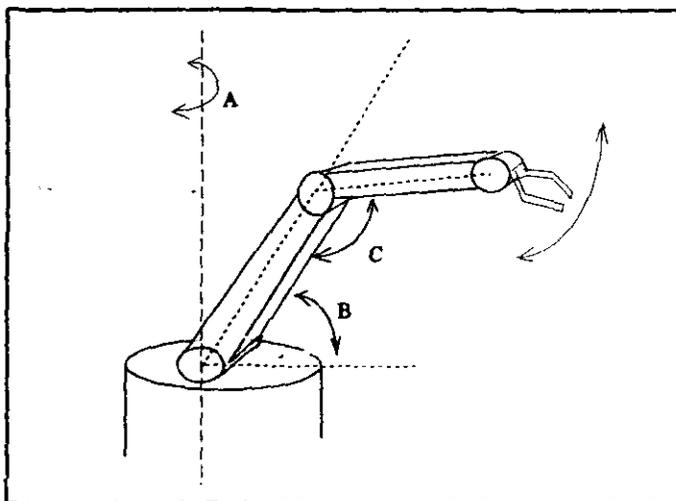


FIG. I.1.4 ROBOT DE BRAZO ARTICULADO.

A partir de los cuatro tipos de arquitectura base más comunes pueden surgir nuevas configuraciones, resultado de su combinación. Uno de los robots más famosos de este tipo es el SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), que es similar a un brazo articulado, pero éste se encuentra articulado sobre un plano horizontal; sus articulaciones giran sobre ejes verticales. El SCARA es un robot diseñado especialmente para tareas de montaje ya que ofrece gran rigidez sobre el plano vertical y buena elasticidad en el plano horizontal. Su principal cualidad es la de ofrecer una de las más altas velocidades de operación superior a cualquier otra configuración.

I.1.5. Ventajas y desventajas de cada tipo de configuración

Antes de confrontar las ventajas y desventajas que pueden derivarse de cada tipo de configuración hay que definir un concepto muy importante en el desempeño del robot que es el "volumen de trabajo", y se define como aquel espacio que encierra todos los puntos que pueden ser alcanzados por la parte final del efector y/o la herramienta.

1. Robot de coordenadas rectangulares

<i>Ventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Los robots de Coordenadas Rectangulares pueden extender su volumen de trabajo hacia grandes espacios y pueden ser modulares. - Estos robots tienen la habilidad de intersectar en línea recta a los diferentes objetos de trabajo y/o equipos. - Son muy fáciles de programar ya que no representa a los usuarios dificultad alguna para visualizar tres dimensiones de movimiento rectangular. - Es la estructura mas rígida.
<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Este tipo de configuración ocupa una área considerable para su instalación, y por lo tanto, utiliza también el mayor volumen para realizar sus tareas. - En las áreas de trabajo sucias o corrosivas, existe la necesidad de proteger las partes deslizables de la estructura rectangular.

2. Robot de coordenadas cilíndricas

<i>Ventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Es fácil de visualizar y programar.- Debido a su sistema de movimiento lineal, estos robots se prestan para utilizar sistemas de potencia hidráulicos por lo que pueden ofrecer gran poder.- Buen acceso a cavidades e interiores de máquinas.
<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Volumen restringido de acceso.- No pueden alcanzar volúmenes cilíndricos cercanos al soporte vertical o piso.- Difícil de sellar de polvo y líquidos.- Puede interferir con el proceso.

3. Robot de coordenadas esféricas.

<i>Ventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Cubre grandes volúmenes desde un soporte central.- Sus dos articulaciones rotatorias pueden ser selladas fácilmente.- Puede cubrir amplios volúmenes de trabajo.
<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Su sistema coordinado complejo lo hace difícil de visualizar y computarizar.

4. Robot de coordenadas de brazo articulado

<i>Ventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Todas sus uniones son rotatorias, lo que lo provee de máxima flexibilidad desde cualquier locación en todo su volumen.- Todas sus articulaciones pueden ser totalmente selladas lo que lo hace útil en ambientes corrosivos, en el polvo y bajo el agua.
<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none">- Los sistemas de potencia son de alto costo si son del tipo hidráulico.- Es la configuración más difícil de programar, visualizar y controlar.- Restringido volumen de trabajo.

1.1.6. Grados de libertad del robot

Conocemos como grados de libertad al conjunto de movimientos realizados por las diferentes articulaciones individuales del robot siendo de cuatro a seis grados de los que están dotados los robots industriales típicos.

Tres articulaciones suelen estar asociadas con la acción del brazo y del cuerpo, y de dos a tres con los de la muñeca. Para la conexión de cualquier articulación, se emplean unos elementos rígidos denominados uniones. En cualquier cadena de Unión-Articulación-Unión las articulaciones que se utilizan para el diseño de los robots implican un movimiento relativo entre las dos uniones que puede ser lineal o rotacional [8].

Las articulaciones lineales ofrecen un movimiento deslizante o de traslación de las uniones de conexión. La articulación lineal puede simbolizarse mediante una letra "L". Por otro lado, existen por lo menos tres tipos de articulaciones giratorias que pueden distinguirse, las cuales se describen enseguida:

Rotacional R En este tipo de articulación el eje de rotación es perpendicular a los ejes de las dos uniones.

Torsional T El eje de rotación de la articulación de torsión es paralelo a los ejes de ambas uniones.

Revolución V En esta articulación de revolución, la primer unión (más cercana a la base) es paralela al eje de rotación y la segunda o de salida es perpendicular a dicho eje.

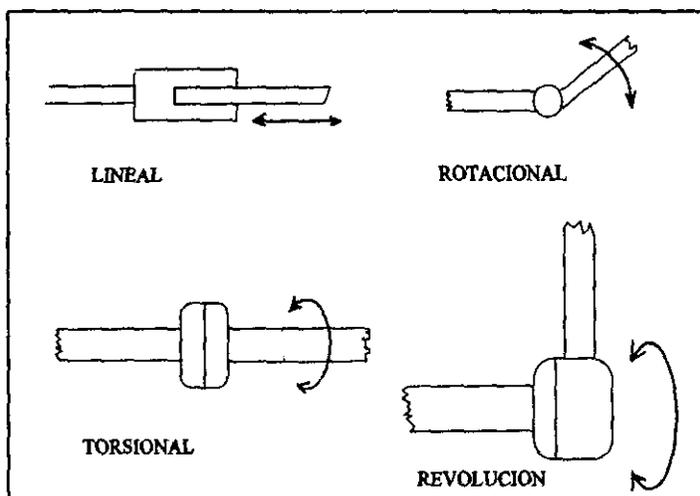


FIG. 1.1.5 TIPOS DE ARTICULACIONES [8]

A partir de las notaciones de la figura anterior correspondientes al movimiento lineal, rotacional, torsional y de revolución se presenta un plan de notaciones para designar las diferentes configuraciones del robot [8].

Configuración del robot (brazo y cuerpo)	Símbolo
Configuración polar.	TRL
Configuración cilíndrica	TLL, LTL, LVL
Robot de coordenadas cartesianas	LLL
Brazo articulado	TRR, VVR

Tabla I.1.1 Plan de notaciones para las articulaciones de cada configuración de robots

Para los robots de configuración cilíndrica, polar y de brazo articulado, los tres grados de libertad asociados con los movimientos del brazo y del cuerpo son:

1. *Transversal Vertical*: Es la capacidad para desplazar la muñeca hacia arriba o abajo para proporcionar la postura vertical deseada.
2. *Transversal Radial*: Implica la extensión o retracción (movimiento hacia afuera o hacia adentro) del brazo desde el centro vertical del robot.
3. *Transversal Rotacional*: Es la rotación del brazo a través del eje vertical.

Grados de libertad de la muñeca

El movimiento de la muñeca está diseñado para permitir al robot orientar adecuadamente el efector final con respecto a la tarea a realizar. En el ser humano, la mano deberá estar orientada en la posición correcta para poder agarrar un objeto determinado. Para resolver este problema de orientación en el robot la muñeca suele disponer de hasta tres grados de libertad Fig. I.1.6.

1. *Giro de la Muñeca (G)*: También denominado oscilación de la muñeca, que implica la rotación del mecanismo de la muñeca alrededor del eje del brazo.

2. *Elevación de la muñeca (E)*: Suponiendo que el giro de la muñeca esta en su posición central, la elevación implicaría la rotación arriba o abajo de la misma. La elevación de la muñeca se denomina a veces, flexión de la muñeca.

3. *Desviación de la muñeca (D)*: Considerando que el giro de la muñeca está en la posición central, la desviación implicaría la rotación a la derecha o a la izquierda de la muñeca.

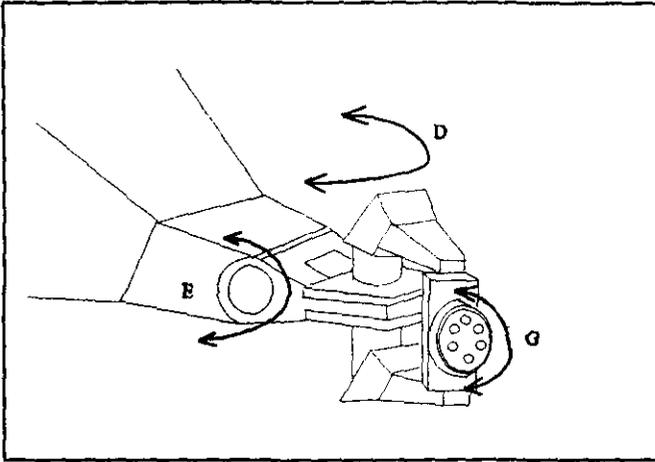


FIG. I.1.6 GRADOS DE LIBERTAD DE LA MUÑECA

I.2 SISTEMAS ACTUADORES

Es importante escoger el elemento generador de potencia ya que es el que proporciona movimiento al robot (Fig. I.2.1.); usualmente el sistema generador de movimiento se localiza en los puntos de unión de cada parte del brazo del robot. El movimiento es transmitido por medio de engranes, bandas, articulaciones, cadenas, cables, guías u otras formas.

Existen cuatro sistemas más comúnmente usados para generar la potencia, estos son:

- I.2.1 Sistemas hidráulicos.
- I.2.2 Sistemas neumáticos.
- I.2.3 Motores de CD.
- I.2.4 Motor paso a paso

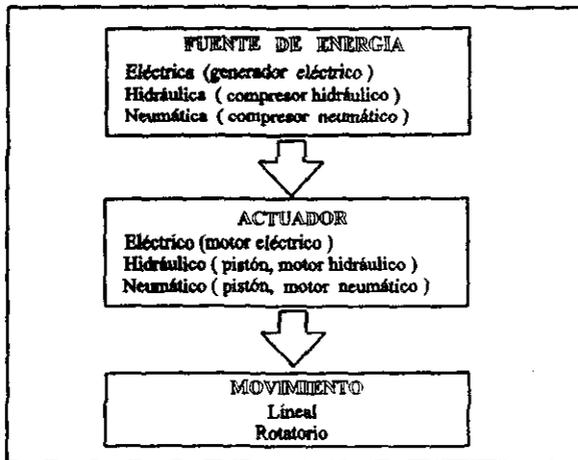


FIG. I.2.1 PROCESO DE IMPULSION DE UN ROBOT

I.2.1 Sistemas hidráulicos de potencia

Estos sistemas, utilizan aceite bajo altas presiones como fluido de trabajo. Los actuadores pueden ser de lazo abierto (sin retroalimentación) o de lazo cerrado (con retroalimentación) y pueden ser de desplazamiento lineal o rotatorio.

Actuadores hidráulicos de lazo abierto

Estos actuadores pueden ir de punto a punto con exactitud, pero no pueden ser controlados para detenerse entre puntos. Este tipo de actuadores entran en la clasificación de los llamados "Bang-Bang" ya que se mueven de una posición a otra con base a un movimiento violento o un "Bang" hasta detenerse en el otro punto extremo ya especificado.

Los cilindros hidráulicos lineales controlados por válvulas operadas por solenoides son sistemas simples y menos caros de los cilindros de malla abierta. Muchas piezas de equipos pueden ser operados por válvulas manuales, de tal manera que el control de los movimientos es posible; en este caso, el operador humano se convierte en parte del sistema de lazo cerrado. Un ejemplo de estos sistemas son las excavadoras o palas hidráulicas que se usan en la construcción pesada.

En algunos casos, se montan pistones hidráulicos en cilindros de grandes diámetros los cuales son costosos de elaborar y capaces de ejercer enormes fuerzas en espacios pequeños. La presión del aceite oscila por el orden de las 2000 libras por pulgada cuadrada, de esta manera pistón de una pulgada de diámetro puede ejercer una fuerza de 1570 libras. El robot "Unimate" de coordenadas polares y uno de los más populares de su tiempo operaba con actuadores hidráulicos [5]. En la figura I.2.1.A se muestra un sistema de cilindro hidráulico con servo-válvula.

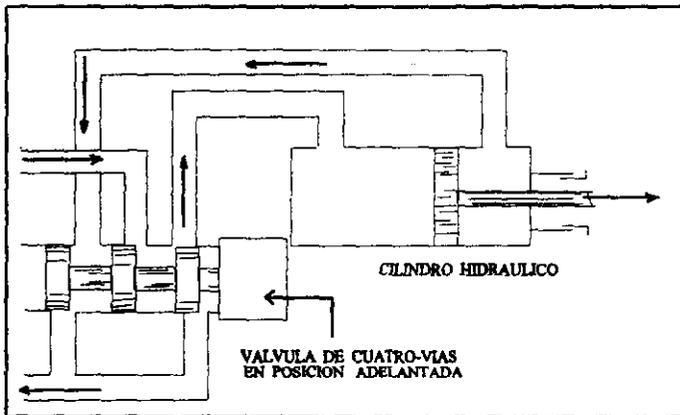


FIG. I.2.1.A CILINDRO HIDRAULICO Y SERVO VALVULA UTILIZADAS PARA CONTROL

Actuadores hidráulicos rotatorios

Ambos actuadores hidráulicos, rotatorio y lineales, operan directamente a la oposición de la presión del aceite. En el caso de los actuadores rotatorios, el aceite presiona en forma opuesta a un tope ubicado en medio de dos cilindros, uno interno y móvil (actuador rotatorio) que es el que posee el tope que lo hará girar a la acción del aceite; este mecanismo está contenido dentro de otro cilindro fijo (contenedor).

1.2.2 Sistemas neumáticos

Los sistemas neumáticos son simples y poco costosos de elaborar por lo que son ampliamente usados en la industria para diversas aplicaciones. Muchas de estas aplicaciones no son destinadas a los robots, sin embargo una gran cantidad de sistemas neumáticos pueden ser considerados como tales. Tanto cilindros lineales y actuadores rotatorios son utilizados para proveer el movimiento requerido.

Muchos sistemas neumáticos son muy parecidos a los hidráulicos pero varían considerablemente en detalle, el fluido de trabajo es *aire comprimido* pero la válvula es más simple y menos cara ya que está diseñada para presiones mucho menores.

La mayoría de los sistemas neumáticos proveen movimiento de tope a tope, y el aire es tan compresible que el control de movimiento fino es más difícil; cuando el aire a altas presiones es aplicado al extremo opuesto del pistón, la inercia del pistón y la carga ocasionan que el movimiento continúe hasta que no se active un freno mecánico o la fuerza del aire finalmente balancee la fuerza inercial.

En algunos sistemas es posible utilizar frenos mecánicos para dar gran exactitud a la posición en tareas de "tomar y dejar" siendo posible alcanzar exactitudes de hasta ± 0.005 pulgadas.[5] Colchones de aire en el cilindro o aquellos asociados con el freno mecánico disminuyen la velocidad del cilindro neumático en el final de su movimiento para prevenir averías al equipo o partes que están siendo manejadas. Bajo estas propiedades de los sistemas neumáticos es fácil programar el equipo y es posible hacer un gran número de tareas del tipo "tomar y dejar". Esta simplicidad de operaciones es una de las grandes virtudes de los sistemas neumáticos. Sin embargo, es difícil lograr altas presiones, pero cuando la precisión es suficiente los sistemas neumáticos son los más ligeros en peso y los menos costosos de todos los robots disponibles.

Se han desarrollado nuevos sistemas para aprovechar mejor la neumática utilizando "*Servomotores de aire*". Estos son motores del tipo rotatorio controlados por microprocesadores, de esta manera se han logrado posiciones de alta exactitud. La carga máxima es de 50 libras y el costo es la mayor ventaja de esta tecnología. La repetibilidad especificada es de ± 0.040 pulgadas[5].

Una de las ventajas de los sistemas neumáticos para la fabricación de robots es su *modularidad*, ya que de esta manera es posible extender los sistemas de potencia para incrementar el número de operaciones de un robot, mediante la adaptación de otras partes estandarizadas.

El aire comprimido de los sistemas neumáticos es generado por un compresor. Esta fuente de aire es compartida al igual que de todos los otros módulos del sistema neumático a través de un compartimento común de aire llamado "*múltiple*". Una serie de válvulas de solenoide montadas en el manifold controlan el flujo de aire hacia actuadores de aire individuales. Varios actuadores pueden ser ensamblados para proveer de tres a seis movimientos por separado.

1.2.3 Motores de corriente directa (CD)

Antes de comenzar con este tipo de actuadores es importante plantear la distinción entre los motores de CD y los motores de pasos, ya que su método de operación es diferente debido a su estructura. Los motores de CD corren continuamente en una dirección y al invertir el sentido de la corriente correrán continuamente en la dirección opuesta, el movimiento es suave y tranquilo, pero no hay un control de posición en los motores CD. En cambio los motores de pasos son capaces de desplazarse (angularmente) hacia una posición especificada; no obstante, tiene la desventaja de poseer un par menor a la de los motores CD.

Para lograr un control preciso de la posición en los motores CD se requiere de un servomecanismo de lazo cerrado con retroalimentación posicional, todo esto da al motor una operación suave así como grandes torsiones. Los motores CD son ampliamente utilizados aún en aquellos robots que requieren un control preciso y una alta potencia. Algunos motores CD son controlados por prendido y apagado y otros por amplificadores de potencia que electrónicamente invierten el flujo de corriente en la armadura del motor para revertir de esta manera el sentido de operación. Tanto el campo magnético como la corriente de armadura pueden ser controlados. Estos motores de CD pueden alcanzar pares muy altos, mucho más altos que los motores de pasos y pueden competir con los actuadores hidráulicos excepto en aquellas situaciones donde la potencia requerida sea extremadamente grande. Estos también pueden ofrecer una alta precisión, rápida aceleración y seguridad.

El par desarrollada por el eje del motor es directamente proporcional al flujo del campo magnético en el campo del estator y la corriente en la armadura del motor. En la práctica el campo del estator en los motores CD usados para los robots son siempre aproximados a un imán permanente terrestre (PM) el cual provee un fuerte y estable flujo magnético con el cual el eje de la armadura rota.

1.2.4 Motores de pasos

Los motores de pasos son utilizados en los robots cuando se requiere un control preciso de lazo abierto (sin retroalimentación) y una torsión pequeña. Estos motores pueden dar rotaciones a manera de pasos en pequeños y precisos incrementos; bajo el control de pulsos eléctricos.

Algunos dispositivos como impresoras y unidades lectoras de discos flexibles utilizan frecuentemente motores de pasos para proveer de la posición correcta a la cabeza de impresión o la cabeza del disco. En los robots pequeños los motores de pasos son utilizados como el actuador principal. Suelen también utilizar encoders y potenciómetros para dar una posición con control retroalimentado, de esta manera puede incluirse un servo de lazo cerrado en el sistema de control.

Los motores de pasos, al igual que otros motores eléctricos, están formados de un estator, o un elemento magnético estacionario, y un rotor que gira en el campo magnético variante producido, usualmente el estator está en la periferia del motor y esta hecho de *múltiples polos electromagnéticos*. Los polos del estator tienen un núcleo magnético central y están envueltos con varias vueltas de alambre para producir un fuerte campo magnético. En los motores de pasos puede haber un gran número de polos, cada polo puede ser energizado para ser ya sea polo norte o sur al aplicar corriente en una específica dirección. Los múltiples polos magnético, operan a manera de dientes de engrane alrededor de la periferia de la armadura del motor de pasos. El movimiento paso a paso del rotor es generado por corrientes de pulsos eléctricos dentro de los núcleos del estator los cuales causan que la polaridad de los núcleos del estator cambien de norte a sur.

El giro del motor mediante pasos es un proceso inherente al motor de pasos, de tal manera es posible que el motor alcance la posición deseada con base a un número determinado de pasos. Cada motor de pasos está diseñado para girar a través de un número de pasos por cada revolución, aunque puede girar en medios pasos bajo condiciones propias del motor en torsiones reducidas. Cuando la corriente del motor es aplicada a algunas bobinas del estator, los polos norte del rotor se alinean con los polos sur del estator. Debido a los cambios de los polos del estator de norte a sur, el rotor es forzado a dar un paso de una posición estable a otra. Revertir la secuencia de polaridad en el estator, ocasiona que el rotor gire en sentido inverso.

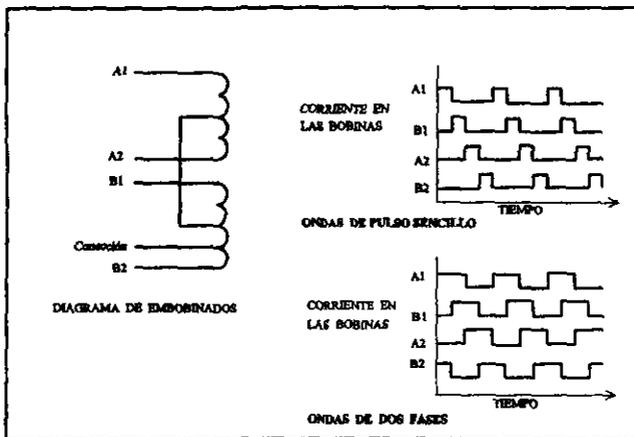


FIG. I. 2. 4 SECUENCIA DE PULSOS APLICADOS A UN MOTOR DE PASOS

Los pasos son precisos en rangos típicos de 1.8 a 30 grados. Los pulsos eléctricos deben ser aplicados a las bobinas del estator en la secuencia correcta. Para controlar la

secuencia de dichos pulsos es necesario utilizar controladores, los controladores contienen una combinación de circuitos electrónicos para generar y aplicar las corrientes requeridas al motor de pasos. En la figura I.2.4 se ilustra la secuencia en que se aplican los pulsos en un motor de pasos.

I.2.5 Ventajas y desventajas de cada tipo de actuador

Actuadores hidráulicos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> * Son los actuadores más potentes. * Se pueden elaborar sistemas hidráulicos económicos. * Se pueden obtener sistemas con buenas precisiones. * Son ideales para articulaciones lineales. * El brazo del robot no tiene que transportar a la fuente primaria de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> * Requieren de un mantenimiento constante. * Requieren de una fuente de presión hidráulica. * Son los sistemas más sucios. * Bajo nivel de control.

Actuadores neumáticos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> * Son los sistemas más económicos de elaborar. * Se pueden diseñar sistemas modulares. * Ideales para las articulaciones lineales * El brazo del robot no tiene que transportar a la fuente primaria de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> * El fluido de trabajo es <i>compresible</i>. * Requieren de una fuente de presión neumática. * Baja velocidad de respuesta. * Pobre nivel de control.

Motores eléctricos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> * Pueden dar buenas precisiones. * Se pueden elaborar actuadores potentes * Ideales para sistemas de control por trayectoria continua. * No requieren de un mantenimiento arduo. * No requieren de una fuente de energía especial (electricidad). 	<ul style="list-style-type: none"> * En actuadores de gran tamaño su costo se incrementa notablemente. * Requieren de sistemas de control retroalimentados más complejos que los stepper motors. * El brazo del robot tiene que transportar a los motores eléctricos.

Motores de pasos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> * Se pueden lograr posiciones exactas mediante pulsos eléctricos sin requerir elementos de retroalimentación. * No requieren de estrictos programas de mantenimientos. * Ideales para sistemas de control por trayectoria continua. 	<ul style="list-style-type: none"> * No pueden generar altas potencias. * Su precisión está limitada por la razón (# pulsos / revolución). * El brazo del robot tiene que transportar a los stepper motor.

I. 2. 6. Velocidad de respuesta y estabilidad

La velocidad de respuesta del robot y su estabilidad son dos características importantes que deben incrementarse al máximo para mejorar así el desempeño del robot. Estos dos parámetros, están íntimamente involucrados uno con otro y suelen inhibirse mutuamente, como veremos enseguida [8].

La velocidad de respuesta se refiere a la capacidad del robot para desplazarse a la siguiente posición en un periodo de tiempo mínimo. Por otro lado la estabilidad del robot suele definirse como una medida de las oscilaciones que se producen en el brazo durante su movimiento. Una estabilidad deficiente se indicará por una gran cantidad de oscilación. La estabilidad del robot puede controlarse, en cierta medida incorporando elementos amortiguadores en el diseño del mismo. Por lo tanto, un alto nivel de amortiguación aumentará la estabilidad pero disminuirá considerablemente su nivel de respuesta.

Precisión de movimiento

Otra forma de evaluar el desempeño del robot es con base a su *precisión*. En robótica, la precisión está en función de tres características que son:

1. *Resolución espacial.*
2. *Exactitud.*
3. *Repetibilidad.*

Las presentes definiciones se aplicarán para las posiciones correspondientes al extremo de la muñeca. Para una mayor comprensión de estas se supondrán las condiciones más desfavorables posibles. Como una tercera condición utilizaremos un robot punto a punto, es decir, nos interesará la capacidad del robot para conseguir una posición dada dentro de un volumen de trabajo sin importar su trayectoria.

1. Resolución espacial

La resolución espacial se puede definir como: " el más pequeño incremento de movimiento en que el robot puede dividir su volumen de trabajo ". La resolución espacial depende de dos factores: la resolución de control del sistema y las inexactitudes mecánicas del robot. La resolución de control viene determinada por el sistema de control y la capacidad del controlador para dividir el margen total de movimiento para una articulación particular. La capacidad para dividir el margen de la articulación en incrementos depende de la capacidad de almacenamiento en bits en la memoria de control.

Las inexactitudes mecánicas proceden de la desviación elástica en los miembros estructurales: holgura de los engranes, tensión de los cordones de las poleas, fugas de fluidos hidráulicos, etc. Estas inexactitudes tienden a ser más marcadas en los robots más grandes. Otros factores como el peso de la carga que está siendo manipulada, la velocidad de desplazamiento del brazo, suelen ser determinantes para una buena exactitud en los robots.

Ejemplo:

Consideremos la articulación deslizante del brazo de un robot de coordenadas cilíndricas, así como un total de 10 incrementos en dicho movimiento deslizante del brazo por razones de diseño. El brazo del robot puede deslizarse un total de 70 cm. desde su posición de máxima contracción hasta su máxima extensión. Por lo tanto, el efector del robot sólo podrá posicionarse en los siguientes diez puntos que se muestran en la siguiente figura (Fig. I.2.6.A):

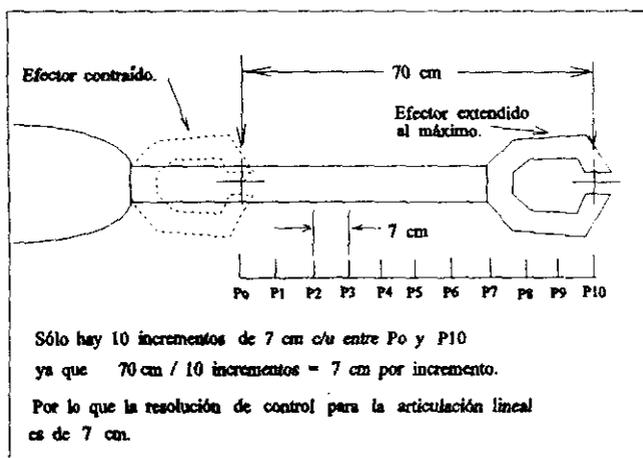


Fig. I.2.6.A Ilustración del concepto de "resolución de control"

2. Exactitud.

En robótica se define a la exactitud como: "La capacidad de un robot para situar el extremo de su muñeca en un punto destino definido dentro de un volumen de trabajo con el mínimo error" [8]. Refiriendonos a la *resolución espacial*, la capacidad del brazo robot para alcanzar un punto destino determinado depende de que tan próximos pueda el robot definir los incrementos de control para cada una de sus articulaciones. En algunos casos, el punto deseado estaría a medio camino entre dos incrementos de control adyacentes, sin considerar las inexactitudes generadas por fricciones mecánicas, deslizamientos o cualquier otro fenómeno inherente al mecanismo. Entonces podríamos definir a la exactitud, bajo estas condiciones como una mitad de la resolución de control. Como hemos visto, la exactitud del robot es afectada por varios factores como son la resolución espacial y desajustes mecánicos. Otro factor que propicia variaciones en la exactitud es la *localización del brazo* del robot en relación a su base, tendiendo a ser peor cuando el brazo esté en las zonas más externas de su volumen de trabajo y mejorando cuando el brazo esté más próximo a su base. Estas variaciones se deben a que las inexactitudes mecánicas se incrementan cuando el brazo del robot está completamente extendido. Otro factor involucrado en la exactitud del robot es el *rango o número de movimientos programados* para desempeñar una tarea específica. Por lo tanto, la exactitud mejorará si el ciclo de movimientos está sometido a un rango restringido de movimientos.

Un quinto factor más que influye en la exactitud es la *carga transportada* por el robot. Cargas de trabajo más pesadas producen una mayor desviación de las uniones mecánicas, incrementa los deslizamientos no deseados y desajustes.

3. Repetibilidad

La repetibilidad se define como " La capacidad del robot para posicionarse N veces en el punto programado cuando se le indique que lo haga ". De esta manera, no es difícil percibir que la repetibilidad y la exactitud están íntimamente relacionadas y se refieren a dos aspectos diferentes de la precisión del robot, la exactitud se relaciona con la capacidad del robot para conseguir un punto destino determinado la repetibilidad, se refiere a la capacidad del robot para volver al mismo punto exacto con su respectivo error cuando se le ordene, manteniendo siempre el mismo rango de error, en muy raros casos el error será cero.

Sea T el punto destino deseado y es el punto al que se le ordenará al robot que se desplace. Llamaremos P al punto programa real debido a las limitaciones de resolución de control, por lo que la distancia entre los puntos T y P es la manifestación de la exactitud del robot. Por último, sea R la posición instantánea alcanzada por el robot y que es resultado de los errores de repetibilidad del robot por lo que R estará oscilando alrededor de P y será diferente en cada ejecución [8].

En el siguiente diagrama (Fig.I.2.6.B) se ilustran los conceptos de *error de exactitud* y *error de repetibilidad*:

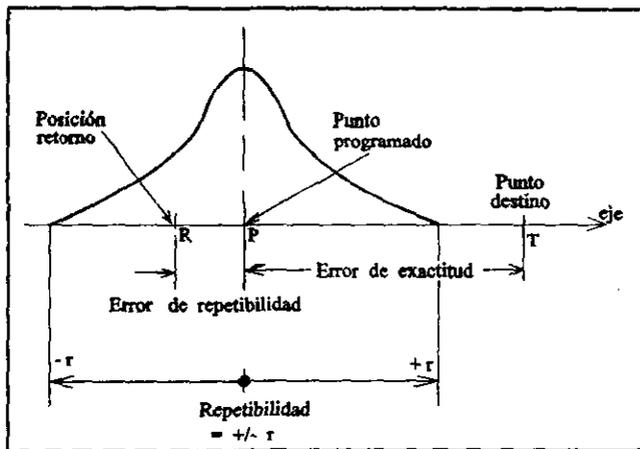


FIG. I. 2. 6. B REPRESENTACION GRAFICA DE LOS ERRORES DE EXACTITUD Y REPETIBILIDAD

Los errores de repetibilidad forman una variable aleatoria y están regidos por una distribución estadística como se muestra en la figura I.2.6.B. Lo ideal sería que los errores de repetibilidad formaran una curva en forma de campana, considerando así una variable aleatoria normalmente distribuida. Sin embargo, la realidad es que para cada articulación las inexactitudes mecánicas, que son las que más contribuyen a los errores de repetibilidad, no forman una distribución simétrica en forma de campana; pero la suma de los errores de varios ejes en movimiento está influida por el teorema del "*límite central*". En probabilidad, dicho teorema nos dice que las sumas de las variables aleatorias tienden a formar una variable normalmente distribuida, aún cuando los componentes individuales procedan de una distribución distinta a la normal [8].

1.3 SISTEMAS SENSORIALES PARA ROBOTS

Una de las más grandes necesidades de la robótica y de los sistemas de automatización es la de desarrollar sensores cada vez más potentes y versátiles que sean capaces de transmitir la información necesaria al sistema con respecto al medio ambiente, y de esta forma se puedan llevar a cabo tareas cada vez más complejas a partir de un conocimiento más detallado del entorno de trabajo.

Actualmente, es posible contar con sensores táctiles de alta resolución, sistemas de visión y otras técnicas sensoriales innovadoras. Los robots, de manera similar que los seres humanos, deben extraer una extensa información acerca de su medio ambiente. Por ejemplo, el efector de un robot que toma objetos debe saber que lo ha hecho, si se le adaptan sensores táctiles o de fuerza por toda el área de contacto le será posible, mediante algún programa de cómputo, tomar los objetos aplicándoles una fuerza de sujeción determinada sin perjudicar los objetos delicados. De la misma forma, el robot deberá evitar el impacto con otros cuerpos durante su movimiento y aprovechar los objetos que translada para regular su velocidad. Algunos objetos son más pesados que otros, otros son frágiles, y otros están muy calientes para ser manipulados; estas características de los objetos deben ser reconocidas y alimentadas a la computadora que controla el movimiento del robot.

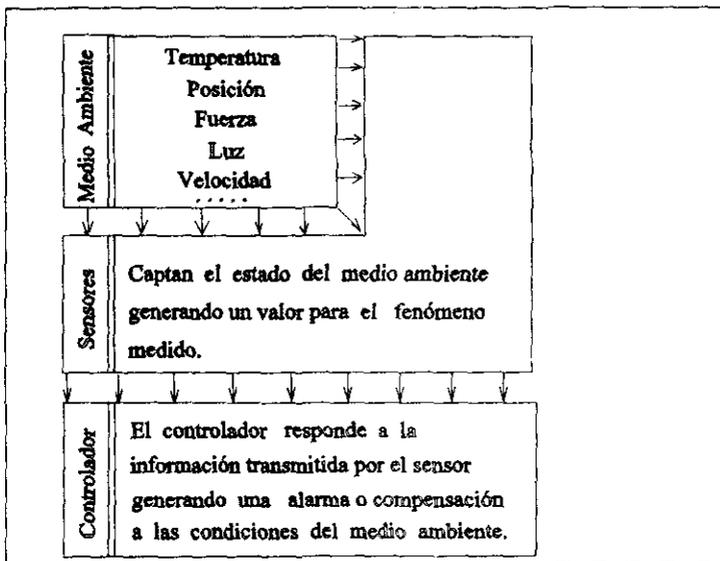


FIG. I.3.1 PROCESO DE SENSORIZACION DEL MEDIO

I.3.1 Transductores

La mayoría de los sensores son un tipo especial de transductores, el transductor se define como "aquel dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una magnitud física, propiedad o estado específico que se desea medir". En robótica y otras ciencias a los transductores se les conoce como sensores, en otras disciplinas pueden ser denominados como: *Transmisores, detectores o captadores* [1].

Los principios de transducción más comunes son:

<i>Transducción Capacitiva</i>	Convierte la magnitud a medir a un cambio de capacidad.
<i>Transducción inductiva</i>	Convierte la magnitud a medir a un cambio de inductancia de un devanado.
<i>Transducción electromagnética</i>	Convierte la magnitud a medir en un cambio en la fuerza electromotriz a partir de un flujo electromagnético.
<i>Transducción piezoeléctrica</i>	Convierte la magnitud a medir en un cambio de carga electrostática (Q) o tensión (E) debido a un esfuerzo mecánico aplicado en ciertos materiales.
<i>Transducción resistiva</i>	Convierte la magnitud a medir en un cambio de tensiones a partir de resistencias variables.
<i>Transducción fotoconductiva</i>	Convierte la magnitud a medir en un cambio de tensiones a partir de una potencia luminosa incidente.
<i>Transducción termoelectrica</i>	Convierte la magnitud a medir en un cambio de voltajes debido a una variación de temperatura.

Tabla I.3.1.a Principios comunes de transducción

A partir de los principios de transducción es posible medir ciertos fenómenos físicos elementales para el control de los sistemas electromecánicos. Estos fenómenos son:

FENOMENO FISICO	TIPO DE TRANSDUCTOR
<p><i>Aceleración y vibración</i> Estos dispositivos utilizan una masa sísmica que es afectada por la aceleración o vibración del cuerpo en estudio.</p>	<p>Acelerómetro capacitivo Acelerómetro piezoeléctrico Acelerómetros potenciométricos</p>
<p><i>Desplazamiento</i> En este caso, los transductores miden la cantidad de desplazamiento lineal o angular de un cuerpo o eje.</p>	<p>Desplazamiento capacitivo Desplazamiento inductivo Desplazamiento potenciométrico Desplazamiento Electroóptico</p>
<p><i>Posición</i> Mide la posición de un cuerpo, su presencia o ausencia absoluta.</p>	<p>Actuador electromecánico Actuador fotoeléctrico</p>
<p><i>Par y torsión</i> Mide la torsión producida en un eje o parte mecánica.</p>	<p>Transductor de par fotoeléctrico Transductor de fuerza por reluctancia</p>
<p><i>Fuerza, masa y peso</i> Estos sensores captan la fuerza aplicada sobre un cuerpo, su masa o peso debido a una aceleración.</p>	<p>Transductor de fuerza capacitiva Transductor de fuerza potenciométrica Transductor de fuerza piezoeléctrica</p>

Tabla I.3.1.b Fenómenos físicos medibles por transductores

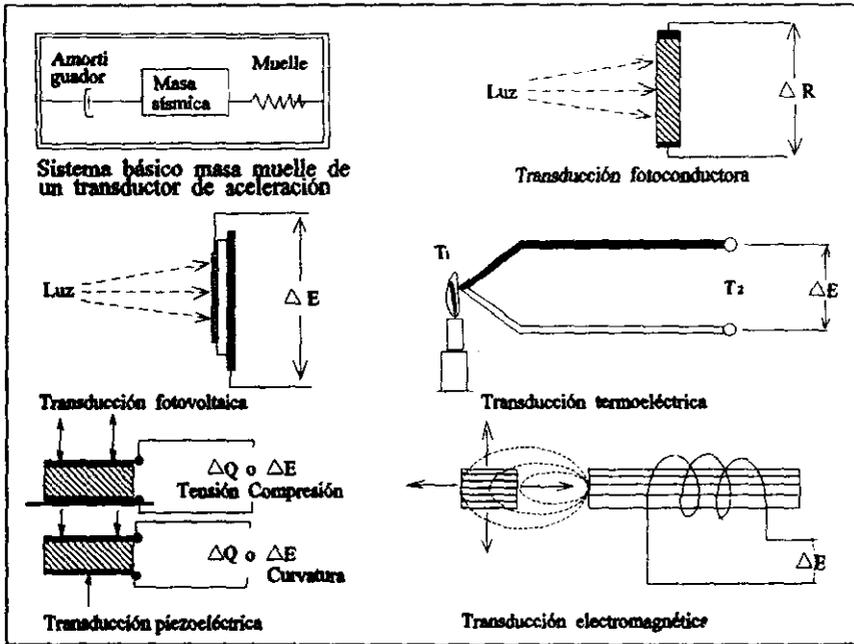


FIG. I.3.1.A REPRESENTACIÓN GRAFICA TRANSDUCTORES

Las principales capacidades sensoriales de un robot han sido clasificadas como:

1. <i>Simple toque</i>	Es la presencia o ausencia de un objeto.
2. <i>Tacto o toque complejo</i>	Capta la presencia de un objeto, más información en cuanto a su tamaño, figura y temperatura.
3. <i>Fuerza simple</i>	Mide la fuerza a lo largo de un eje simple.
4. <i>Fuerza compleja</i>	Mide la fuerza a lo largo de dos o mas ejes.
5. <i>Proximidad</i>	Es la detección de un objeto sin incurrir al contacto.
6. <i>Visión Simple</i>	Detección visual de hoyos, esquinas, filos, etc.
7. <i>Visión compleja</i>	Reconocimiento por medios visuales de figuras.

Tabla I.3.1.e Capacidades sensoriales de un robot

I.3.2 Criterios de evaluación y selección para la aplicación de sensores

Al utilizar un sensor el usuario deberá determinar que es lo que va a hacer dicho sensor y que resultados esperamos de éste. Los sensores pueden ser divididos en dos categorías: *Sensores de contacto* y *sensores por no contacto*. Los sensores de contacto deben tocar a un objeto directamente en un orden de operación, tales como switches. Los sensores de no contacto pueden operar a una distancia con base al estímulo de un campo magnético, ondas sonoras, luz, rayos X, rayos infrarrojos, y otros tipos de energía.

Los sensores por contacto pueden operar por el cierre de un switch eléctrico, al mover un contacto en un potenciómetro, o por la generación de un voltaje en un cristal piezoeléctrico, un cambio en la resistividad en un material piezoresistivo o algunos otros fenómenos físicos. Todas las señales que alimentan a la computadora deberán ser convertidas a un código digital antes de ser usadas.

Los sensores por no contacto miden fenómenos electromagnéticos o de sonido, campos magnéticos o eléctricos, luz visible, luz ultravioleta y rayos X son todos fenómenos electromagnéticos.

Crterios para la evaluación y selección de sensores

Clasificación general de los sensores

Sensores de Contacto:

- Tocan el objeto directamente en un orden de operación.
- Operan a partir del cierre de un interruptor eléctrico, desplazamiento de un potenciómetro, generación de un voltaje a partir de un cristal piezoeléctrico, etc.

Sensores por no contacto:

- Operan a distancia con base al estímulo de un campo magnético, ondas sonoras, luz, rayos X, rayos infrarrojos y otros tipos de energía.
- Miden fenómenos electromagnéticos o de sonido.

Parámetros básicos para la selección de un sensor

- | | | | |
|-----------------|------------------------|------------------|-------------------|
| 1. Sensibilidad | 3. Rango | 5. Precisión | 7. Resolución |
| 2. Linealidad | 4. Tiempo de respuesta | 6. Repetibilidad | 8. Tipo de salida |

Los parámetros más importantes para la selección de un sensor se explican enseguida:

1. Sensibilidad. La sensibilidad se define como el radio de cambio de la salida con respecto a la entrada. Por ejemplo, si el movimiento de 0.01 pulgadas deriva un cambio en la salida del voltaje de 0.03 volts entonces la sensibilidad es de 3 volt por pulgada. Esto alguna vez se utiliza para indicar el más pequeño cambio en la entrada que será observado como un cambio en la salida.

2. *Linealidad.* Un dispositivo con linealidad perfecta nos arrojará una línea recta al graficar la salida versus entrada. La linealidad es una medición de la constancia de proporciones entrada a salida. En la ecuación:

$$Y = b X \quad \text{ecuación (1)}$$

La relación será perfectamente lineal si b es una constante. Pero por ejemplo, b puede ser también una función de X , de tal manera que:

$$b = a + d X \quad \text{ecuación (2)}$$

3. *Rango.* Rango es una medición de la diferencia entre el valor máximo y mínimo medidos.

4. *Tiempo de respuesta.* El tiempo de respuesta es el tiempo requerido para un cambio de la entrada de tal manera que sea observable como un valor estable del cambio en la salida. En algunos sensores, la salida oscila por un corto tiempo antes de que el valor llegue a la estabilidad. Nosotros medimos el *tiempo de respuesta* desde el comienzo del cambio de la entrada hasta el tiempo cuando la salida se ha estabilizado a un rango específico.

5. *Precisión.* La precisión es una medida de la diferencia entre lo medido y los valores actuales. Una precisión de ± 0.001 cm. significa que, bajo todas las circunstancias consideradas, el valor medido estará dentro de ± 0.001 cm del valor actual. En cuanto a la posición del efector final del robot, la verificación de este nivel de precisión requeriría cuidadosas mediciones de la posición del efector final en relación a la base de referencia y dentro del rango especificado de 0.001 cm bajo todas las condiciones de temperatura, aceleración, velocidad y carga.

6. *Repetibilidad.* Repetibilidad es una medida de la diferencia en valor entre dos sucesivas mediciones bajo las mismas condiciones y es un criterio mucho menos estricto que la precisión. De la misma manera que las fuerzas, temperaturas, y otros parámetros no hayan cambiado, esperaremos que los valores sucesivos sean los mismos.

7. *Resolución.* La resolución es una medida del número de mediciones dentro de un rango de mínimo a máximo. También es usado para indicar el valor del más pequeño incremento del valor observable.

8. *Tipo de salida.* La salida puede ser en forma de un movimiento mecánico, una corriente eléctrica, un voltaje, una presión, un nivel de líquido, un nivel de luz u otra forma.

1.3.3 Características físicas de los sensores

1. *Tamaño y peso.* El peso y tamaño son usualmente características físicas muy importantes de los sensores. Si el sensor tiene que ser montado en la mano o brazo del robot, vendría a ser parte de la masa que es acelerada y desacelerada por los actuadores de la muñeca y brazo, de tal manera que afectaría el desempeño del robot. De esta manera, la reducción del peso y tamaño del robot implicarían cambios en el diseño de éste.

2. *Confiabilidad.* La fiabilidad es la característica de mayor importancia en todas las aplicaciones de los robots. Puede ser medida en términos del "Tiempo Medio entre Fallas" cuyas siglas en inglés son MTTF "Mean Time To Failure", está considerado como el promedio del número de horas entre las fallas que pueden suceder en algunas partes de los sensores hasta llegar a ser inoperables.

3. *Interfase.* El uso de sensores, puede convertirse en un problema complejo y caro de solucionar si los conectores, voltajes y corrientes que intervienen no se han estandarizado. De la misma forma, las salidas y control de señales de un sensor deben ser compatibles con otros equipos.

1.3.4 Técnicas sensoriales disponibles

1. *Interruptores.* Los interruptores eléctricos son utilizados rutinariamente para funciones básicas como determinar si un contacto físico ha ocurrido o no; determinar si una parte está en su lugar o no, o determinar si un movimiento ha alcanzado un límite definido. Existen interruptores de uso pesado que manejan altas corrientes y voltajes, así como interruptores pequeños que se utilizan para corrientes y voltajes que sirven sólo como señales. Los microinterruptores son interruptores de mínimas dimensiones utilizados para captar una mínima cantidad de movimiento por lo que manejan corrientes muy pequeñas. Los interruptores tienen frecuentemente una resistencia de fracciones de ohm y una impedancia efectiva por encima del millón de ohms cuando se encuentra abierto. Los *microswitches* son pequeños switches que se accionan al mínimo movimiento conduciendo corrientes muy pequeñas.

2. *Transductores piezoeléctricos.* El efecto piezoeléctrico, consiste en una serie de fenómenos eléctricos manifestados en algunos cuerpos que están sometidos a una presión. El efecto piezoeléctrico puede ser usado para hacer transductores con base a una presión dinámica así como para medir la rugosidad superficial.

Los sensores táctiles pueden utilizar cristales múltiples para poder sentir el contorno superficial. La carga inducida en un cristal se reduce en una ecuación como [5]:

$$Q = d * F \quad \text{ecuación 1}$$

Donde Q.- es la carga medida en Coulombs
F.- es la fuerza aplicada en Newtons
d.- es la constante piezoeléctrica

El voltage de salida está dado por:

$$E = g * t * p \text{ ecuación 2}$$

Donde E.- es el voltage de salida en Volts
g.- es la sensibilidad al voltage
t.- es el espesor del cristal
p.- es la presión aplicada en Newtons por metro cuadrado

3. *Potenciómetros.* Un potenciómetro no es más que una resistencia variable de funcionamiento mecánico, usando potenciómetros, es posible controlar señales de corriente de cualquier dimensión. Los potenciómetros pueden tener configuración lineal o rotatoria.

a) *Potenciómetros lineales.* En estos arreglos el elemento resistivo es montado de tal manera que el deslizador se mueva en línea recta. El potenciómetro lineal (Fig. I.3.1.A) es comúnmente usado para medir una cantidad de desplazamiento lineal en un aparato mecánico conectado al elemento deslizante. Un voltage fijo es aplicado a través de las terminales del potenciómetro, a la vez que el deslizador se mueve, recoge un voltage proporcional a dicha cantidad de movimiento mecánico.

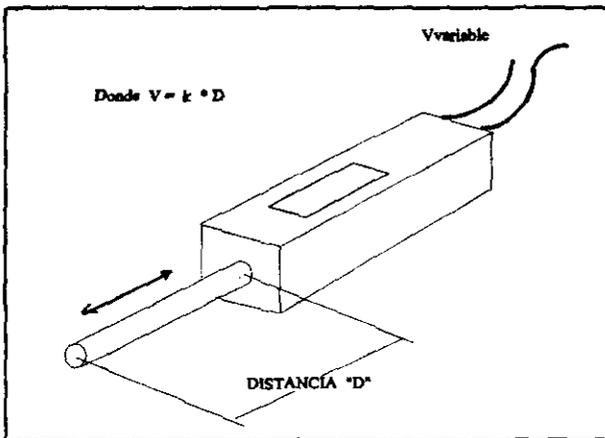


FIG. I.3.4.A. POTENCIOMETRO LINEAL

b) *Potenciómetros Rotatorios.* En este tipo de potenciómetros el elemento resistivo esta en forma de círculo o hélice. Los potenciómetros de vuelta sencilla no pueden girar más de 360 grados. Este no es un factor muy importante ya que un número N de revoluciones puede transformarse en pequeños movimientos rotatorios mediante reductores de velocidad. Si se deseara una gran resolución, se puede actualmente disponer de potenciómetros helicoidales de 5 hasta 10 giros, pueden también adaptarse arreglos de engranajes para utilizar los potenciómetros rotatorios en movimientos lineales [5].

Existen otros tipos de potenciómetros lineales y rotatorios que funcionan con base a voltajes inducidos electromagnéticamente debido al movimiento relativo de un núcleo con respecto a un conjunto de bobinas. Este núcleo puede ser una barra de hierro o un rotor ambos elementos, funcionan entre bobinas que están divididas en dos partes, bobinas con voltaje de entrada y bobinas inductoras del voltaje de salida; dicho voltaje de salida puede transformarse en una señal digital con una resolución de hasta 12 bits. Estos dispositivos, tienen la desventaja de que no se comportan en forma del todo lineal.

4. *Encoders.* Los encoders son dispositivos sensoriales que operan bajo principios ópticos, éstos se dividen en absolutos e incrementales.

a) *Características de los encoders ópticos absolutos.*

- Aparatos rotatorios de alta precisión.
- Están montados en el eje de un actuador rotatorio.
- Identifica la actual posición del eje medido con respecto a una posición cero mediante una palabra digital.
- Están formados de múltiples anillos concéntricos fotografiados o marcados en la rueda de código.
- Con la lectura de solamente una línea radial de código es posible saber la posición angular de la rueda de código.
- El encoder absoluto no puede perder su posición de referencia siendo muy preciso.
- Utilizan el código "Gray", el cual es un tipo de sistema binario en el cual varía sólo uno de los bits binarios con respecto al número binario anterior.

En la tabla I.3.1 se da el ejemplo del Código Gray de 4 dígitos

CODIGO GRAY	VALOR DECIMAL	CODIGO GRAY	VALOR DECIMAL
0000	0	1100	8
0001	1	1101	9
0011	2	1111	10
0010	3	1110	11
0110	4	1010	12
0111	5	1011	13
0101	6	1001	14
0100	7	1000	15

Tabla I.3.1 Código Gray para encoders ópticos absolutos

En la tabla I.3.1 la usual secuencia binaria no se respeta. En cambio, cada código binario cambia en solamente una posición binaria de tal manera que nunca puede estar una posición incierta de más de un BIT entre dos códigos sucesivos. Este arreglo provee una gran exactitud y menos oportunidad de error en la lógica posicional. Un encoder absoluto de gran tamaño puede tener de 10 a 20 anillos concéntricos de código binario. La posición angular puede estar medida de una parte en 2 a la décima o 2 a la vigésima potencia, esto es de una parte en 1024 o de otra forma en 1,048,576 dependiendo del diseño escogido.

Obtener información de la posición con base en encoders ópticos, ya sean del tipo absoluto o incremental, requiere de componentes básicos que se muestran en la figura I.3.4.B. La luz emitida pasa por las ranuras del disco codificado, la luz es sensada por los detectores, inmediatamente después genera una señal que puede ser digitalizada directamente a través de un circuito digital, mismo que produce una salida digital para que ésta sea utilizada por el controlador del robot.

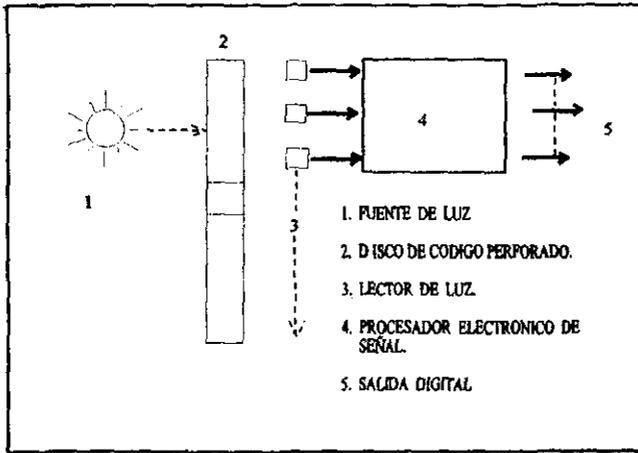


FIG. I. 3. 4. B ENCODER OPTICO ABSOLUTO [5].

b) Características de los encoders ópticos incrementales.

- Son más simples y menos caros que los encoders ópticos absolutos.
- Requieren de un par de fotoceldas para detectar tanto los pasos individuales como la dirección de movimiento.

En un diseño se utilizan dos anillos de ranuras o aberturas, cada anillo tiene ranuras que son iguales en longitud a dos posiciones percibidas de la fuente de luz y las fotoceldas comienzan a ser utilizadas. Cuando el encoder rota en una dirección, la fotocelda exterior primero ve luz en la primer mitad del paso de la ranura, después, ambas fotoceldas ven luz al mismo tiempo en el siguiente incremento de movimiento. En el siguiente incremento de movimiento, la luz de la fotocelda exterior es cortada, pero la fotocelda interior aún la puede captar. Dos fotoceldas A y B son utilizadas para cada disco. En el disco de dos tracks, la celda A está en el track exterior y la celda B está ubicada en el track interior en la misma línea radial. Ambas celdas se encuentran en un mismo track, pero desplazadas una de otra, una y media anchura de ranura o tres anchuras de fotocelda. La interpretación de esta forma de onda puede llevarse a cabo por un circuito lógico simple para obtener la dirección y conteo del número de hoyos que han pasado por la fotocelda.

5. *Elementos elásticos.* Los elementos elásticos son aquellos cuyas dimensiones cambian como resultado de fuerzas aplicadas, entonces una tensión o el cambio en alguna dimensión ocurre. La fuerza es medida directamente por la medición de la tensión.

a) *Elementos elásticos simples, resortes y barras.* Los resortes muestran un considerable desplazamiento cuando una fuerza es aplicada, un desplazamiento Y debido a una fuerza F aplicada está relacionada por la constante K en la ecuación 1:

$$F = K Y \text{ ecuación (1)}$$

Para una barra simple o varilla, la fuerza está dada por la ecuación 2:

$$F = (A E / L) Y \text{ ecuación (2)}$$

Donde: A es el área transversal de la barra
 L es la longitud de la barra
 E es el módulo de Young para el material
 Y desplazamiento

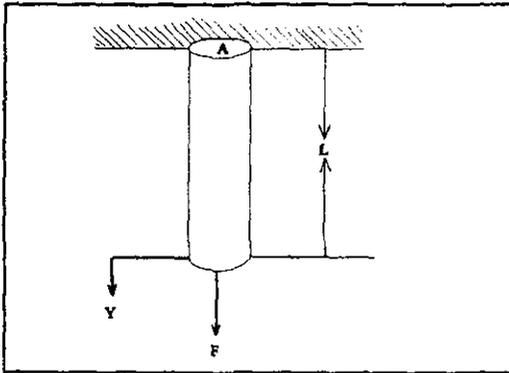


FIG. 1.3.4. C. BARRA SIMPLE O VARILLA [5].

b) *Vigas en Cantiliver.* Las vigas en cantiliver pueden ser usadas como elementos elásticos, la fuerza esta dada como:

$$F = (3 E I / L) Y \text{ ecuación (3)}$$

Donde: I es el momento de Inercia para la viga

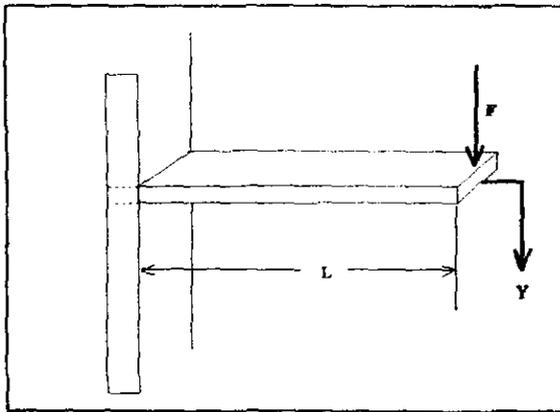


FIG. I. 3. 4. D. VIGA EN CANTILIVER [5]

6. *Arreglos de sensores táctiles.* Los seres humanos tienen la habilidad de tomar objetos, sentir su forma e identificarlo. Objetos pequeños como balines, monedas, alfileres, etc. pueden ser identificados y orientados completamente por el sentido del tacto. Los robots requerirían de este tipo de habilidad si éstos llegaran a desarrollar complejas tareas de ensamblado. En este caso se maneja el término "tacto", como la habilidad de identificar objetos por el uso de múltiples sensores táctiles.

Una aproximación a esta capacidad es el "*Arreglo Sensorial Táctil*". El arreglo de sensores montado en la punta de un "dedo" el cual toca los objetos. La información obtenida por los sensores táctiles es analizada por una computadora para reproducir el contorno del objeto y determinar sus características. El procesamiento requerido es similar, pero no idéntico a los sistemas de visión. El tacto tiene además el problema de sentir y determinar estructuras en tres dimensiones. Dos componentes conductivos son usados en estos arreglos: una tarjeta de circuito impreso flexible y una hoja de silicón conductivo "anisotropically" (ACS). ACS tiene la propiedad de ser eléctricamente conductor en sólo una dirección a través del plano de la hoja. La tarjeta del circuito impreso tiene conductores finos paralelos que están colocados en el ángulo debido hacia el eje ACS de conducción. Este arreglo forma una serie de sensores de presión, uno en cada intersección del circuito impreso de la tarjeta y el ACS. Un separador resistente fue necesario para empujar las dos capas apartandolas cuando la presión por contacto es removida.

7. *Sensores ópticos de proximidad.* Una forma conveniente para la detección de objetos en la ruta del brazo de un robot o manipulador es a través del uso de una fuente de luz tal como un LED (Light Emitting Diode) y una celda fotosensible. Un lente es utilizado para transmitir la luz fuente en un punto en el espacio donde la luz será reflejada de un objeto regresando a través de otro lente hacia el fotosensor (fig. I.3.4.E).

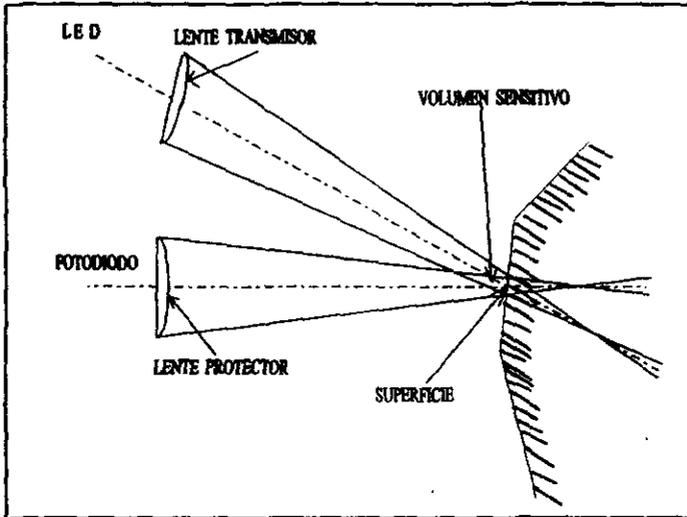


FIG. I.3.4.E SENSOR OPTICO DE PROXIMIDAD

Este arreglo es una simple forma de detectar objetos cercanos aunque no actúa como un buscador de objetos. El esquema representativo de este sistema se ilustra enseguida. Siendo este arreglo económico y sencillo, es posible utilizar varios sensores enfocando en varias localidades [5].

I.4 TIPOS DE CONTROL EN LOS ROBOTS

En un principio los robots eran controlados sin dispositivos de retroalimentación, esto es que no contaban con sistemas sensoriales ni dispositivos electrónicos que fueran capaces de corregir cualquier error en el movimiento del robot en cada instante. Sus dispositivos de control consistían en topes físicos, interruptores eléctricos (switchs), guías o medios rudimentarios para lograr que el robot alcanzara una posición deseada.

Con la evolución de los sensores, la electrónica y otras áreas de la tecnología ha sido posible que los robots puedan realizar movimientos comparables con los de un ser humano y en algunos aspectos los han superado.

Los robots están divididos en dos grandes grupos, determinados por su nivel de control. Estos son:

1. No servo-controlados
2. Servo-controlados

En la actualidad es posible encontrar robots que caigan dentro del primer grupo, esto es debido a que son más baratos y que por el tipo de tarea a que están destinados no se requiere de servocontroles. Aunque este tipo de robots carecen de un servocontrol pueden estar propulsados por motores eléctricos, cilindros neumáticos o hidráulicos al igual que los robots servocontrolados.

I. 4. 1. Robots No Servo-controlados

Los Robots No Servo-controlados están clasificados a su vez en:

- a) Robots de control explosivo (bang-bang)
- b) Robots de secuencia controlada.

a) Robots de control explosivo (bang-bang)

- * Son los robots más simples.
- * Sólo se mueven de tope a tope mediante movimientos explosivos (bang).
- * Los topes entre cada movimiento se pueden ajustar mecánicamente.
- * Por lo tanto sólo se pueden desplazar de tope a tope y no pueden detenerse entre éstos.
- * Se pueden lograr buenas precisiones aunque éstas están restringidas por la localización de los topes.
- * Bajo costo.
- * Limitada flexibilidad.

b) Robots de secuencia controlada

- * Se logra un control de movimiento más complejo.
- * Se utilizan múltiples topes localizados a lo largo de la trayectoria del robot.
- * Se integran recursos auxiliares como cilindros neumáticos, solenoides, etc. para el control de los topes.
- * Un control todavía más complejo fue posible utilizando controladores programables, microprocesadores.
- * Se logra una mayor flexibilidad en el control del robot.
- * Se incorporan los Stepper Motors o motores paso a paso con lo que se logran altas precisiones y una alta flexibilidad de control sin requerir de topes o servo-controles.

I. 4. 2. Robots Servo-Controlados

Posteriormente, surge una nueva generación de robots, así como, otro concepto en los dispositivos de control con la aparición de los servo-sistemas o sistemas controlados por servo-controladores. Estos robots servo-controlados cuentan con las siguientes características generales:

Robots Servo-Controlados, características básicas

- * Mejor control y capacidad de detenerse entre cualquier punto de la trayectoria.
- * Estos robots están dotados de una retroalimentación continua para corregir cualquier error en su movimiento.
- * Cuentan con diferentes tipos de sensores para el constante monitoreo de la posición, velocidad, esfuerzos mecánicos etc. éstos están ubicados regularmente en las articulaciones del robot.
- * Se utilizan sistemas de control independientes en cada articulación del robot por lo que es posible que sólo algunos ejes del robot estén servocontrolados.

Existen dos tipos de servo control en los robots servo-controlados, estos son:

- a) Control punto a punto
- b) Control de ruta continua

a) Control punto a punto

- * En este tipo de control el efector del robot se desplaza de un punto a otro sin importar la trayectoria de desplazamiento.
- * Esta característica los hace similares a los robots no servo-controlados.
- * Estos robots pueden detenerse en un gran número de puntos diferentes siendo el número de puntos limitado por el controlador.
- * Los actuadores de cada eje del robot pueden operar a diferente velocidad en dos movimientos secuenciales lo que puede ocasionar que cada eje tome diferentes rutas.
- * El control punto a punto no se recomienda en situaciones donde el robot tenga que esquivar obstáculos o arribar a su punto destino en alguna forma particular ya que éste podría impactarse con algún objeto.
- * Los robots de coordenadas polares y cilíndricas son los más adecuados para este tipo de control.

b) Control de trayectoria continua

- * Los robots de trayectoria continua mueven su efector final de un punto a otro con la habilidad de seguir una ruta predefinida por el usuario (lineal, circular, oscilante, etc). La trayectoria deseada esta formada de muchos puntos espaciados por fracciones de centímetro.
- * En este tipo de control todas las articulaciones del robot participan en el movimiento para que el efector pueda recorrer la trayectoria deseada.

En el diagrama superior (fig. I.4.2.A.) se muestra como en ambos tipos de control el efector posicionaría la pieza de trabajo exactamente en el mismo punto 2 desde el punto 1, sólo que en el control punto a punto el robot impactaría a la pieza de trabajo con la cubierta de la máquina en el punto de impacto señalado, esto se debe a que el robot tomaría cualquier ruta indiferentemente para llegar al punto destino.

A diferencia del control por trayectoria continua el usuario ha indicado que el robot debe conducir al efector junto con la pieza de trabajo por una ruta circular de tal manera que evite impactarse con las paredes de la máquina.

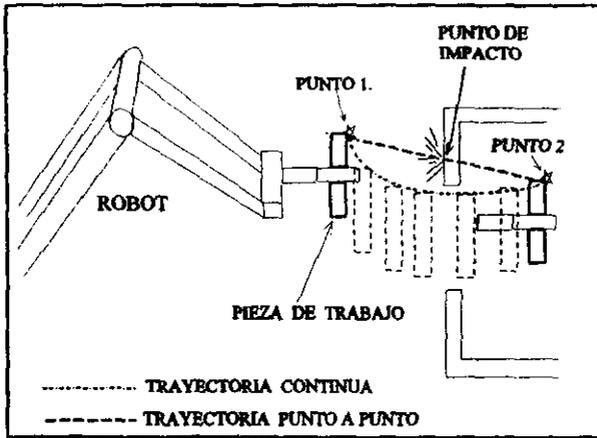


FIG. I.4.2. A. TIPOS DE CONTROL DE TRAYECTORIAS

En la figura I.4.2.B, se muestran las partes fundamentales de un sistema de control, en este caso el correspondiente al servo-control de un motor eléctrico

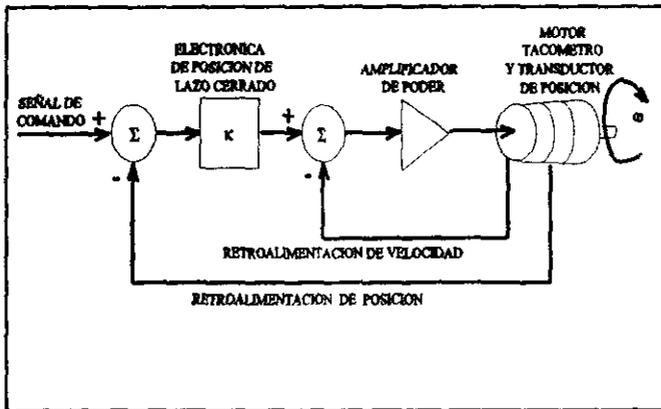


FIG. I.4.2. B. SERVO-SISTEMA CON RETROALIMENTACION DE POSICION Y VELOCIDAD

En los robots servo-controlados se tienen tres tipos de trayectorias continuas que son las más comunes :

1.Servo Control Standard

- * Es el tipo de control de trayectoria más simple.
- * Una representación de la trayectoria es almacenada en memoria.
- * Todos los cálculos hechos están basados en servo-errores anteriores y actuales.

2.Control Anticipado

- * Este es un tipo de control donde es posible predecir donde quedará la siguiente trayectoria del efector a partir de las trayectorias anteriormente recorridas.
- * Con esta tecnología se mejora notablemente el desempeño del movimiento del robot.
- * Un ejemplo análogo es el del conductor de un automóvil que anticipa la trayectoria haciendo pequeñas correcciones antes de llegar al punto visualizado.

3.Control por "Trayectoria Controlada"

- * Es la técnica más avanzada para el control de trayectoria del robot.
- * El control se logra controlando cada articulación del robot hasta que se alcanza la trayectoria deseada.
- * Así también se controla la velocidad y aceleración en cada articulación del robot, de tal manera que la velocidad y aceleración equivalente en el efector sea el deseado.

CAPITULO II. IDENTIFICACION Y SELECCION DE TAREAS POTENCIALES

En esta sección, aplicaremos algunas técnicas de la ingeniería industrial para evaluar las condiciones de la planta con el fin de determinar si es factible la robotización de la misma; para esto recurriremos a técnicas de *análisis de procesos*. El análisis de procesos es una útil herramienta que en primera instancia nos permitirá depurar los procesos de desperdicios, tiempos muertos y/o procesos innecesarios, para posteriormente identificar y seleccionar las tareas específicas potencialmente robotizables.

Los pronósticos nos ayudarán a preveer las condiciones externas a la empresa en un periodo de mediano y largo plazo. Condiciones como la vida del producto y comportamiento del mercado en un futuro son determinantes para justificar la automatización de una planta. La planeación de las empresas es un aspecto fundamental para su coexistencia, no importando el giro o tipo de empresa que se considere, sea de servicio o fabricación. Al planear, se toman las acciones necesarias siempre en busca de que los resultados en el futuro sean como se conciben en el presente; sin embargo, deben tomarse en cuenta aquellos factores externos a la empresa que no será posible controlar y que podrían en el mejor de los casos obligar a la empresa a entrar en un duro y costoso proceso de adaptación.

Es por lo anterior que los pronósticos son los insumos de la planeación estratégica, en los pronósticos se fundamentan áreas de la empresa como la mercadotecnia, finanzas, recursos humanos, o planeación de procesos. Un pronóstico bajo en ventas en los siguientes tres años son indicios de que se requiere de poca automatización y que los procesos deben mantenerse como están. Por el contrario, si los pronósticos arrojan un incremento en los volúmenes de ventas pueden ser un buen justificante para la iniciación de un proyecto de automatización via robots. Pero no solamente mediante los pronósticos se calculan volúmenes de producción, también pueden interpretarse tendencias o comportamientos en los mercados. Es raro que una empresa produzca sólo un artículo, lo normal es que se vean obligadas a hacer un gran número de pronósticos por la variedad de artículos involucrados en sus productos. Como resultado, utilizan programas de cómputo para la elaboración de sus pronósticos en la toma de decisiones.

Los pronósticos como cualquier sistema pueden adquirir varios niveles de agregación y precisión, lo que determina su nivel de complejidad y costo de elaboración para las empresas. En la siguiente tabla se hace un resumen sobre los diferentes tipos de decisiones en las operaciones, necesidades de pronósticos relacionadas, así como los tres métodos utilizados para la elaboración de pronósticos que son: cualitativos, series de tiempo y causales.

Usos y métodos de los pronósticos

Usos de los pronósticos para las decisiones en operaciones	Horizonte de tiempo	Exactitud necesaria	Número de productos	Nivel gerencial	Métodos de pronósticos
Diseño del proceso	largo	media	uno o pocos	alto	cualitativos y causales
Planeación de la capacidad de las instalaciones	largo	media	uno o pocos	alto	cuafitativos y causales
Planeación agregada	mediano	alta	pocos	mediano	causales y series de tiempo
Programación	corto	la más alta	muchos	más bajo	series de tiempo
Administración de inventarios	corto	la más alta	muchos	más bajo	series de tiempo
<i>PLAZO</i>	<i>TIEMPO</i>				
Largo	Más de 2 años				
Mediano	De 0.5 a 2 años				
Corto	Menos de 0.5 años				

Tabla II.1 Uso y métodos de los pronósticos [9].

II.1 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS

Los procesos industriales se clasifican con base en el flujo de operaciones requeridas para la fabricación de un producto, y se denominan como:

- | |
|---|
| a) flujo lineal
b) intermitente
c) por proyecto |
|---|

Donde el tipo de maquinaria y procesos empleados varían sustancialmente como se explica enseguida. Otro criterio para la clasificación de los procesos es en base a su destino los cuales pueden ser dos, para inventario (push) o para cubrir algún pedido (pull) lo que determina de igual manera el tipo de procesos y tecnología empleada..

II.1.1. Clasificación por flujo o secuencia de operaciones

El primer criterio que se utiliza para clasificar el tipo de proceso es el flujo o secuencia de operaciones. Los tres posibles tipos de flujo que son: *lineal*, *intermitente* y *por proyectos* se presentan enseguida.

a) Características del flujo lineal
* La secuencia de operaciones para fabricar el producto es lineal. * El producto por lo general está bien estandarizado. * El producto fluye de una operación o estación de trabajo a la siguiente en una secuencia prescrita. * Cada tarea se acopla íntimamente con la otra por lo que deben estar balanceadas para que ninguna tarea retrase a las siguientes. * El flujo lineal de producción puede clasificarse en algunas ocasiones en <i>masiva</i> y <i>continua</i> . * Los procesos continuos están más automatizados. * El flujo lineal es poco flexible. * La automatización es costosa pero bien justificada por lo que debe mantenerse un volumen alto de producción. * Las tareas repetitivas y/o tediosas son comunes por lo que la automatización por medio de robots sería propicia en muchas tareas.

b) Características del flujo intermitente

- * Un proceso de flujo intermitente se caracteriza por la producción de lotes a intervalos intermitentes.
- * El equipo y mano de obra se organizan en centros de trabajo con operaciones y equipo similar (tecnología de grupos).
- * Un producto fluirá sólo a aquellos centros de trabajo que le sean necesarios.
- * Las operaciones intermitentes son altamente flexibles para variar el producto o el volumen.
- * Por lo tanto mantienen una baja eficiencia que está dada por la relación:
$$E.P. = (T.T.I.T.) / (T.T.O.)$$

Donde E.P. = Eficiencia de producción.
T.T.I.T. = Tiempo total involucrado en el trabajo por máquinas u hombres, no se considera tiempos muertos o de espera.
T.T.O. = Tiempo total de operaciones, incluyendo tiempos de espera
- * Las operaciones intermitentes casi siempre tienen una eficiencia del 10 al 30% siendo muy especiales los casos donde se supere el 40%.
- * En general el volumen de producción es bajo y el producto está poco estandarizado.
- * Los flujos intermitentes se caracterizan por una alta flexibilidad en las estaciones de trabajo o células de manufactura, dichos requerimientos de flexibilidad podrían ser bien cubiertos por los robots.

c) Características de la producción por proyecto

- * No hay un flujo de producción, pero sí hay una secuencia de operaciones.
- * La producción por proyectos se utiliza para la producción de productos únicos como obras de arte, una película, un edificio, una máquina especial.
- * Es impropio automatizar ya que un proyecto se hace sólo una vez por lo que la aplicación de los robots sería en forma eventual.

La variedad de tipos de máquinas y tecnologías posibles como una función de la variedad del producto y del volumen se pueden representarse gráficamente, fig. II.1.1.

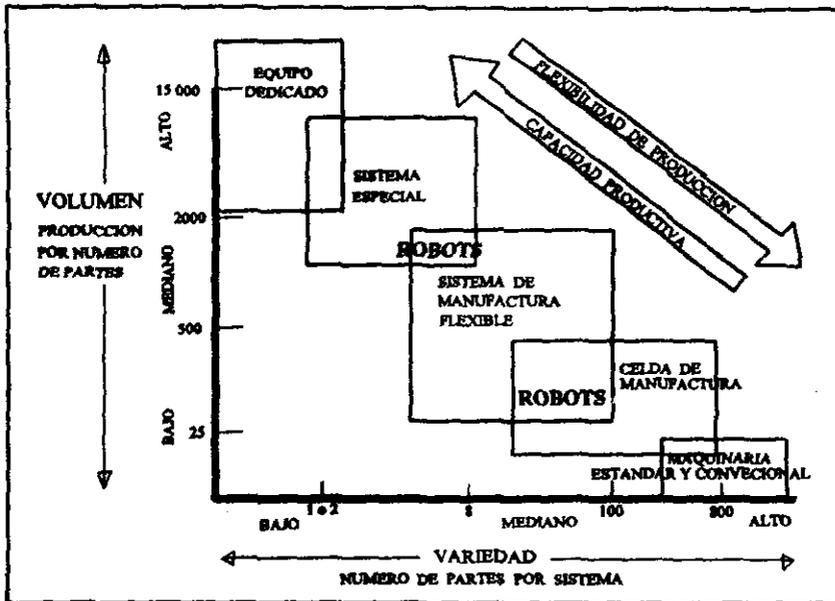


FIG. II.1.1 TIPO DE MAQUINARIA REQUERIDA SEGÚN EL VOLUMEN Y VARIEDAD DE PRODUCCION

II.1.2 Clasificación de los procesos con base en el destino del producto

Un segundo criterio para clasificar los procesos es con base al destino del producto; esto es si la producción esta destinada al inventario o para surtir un pedido específico del cliente.

Fabricación para inventario (Push)

- * El proceso de fabricación es rápido con bajos costos.
- * En la fabricación para inventarios se maneja una línea de productos estandarizada.
- * La compañía acumulará un inventario anticipándose a la demanda.
- * El inventario estará destinado principalmente a cubrir las oscilaciones de la demanda una vez que se conozca la demanda promedio.
- * El proceso de producción busca mantener un inventario.

Fabricación por pedido (pull)

- * El proceso por pedido responde esencialmente a los requerimientos del cliente.
- * El proceso deberá ser flexible para adaptarse a las necesidades del cliente.
- * Se debe contar con las especificaciones del producto determinadas por el cliente.
- * El ciclo de fabricación inicia cuando el cliente ha emitido su pedido.
- * La cotización de fabricación se emite de inmediato si el producto es estándar, de ser un producto especial la cotización podría tomar un mayor tiempo.
- * El parámetro de eficiencia de la fabricación por pedido es el tiempo de entrega.

Los factores que determinan la selección del proceso son:

1. Las condiciones del mercado
2. Las necesidades de capital
3. La mano de obra
4. Las habilidades gerenciales
5. La materia prima
6. La tecnología utilizada

En el factor tecnología, el uso de la robótica bien aplicada cubre las necesidades de flexibilidad y calidad en los procesos de producción en línea o intermitente. Los robots son un medio de automatización no rígido y pueden ser encaminados a elaborar diferentes tareas.

II. 2 IDENTIFICACION Y SELECCION DEL PROCESO

Para la identificación y selección de aplicaciones para los robots en la planta se considerará el caso en el que se tenga que sustituir un método actual de operación, esto se debe a que existe la posibilidad de que se trate de nuevas aplicaciones para el robot, situación que sería difícil de que se presentara en una planta bien estructurada con sistemas de producción ya establecidos, en tal caso el proceso se adaptaría inicialmente al robot. Este capítulo discute algunas metodologías para identificar y seleccionar las tareas más apropiadas para el robot. La manera más sencilla de iniciar la identificación de aplicaciones potenciales es mediante un paseo a lo largo de la planta. Observaciones que se formalizarán en un análisis detallado.

La metodología para la identificación y selección de procesos está íntimamente ligada con el análisis del flujo de procesos. En esta etapa será posible detectar un sinnúmero de fallas y defectos en los flujos de procesos con el fin de mejorarlos y eficientizar los resultados como los tiempos de producción y calidad en los productos. Como resultado se llegarán a mejoras como la eliminación de procesos inútiles, fusión de dos o más tareas en una sola y una redistribución mejorada de la planta.

En resumen, antes de proceder a la automatización del proceso hay que eliminar todos los desperdicios que se encuentren en éste. Posteriormente se identificarán y seleccionarán las tareas adecuadas para una robotización.

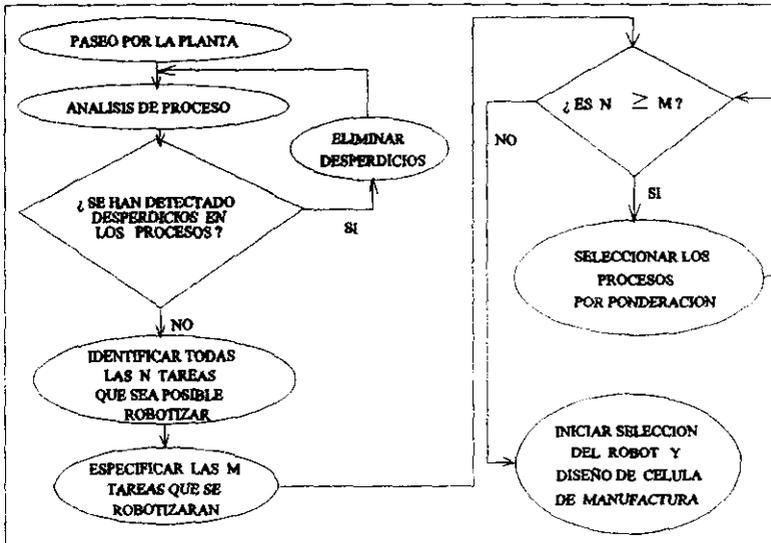


FIG. II.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SELECCION DE LOS PROCESOS A ROBOTIZAR

II.2.1 Diagramas de flujo de proceso para el análisis de la planta

Mediante la aplicación de los diagramas de flujo es posible mejorar el proceso de transformación en los sistemas productivos. Al modificar alguno o todos los siguientes elementos del proceso se podrá mejorar la efectividad de la producción:

1. Materia prima
2. Diseño del producto
3. Diseño de los puestos
4. Pasos de procesamientos
5. Información para el control gerencial
6. Equipo y/o herramientas utilizadas

El objetivo de los diagramas de proceso es percibir las etapas de un proceso en forma general para luego implementar mejoras que nos ayuden a eliminar todo el desperdicio existente. Se considera como desperdicio a cualquier operación que no añade valor durante el proceso de producción, operaciones como almacenamiento, desplazamiento del producto de un punto a otro, inspecciones, etc.

Cuatro herramientas básicas para el análisis de flujo de materiales son:

1. Dibujos de ensamble
2. Gráficas de ensamble
3. Hoja de rutas críticas
4. Gráficas de flujo de procesos

Al aplicar las anteriores herramientas será posible identificar aquellas tareas robotizables una vez que se haya depurado el proceso en cuestión.

1. Dibujos de Ensamble

Los dibujos de ensamble (fig. II.2.1.A) muestran la manera en que se armarán las partes de un artículo manufacturado. A este dibujo también se le conoce como "*Explosión del Producto*", ya que todas las partes que conforman al artículo están distribuidas alrededor del ensamble principal como si éste hubiese estallado. Con este dibujo es posible identificar las partes que conforman al producto y la manera en que están ensambladas o unidas unas con otras. Así, podrían comenzarse a distinguir las primeras tareas potenciales para el robot.

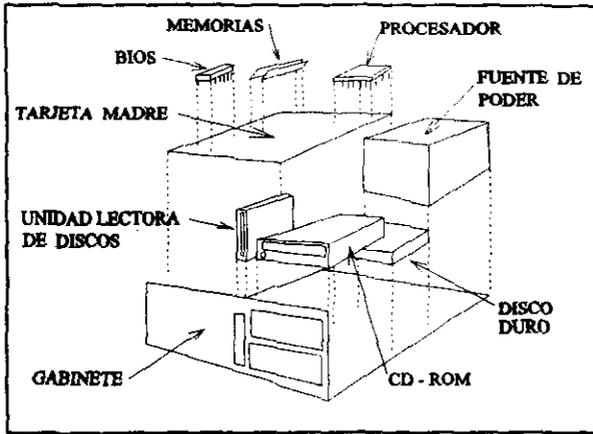


FIG. II.2.1. A. DIBUJO DE ENSAMBLE PARA UN CPU

En este tipo de dibujos predominan las tareas de ensamblado, propias para un robot. En el caso del CPU la tarjeta madre forma un subensamble el cual, a su vez, está formado por los ensambles de las memorias, procesador y BIOS. La tarjeta madre es, a su vez, ensamblada en el gabinete, el cual es la parte que contiene todos los demás ensambles y subensambles como: unidad lectora de discos, disco duro, fuente de poder y CD ROM, entre otros.

2. Gráficas de ensamble

Con las gráficas de ensamble se muestra la secuencia exacta de operaciones necesarias para armar un producto. A las gráficas de ensamble también se les denomina "Gozinto" de la expresión inglesa "goes into" o "va hacia". Esta gráfica muestra cada paso en el proceso de ensamble y las partes que pasan hasta el producto final. Un ejemplo de una gráfica de ensamble se muestra en la figura II.2.1.B la cual es continuación del dibujo de ensamble que se mostró anteriormente.

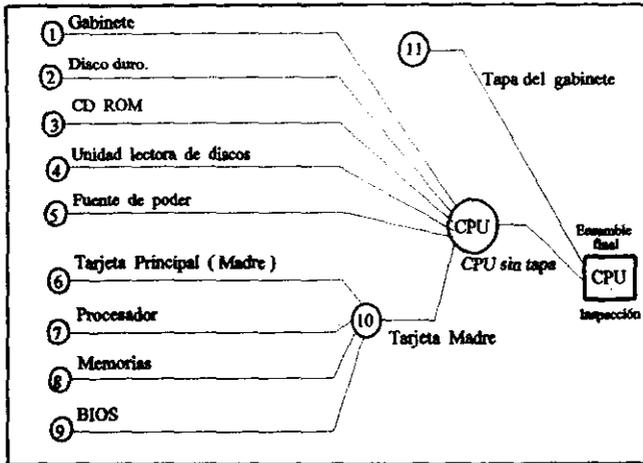


FIG. II. 2. 1. B GRAFICA DE ENSAMBLE PARA UN CPU

3. Hoja de ruta de trabajo

La hoja de ruta de trabajo es más detallada y explícita que la gráfica o dibujo de ensamblaje, ya que muestra las operaciones en forma ordenada que se requieren para la elaboración de una parte individual. En esta hoja se enlista cada operación realizada a máquina o manualmente, junto con las herramientas y el equipo requerido. En ciertos casos, también puede mostrar los tiempos de producción de cada operación.

Para ejemplificar el uso de la hoja de ruta de trabajo se dará a conocer mediante ésta el proceso básico para la fabricación de un *pistón para motor de combustión interna*, (algunos datos son estimativos). Información extraída de la cía. *Moresa S.A. de C.V.*

Nombre de la parte: <u>Pistón R39</u>		Fecha: <u>12/06/98</u>		
Número de ensamble: <u>MI0</u>		Expedido por: <u>Moresa</u>		
Operación	Descripción y comentarios	Departamento	Herramientas y/o equipo	Tiempo (seg)
1	Fundición del aluminio y formación del pistón en bruto	Fundición	Horno eléctrico	22
2	Recepción del pistón incandescente para su enfriamiento por aceite	Fundición	Horno eléctrico pinzas	12
3	Rebabeado del pistón	Centro de máquinas	Rebabeadora, manualmente	14

4	Rectificado de superficie	Centro de Máquinas	Rectificadora de superficies	130
5	Ranurado para colocación de anillos	Centro de Máquinas	Torno automático	52
6	Barrenado para colocación del eje de biela	Centro de Máquinas	Fresadora o Taladro radial	45
7	Rectificado interior del pistón	Centro de Máquinas	Torno automático	90
8	Tratamiento térmico final	Tratamientos térmicos	Horno para Tratamientos térmicos	180

FIG.II.2.1.C. Hoja de ruta para la fabricación de un pistón de motor de combustión interna

La hoja de ruta describe brevemente la manera en que se realizan las operaciones necesarias para fabricar una parte en particular correspondiente a un producto. De esta manera se tendrán que realizar tantas *hojas de rutas*, como partes conformen al artículo producido. Para la robotización de la planta, las hojas de ruta darán más elementos a la persona encargada de identificar las tareas robotizables, ya que informan sobre aspectos del proceso como material utilizado, operación realizada, maquinaria y herramienta empleada y tiempo promedio para cada operación.

En el ejemplo anterior se pueden identificar rápidamente operaciones que son realizadas en su mayoría por las máquinas sin que el operario intervenga, más que para su carga y descarga con sus respectivos ajustes, también hay operaciones donde el operario las realiza directamente con ayuda de una herramienta y de la máquina.

Operaciones donde el operario interviene en tareas de carga y descarga de máquinas:

1. Rectificado del pistón
2. Ranurado del pistón
3. Barrenado del pistón
4. Rectificado interior
5. Carga y descarga del horno para tratamiento térmico

Operaciones donde el operario realiza directamente la tarea mediante el uso de herramientas u otros accesorios:

1. Carga del horno de fundición con lingotes de aluminio
2. Descarga del pistón del horno de fundición y enfriamiento de éste
3. Rebabeado del pistón

La información de cada operación podría ampliarse si se añaden nuevas columnas al formato de la *hoja de rutas*, las columnas informarán sobre aspectos críticos a considerar para calificar como robotizable o no, a la tarea en cuestión. Al estudiar en conjunto los dibujos de ensamble, gráficas de ensamble y hojas de ruta, se verá que no se cuenta con la información necesaria para eficientizar el proceso e identificar las tareas robotizables. Como un elemento más para lograr un análisis de proceso consistente se puede recurrir a la *gráfica de flujo de proceso*, que a continuación se describe.

4. Gráfica de flujo de proceso

Es una gráfica completa en la que se representa la secuencia del proceso, esta gráfica considera todas las actividades necesarias para fabricar un producto o pieza, inclusive puede ser una útil herramienta para las operaciones de servicios. Se utilizan 5 símbolos básicos cuyo significado se muestra en la figura II.2.1.E

Donde:

Operación: es una tarea o actividad de trabajo.

Inspección: representa una revisión del producto referente a su cantidad calidad u otras propiedades.

Transportación: es el movimiento de material de un punto a otro.

Almacenamiento: implica colocar en inventario o almacenar materiales en espera de la siguiente operación.

Retraso: es la demora en la secuencia de operaciones.

En la figura II.2.1.D. se presenta una gráfica de flujo de procesos empleando el caso del pistón para motor del ejemplo para la hoja de ruta de trabajo.

Artículo de la gráfica : <u>pistón R39</u>		GRAFICA DE FLUJO DE PROCESO		Diagrama del método: <u>actual</u>			
No de gráficas: <u>4</u>							
Hoja: <u>GFP Motor</u>							
Fecha: <u>12/06/98</u>							
Planta: <u>Moresa</u>							
<u>Vallejo</u>							
Dist mts.	Tiempo mns.	Actual <input checked="" type="checkbox"/>	Propuesto <input type="checkbox"/>	Observaciones			
		Descripción y comentarios					
		<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Almacén de lingotes de aluminio hasta su requisición	
2	0.50	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Recibida la requisición se cargan lingotes al carro	Robotizable
120	2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lingotes de aluminio al horno de fundición	
5	0.40	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Descargar el carro y almacenar lingotes cerca del horno de fundición	Robotizable
	40	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lingotes en espera de ser cargados en el horno	
0.5	0.25	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El horno de fundición se carga con lingotes de aluminio	Robotizable
	0.35	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fundición de aluminio y formación de pistón en bruto	
	0.20	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pistón listo, se descarga con pinzas del horno	Robotizable
	0.08	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El pistón se sumerge en aceite para su enfriamiento	Robotizable
	20	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material a la rebabeadora	
90	1.5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material a la rebabeadora	
	0.25	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rebabeado de pistón en bruto	Robotizable
	15	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material a la rectificadora	
30	0.5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Al área de rectificado	
	2.05	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pistón procesado en rectificadora de superficies curvas, cada pistón es inspeccionado después del proceso	Robotizable
	17	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material al torno	
20	0.4	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material al torno para ranurado de pistones por operario	
2	1.0	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pistón al torno para hacer ranuras de anillos, inspección	Robotizable
	18	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material al taladro radial	
10	0.3	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material al taladro para elaborar barrenos	
	0.8	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pistón montado y barrenado en taladro, inspección	Robotizable
	20	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material al torno	
20	0.5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material hacia el torno	
	1.5	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material rectificado internamente, inspección	Robotizable
	16	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera al operario para llevar material al horno	
40	1	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Material hacia el horno de tratamientos térmicos	
	2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tratamiento térmico de pistones	Robotizable
	12	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera por el operario para llevar pistones al almacén	
10	0.20	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pistones son transportados al almacén	
	0.50	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	El pistón es inspeccionado detalladamente y luego almacenado	Robotizable

FIG. II.2.1.D DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA PISTON

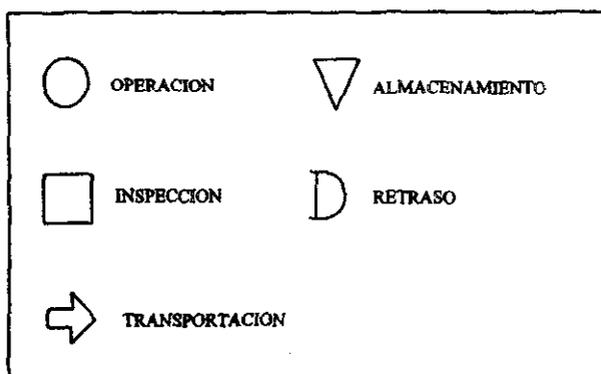


FIG. II.2.1.E SIMBOLOS EMPLEADOS EN LAS GRAFICAS DE FLUJO DE PROCESOS [9]

En la tabla de la figura II.2.1.D es posible captar a detalle todas las etapas principales del proceso de manufactura del pistón ya que consideran actividades de transportación, inspección, almacenamiento y demoras; actividades que no se tomaban en cuenta en la gráfica de ensamble ni en la hoja de rutas.

En cada renglón de la gráfica de flujo de proceso se ilustran los cinco símbolos básicos, el objetivo es facilitar el llenado e interpretación del flujo de proceso, señalando el símbolo correspondiente si la actividad que se realiza es una operación, una transportación, una inspección, un almacenamiento o una demora.

Los tres símbolos asociados con actividades potencialmente robotizables son:

○ **Operación.** Cualquier operación como ensamblado, soldadura, pintura por spray, maquinado, manejo de herramientas, manejo de piezas, carga y descarga de máquinas CNC, etc. puede ser efectuada por robots.

□ **Inspección.** Actividades de inspección en el 100% de los productos o por muestreo son una posibilidad para la aplicación de la robótica asistida por dispositivos automatizados de inspección.

▽ **Almacenamiento.** El almacenamiento podría ser cualquier actividad de paletizado en donde el robot acomoda las partes terminadas en charolas, palets o cajas listas para ser almacenadas.

La siguiente fase del análisis de flujo de procesos es la de aplicar un sentido crítico constructivo a la anterior tabla. Esta crítica se llevará a cabo mediante una serie de preguntas conocidas en ingeniería industrial como *técnica del interrogatorio*. Todas las preguntas irán dirigidas a plantear o poner a juicio la posible robotización de las tareas que así lo permitan, con el fin de generar un gran número de alternativas para posteriormente seleccionar aquellas tareas que reúnan una mayor cantidad de características.

II.2.2 Técnica del interrogatorio para la detección de tareas robotizables

El interrogatorio consiste en plantear un sinnúmero de preguntas que en primera instancia, como se comentó anteriormente, están enfocadas a eficientizar el flujo de proceso y reducir al mínimo los desperdicios existentes. En segundo término, se identificarán todas las tareas que potencialmente sea factible robotizar.

Las preguntas se derivan de cinco preguntas genéricas base, que son: *Qué, Quién, Dónde, Cómo y Cuándo*. El número de preguntas que se podrían generar varían según el proceso y la profundidad con la que se analice.

En la siguiente tabla se dan algunos ejemplos de preguntas orientadas a la automatización del proceso:

	Preguntas derivadas
Qué	¿Qué operaciones son realmente necesarias? ¿Se pueden eliminar algunas operaciones, combinarse o simplificarse? ¿Es posible rediseñar el producto para facilitar la operación? ¿Qué operaciones son repetitivas, tediosas, agotadoras o peligrosas ?
Quién	¿Quién realiza cada operación? ¿Puede rediseñarse la operación para hacerla más sencilla y rápida ? ¿Pueden combinarse las operaciones para mejorar la productividad ? ¿Pueden rediseñarse las operaciones para hacerlas robotizables ?
Dónde	¿En dónde se realiza cada operación ? ¿Pueden mejorarse las condiciones del lugar, temperatura, iluminación? ¿Las condiciones del lugar son propicias para un robot?
Cuándo	¿Cuándo se realiza la operación? ¿Hay un exceso de demoras ? ¿Podría un robot eliminar algún cuello de botella?

Cómo	¿ Cómo se hace la operación ? ¿ Es factible recurrir a un mejor equipo o método ? ¿ Puede un robot incrementar la calidad y eliminar los desperdicios ?
-------------	---

En el caso del ejemplo anterior, relativo a la gráfica de flujo de proceso para la fabricación del pistón, se pueden plantear una serie de preguntas encaminadas a identificar aquellos procesos cuya robotización generen una serie de mejoras en todo el proceso de fabricación del pistón. Ahora bien, podría ser posible detectar desperdicios en el proceso que deben ser eliminados antes de continuar con el análisis de robotización.

Las preguntas pueden ser interminables en un momento dado, y una podría inducir a la generación de otra, es por eso que se debe ser crítico y establecer límites en el planteamiento de éstas. En el siguiente cuadro mostramos un ejemplo de la técnica del interrogatorio, aplicada al proceso de fabricación de pistones..

1. ¿Qué operaciones del proceso son repetitivas, tediosas, agotadoras o peligrosas ?
2. ¿Qué operaciones son molestas o fastidiosas para el operario ?
3. ¿Puede algún robot cargar con los lingotes el horno de fundición y automatizarse para prescindir de operarios ?
4. ¿Puede algún robot encargarse completamente de la descarga del horno de fundición y enfriamiento del pistón eliminando así riesgos de quemaduras ?
5. En las tareas de paletizado de los pistones y carga en los carros de transporte, ¿es posible robotizar estas operaciones?, ¿aumentaría la velocidad de estas operaciones?
6. En el transporte de los pistones de una estación a otra, ¿mejoraría el proceso si se implementa un sistema de bandas?
7. En las operaciones de rebabeado, ¿puede un robot llevar a cabo esta operación?
8. ¿Puede un robot encargarse de la carga y descarga de las diferentes máquinas como torno, rectificadora, taladro u horno de tratamientos térmicos?, ¿en qué forma mejoraría el proceso ?
9. ¿Puede la robotización mejorar la calidad de los procesos de altas precisiones como rectificado, ranurado, barrenado entre otras?
10. ¿Mejoraría la robotización de alguna estación de trabajo el tiempo ciclo del proceso?, ¿se eliminaría algún cuello de botella?

Hemos identificado así una serie de tareas que potencialmente mejorarán el proceso y la calidad en la fabricación de los pistones para motor. Las tareas han sido ya señaladas con la leyenda "Robotizable" en el diagrama de flujo de proceso de la tabla II.2.1.E.

Robotizar todas podría ser incosteable en un momento dado para la empresa y poco práctico; es por eso que el siguiente paso es la *selección del proceso*, mismo que se presenta en la siguiente sección.

II.2.3 Selección del proceso

Después de haber analizado el o los procesos de producción en la planta, el analista llegará a una de dos posibles conclusiones:

1. Posterior a las modificaciones efectuadas en los procesos como resultado de los análisis hechos, el flujo de producción se ha eficientizado considerablemente y muchos desperdicios se han eliminado sin necesidad de adquirir nuevas y costosas tecnologías. La anterior conclusión terminaría con nuestra propuesta de tesis, sin embargo nos enfocaremos en la segunda conclusión a la que el analista de procesos podría llegar.

2. Se identificaron N tareas potenciales en la planta para ser robotizadas, pero sólo se podrán adquirir M robots, donde $N \leq M$. De esta manera, iniciaremos nuestro proceso de selección de tareas a robotizar.

Una técnica para seleccionar las tareas por robotizar a partir de las N tareas identificadas es ponderar cada tarea con base en las condiciones en las que se realizan, condiciones que son inherentes al tipo de actividades que realiza el trabajador en su área de trabajo, y que no mejoraron del todo después del análisis del flujo de procesos.

Las características más comunes que hacen a una tarea robotizable, son:

- A) Es peligrosa.
- B) Es aburrida, fastidiosa y/o tediosa (repetitivas).
- C) Es agotadora.
- D) Existe la necesidad de mejorar la calidad del producto con un mayor volumen de producción.
- E) La puede realizar sólo el robot (en caso de implementar un nuevo proceso).

El método de la ponderación asume que cada tarea tiene algo de peligrosa, fastidiosa, agotadora, precisa e inaccesible para los operadores humanos; esto es con el fin de que el analista sea más objetivo al seleccionar la tarea. Esta calificación se hace desde un punto de vista general de la planta, de tal manera que se ponga más énfasis en el aspecto más importante para el proceso completo.

Al ponderar se asignará un peso cuantitativo a cada característica, de tal forma que la suma de los coeficientes sea 1, 10, 100 o 1000. El coeficiente será asignado a criterio del analista o del equipo evaluador, este coeficiente será fijo una vez establecido y se utilizará para todas las tareas que se evalúen.

Ejemplo de asignación de coeficientes con respecto a la *fabricación de pistones de la sección anterior*:

Aspecto	Coefficiente asignado
A) Seguridad	30
B) Aburrimiento, tedio	15
C) Agotadora	20
D) Calidad y mayor producción	25
E) Tarea exclusiva de robots	10
Total:	100

Tabla II.2.1 Asignación de coeficientes previo a la ponderación

El segundo paso es asignar una calificación a cada aspecto de cada tarea, la calificación reflejará que tan cierto es que una tarea N es insegura, aburrida, precisa, etc. La calificación estará entre 0 y 1; 0 significa que en la tarea no es necesario considerar la característica referida y 1 significa que hay que considerar de lleno dicha característica.

El tercer paso es multiplicar cada calificación con su coeficiente correspondiente en cada aspecto, posteriormente se sumarán los resultados lo que arrojará un total para cada tarea, las tareas en adquirir las máximas calificaciones serán las primeras en considerarse para asignarles un robot.

Continuando con el ejemplo del proceso de fabricación de pistones tenemos que escoger dos procesos de cuatro que se han identificado, estos cuatro procesos son:

1. *Carga del horno de fundición.* El horno debe ser cargado sin interrupción para que el metal fluya continuamente y no se desperdicie material ni energía.
2. *Descarga del horno de fundición.* La recepción del pistón incandescente debe ser con cuidado para evitar accidentes por quemaduras o daños en el producto.
3. *Rebabeado del pistón.* El rebabeado se hace manualmente presentando el pistón contra la máquina rebabeadora, esta operación se puede automatizar con un robot.
4. *Carga y descarga del horno de tratamiento térmico.* Esta es una operación incómoda y repetitiva, misma que puede representar riesgos de lesiones por quemaduras.

TAREA		Tarea 1		Tarea 2		Tarea 3		Tarea 4	
ASPECTO	Coeffic	Calif.	Prod.	Calif.	Prod.	Calif.	Prod.	Calif.	Prod.
A) Seguridad	30	0.5	15	0.9	27	0.6	18	0.8	24
B) Aburrimiento	15	0.7	10.5	0.5	7.5	0.4	6	0.7	10.5
C) Agotadora	20	0.7	14	0.8	16	0.8	16	0.6	12
D) Calidad	25	0.4	10	0.5	12.5	0.6	15	0.6	15
E) Exclusivo de robots	10	0.5	5	0.7	7	0.6	6	0.7	7
Totales →	100		54.5		70		61		68.5

Tabla II.2.2 Técnica de la ponderación para la selección de procesos

La tabla II.2.2 revela que sólo se robotizarán dos procesos en la planta, que son las tareas 2 y 4 las que lograron una máxima calificación.

Tareas a robotizar: 1) Descarga del horno de fundición

2) Carga y descarga del horno de tratamiento térmico

La situación más común es que la tarea buscada resalte por sí sola entre las demás, sobre todo si dicha actividad fuera la que demande de equipo automatizado para mejorar la productividad de la planta. Pero no está por demás realizar un análisis ponderativo de los procesos previo a cualquier adquisición de equipo.

II.3 APLICACIONES BASICAS DE LOS ROBOTS

En esta sección se presentan algunas de las aplicaciones más comunes de los robots a las que se podrían llegar en la planta en estudio después de una buena selección.

La primer aplicación que se le dio a los robots industriales fue en el año de 1961 para la carga y descarga de máquinas de fundición en una planta de la *General Motors*. Fue por medio de un robot "Unimate" de coordenadas polares de accionamiento hidráulico diseñado para la carga y descarga de una máquina de fundición, otras tareas en las que se podría aplicar son para forjado, estampado por prensa, moldeado por inyección y compresión, y operaciones de máquinas herramientas [8].

La gran diversidad de tareas y operaciones en las que podrían estar involucrados los robots se han integrado en seis grupos básicos que son:

- II.3.1 Manejo de Materiales
- II.3.2 Fabricación
- II.3.3 Pintado por spray y terminados
- II.3.4 Soldadura por puntos y soldadura por arco
- II.3.5 Aplicaciones de ensamblado
- II.3.6 Inspección y pruebas

II.3.1 Manejo de Materiales

El manejo de materiales consiste en actividades como por ejemplo: *transferir* ensambles o subensambles de un lugar a otro, *mover* partes de un almacén a una banda, y todas aquellas operaciones relacionadas con el cambio de material de un lugar a otro. Operaciones de embalaje o empaquetado también están incluidas en el manejo de materiales. La carga y descarga de máquinas están consideradas como un tipo especial de manejo de materiales (FIG. II.3.1).

El manejo de materiales por lo regular está asociado con dispositivos para el manejo y/o transporte de materiales como bandas, vehículos guiados automáticamente (AGV's), mesas rotatorias, cubetas vibratorias, palets etc. ya que estos dispositivos son los que presentan el material a manipular al robot o son el lugar a donde el robot debe desplazarlos. Al utilizar el programa adecuado un robot podría ser instruido para el paletizado de materiales en una secuencia y espacio particular. El efector final usado puede ser ventosas de vacío, pinzas, ganchos o cualquier herramienta diseñada especialmente para el manejo de partes especiales.

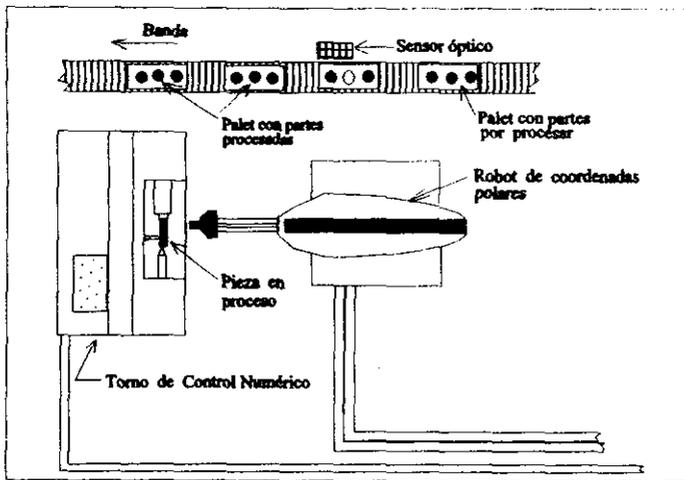


FIG.II.3.1 ESTACION DE TRABAJO CON ROBOT EN OPERACION DE CARGA Y DESCARAGA

II.3.2 Fabricación

La fabricación por medio de robots consiste en el manejo de herramientas y artículos de producción en operaciones de manufactura. Los robots son útiles en operaciones como rectificado o pulido de partes que se han trabajado para remover de esta manera los residuos generados, esta es una operación cansada, repetitiva y fastidiosa que podría ser asignada a un robot. En operaciones como colado en matriz, el robot puede sustituir a los operarios humanos utilizando los dispositivos adecuados.

Ejemplo:

Un robot toma un árbol o ramo de partes plásticas con su efector, luego lo sumerge dentro de un tanque con material cerámico líquido, esto lo hace varias veces hasta formar una cubierta cerámica en las partes plásticas. Posteriormente, el árbol de partes plásticas ya cubiertas son horneadas. Las partes plásticas son llenadas con metal líquido siendo desplazadas por el metal para formar varios artículos metálicos de una sola vez.

Los robots son ampliamente utilizados en tareas de carga y descarga de máquinas que realizan la operación. Un ejemplo, es la operación de ranurado de las tarjetas de circuitos electrónicos a través de una máquina de control numérico. En esta operación el robot descarga la tarjeta ya ranurada para posteriormente alimentar la máquina con otra nueva. Con los arreglos adecuados los robots serían capaces de realizar infinidad de tareas de fabricación que impliquen precisión y buen control en los movimientos, fuerza, resistencia al calor y resistencia a ambientes hostiles.

II.3.3 Pintado por spray y terminados

Actualmente, los robots se están utilizando en muchas aplicaciones de pintado y terminado a lo ancho del mundo. Las capacidades motrices que caracterizan a los robots como precisión, control exacto de velocidad y aceleración así como su calidad consistente los hacen ideales para estas tareas. Permiten de esta forma remover a los anteriores operarios de todas las sustancias tóxicas que se generan por el uso de las pinturas. Otros beneficios que se logran con el uso robots son la reducción de desperdicios, mejor calidad en los terminados y una mayor rapidez en la tarea (FIG. II.3.2).

Algunos métodos usados para la aplicación de spray y terminados se presentan enseguida:

- a) *Spray por aire.* En este método se utiliza el aire bajo presiones para atomizar y dirigir la pintura hacia el artículo pintado.
- b) *Spray sin aire.* La pintura se proyecta hacia el objeto mediante altas presiones hidráulicas logrando de esta manera la formación de spray al salir por un orificio pequeño.
- c) *Spray mediante electrostática.* Las partículas atomizadas por presiones hidráulicas o mediante aire son cargadas eléctricamente para que de esta manera se adhieran con más firmeza al objeto que está siendo pintado debido al campo electrostático generado en la partícula; el cuerpo en cuestión es mantenido dentro de un potencial de tierra. Con esta técnica, hay una menor pérdida de pintura por partículas que se desvían o no llegan al cuerpo.
- d) *Calentamiento de Materiales.* Al calentar la pintura ésta decrece en viscosidad por lo que se requiere de menor presión para su atomizado así como de menores solventes.

Los robots ofrecen una notable ventaja en el pintado electrostático ya que pueden ser energizados a altos voltajes (+/- 150,000 V) logrando generar grandes cargas electrostáticas en las partículas atomizadas de pintura [5].

Hay que aclarar que los robots que participan en estas tareas, también requieren de cubiertas en ciertas partes como articulaciones y sensores que los protejan de las partículas atomizadas. También hay que tener cuidado con las grandes concentraciones de solventes que puedan formarse, ya que pueden ser fuente de una fuerte explosión con sus respectivas consecuencias.

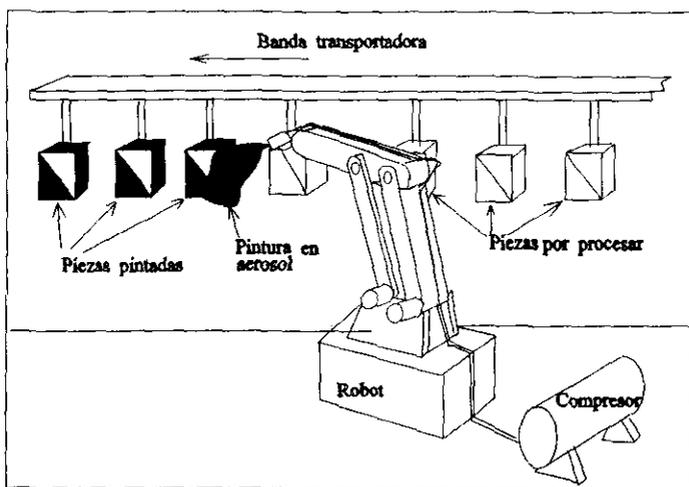


FIG. II.3.2 ROBOT DE BRAZO ARTICULADO EN TAREAS DE PINTADO POR SPRAY

II.3.4 Soldadura por punto y por arco

a) *Soldadura por punto.* La soldadura por punto fue una de las primeras aplicaciones de los robots dada la exactitud y velocidad que pueden ofrecer. Otra característica que los hace propicios son su alcance y capacidad de carga muy superiores en los robots hidráulicos que en los operadores humanos. En la soldadura por punto dos piezas de metal conductivo son unidas por el paso de una fuerte corriente la cual calienta y funde la zona de unión. La corriente es activada sólo por un corto instante (pulso) de tal forma que el metal fundido solidifica rápidamente formando una fuerte unión. El calor se produce al paso de la corriente por la unión debido a la inherente resistencia de los metales al flujo de corriente, el cobre y aluminio son excelentes conductores por lo que son poco propicios para soldarlos por esta técnica, la resistencia varía según el tipo de metal que se procese y consigo la intensidad de corriente a utilizar. El efector del robot es la pistola de soldadura, consiste en unas fuertes tenazas que logran mantener unidos a los dos metales y un contacto eléctrico favorable. Las corrientes aplicadas para el soldado están por los 1500 amperes a voltajes de 5 a 15 volts [8,5].

b) *Soldadura por Arco.* Existen dos clases de soldadura por arco mayormente usadas, que son: *soldadura de gas de metal inerte (MIG)* y *soldadura por gas inerte de tungsteno (TIG)*. En la soldadura MIG el electrodo es consumido y utilizado como material de aporte en la soldadura, en este tipo de soldadura el electrodo de tungsteno no

es consumido por lo que el material de aporte se alimenta aparte mediante un cable enrollado que es consumido por las altas temperaturas del arco eléctrico. En ambas clases de soldadura (MIG y TIG) se emplea un gas inerte como helio, argón o dióxido de carbono para proteger la soldadura de la oxidación del aire.

Tenemos cinco pasos generales para la soldadura por arco, que son:

1. Limpieza de las piezas a unir
2. Presentar y fijar las partes a unir
3. Soldar por arco
4. Liberar las partes unidas
5. Esmerilar los excesos de soldadura

Los anteriores pasos han sido y pueden ser llevados a cabo por robots. Los resultados logrados por los robots son superiores a los de un operador humano experimentado, el cordón de soldadura es mucho más uniforme y los desperdicios son menores, en algunas aplicaciones de soldadura por arco llevadas a cabo por robots se utiliza un método llamado "Enseñanza por Muestreo"; el operario guía al efector final del robot por la trayectoria de soldado manteniendo la pistola a una óptima distancia de la pieza de trabajo y a un ángulo correcto por medio de una caja de enseñanza (Teach Pendant), así también programa la velocidad ideal en la que el robot hará la mejor unión. Todo esto es almacenado en el controlador del robot y se va perfeccionando poco a poco hasta conseguir el soldado ideal.

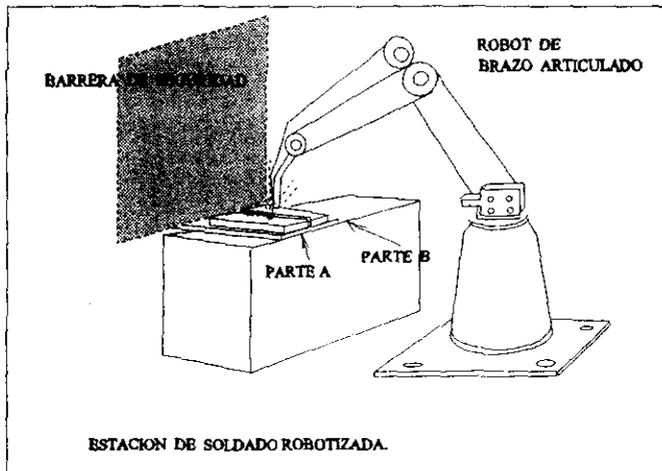


FIG. II.3.3 SOLDADURA POR ARCO MEDIANTE ROBOT INDUSTRIAL

En los últimos años se ha aplicado la tecnología de visión y digitalización de imágenes a la soldadura por arco mediante robots.

II.3.5 Aplicaciones de ensamble

Ensamblar es unir por diferentes medios una, dos o más piezas con otra o un subensamblado con otro. Se tienen dos categorías de ensamble, que son:

- | |
|---|
| a) Coincidencia de piezas
b) Unión de piezas |
|---|

a) *Coincidencia de piezas.* En la coincidencia de piezas se unen las partes sin utilizar métodos o elementos alternativos que aseguren la unión; un ejemplo es la inserción de un chip en una tarjeta donde no habrá de soldarse o atornillarse, otra forma de ilustrar el ensamble por coincidencia es mediante el uso de "clavijas", en este caso una pieza A "clavija" se insertará en otra pieza B "agujero", puede ser una sola clavija para un agujero, o N clavijas para N agujeros correspondientes.

b) *Unión de piezas.* La unión de piezas podría ser considerado como un caso especial de coincidencia de piezas complementado con algún procedimiento de sujeción que refuerce la unión de las piezas. Algunas operaciones de unión son:

- * Tornillo de sujeción.
- * Retenedores. Algunos ejemplos de retenedores pueden ser el uso de pasadores y anillos de presión.
- * Ajuste forzado. En esta operación la clavija es ligeramente mayor que el agujero
- * Ajuste Elástico. En el ajuste elástico, la clavija es diferente que el agujero, de tal manera que a la última presión generada la clavija quede enganchada en el agujero con cierta presión.
- * Unión por soldadura. Para este tipo de uniones se emplea algún tipo de soldadura
- * Adhesivos.

II.3.6 Inspección y pruebas.

La inspección y pruebas mediante robots es una aplicación que está ampliamente relacionada con los sistemas de visión. Algunas aplicaciones incluyen la inspección de maquinado, formado, y fabricación de partes. Otra alternativa es la utilización de sofisticados sistemas sensoriales destinados a detectar ciertas irregularidades en las partes en proceso o ya procesada. Dichos sistemas pueden estar adaptados al efector del robot para que utilice los sensores en el momento y lugar indicado.

III. SELECCION DEL ROBOT

La selección del robot está basada en los requerimientos del proceso seleccionado considerando aspectos como las características de la pieza de trabajo, la velocidad de operación y las condiciones de la planta como: temperatura, humedad y contaminantes, entre otros.

Las características básicas a evaluar en el robot son:

1. *Requerimientos mecánicos*
2. *Configuración*
3. *Controladores*

Los requerimiento mecánicos se refieren a aspectos como carga de trabajo, repetibilidad, confiabilidad, etc. Las anteriores características están determinadas por la configuración y estructura del robot, así como, por el tipo de actuadores empleados. El controlador del robot será evaluado en base a los siguientes aspectos:

Características a evaluar en el controlador del robot:

- a) *Una fácil operación*
- b) *Compatibilidad con otras interfases*
- c) *Resistencia al ruido eléctrico*
- d) *Condiciones de humedad*
- e) *Niveles de contaminación del ambiente*

La planta se adaptará hasta donde sea costeable a las condiciones requeridas por el robot, de otra manera se buscará otro modelo, fabricante o proveedor. La importancia en la selección del robot radica en que de ésta dependerá el costo, rapidez y la facilidad con que se adapte el robot en la planta, se configure, programe a detalle y se modifique lo menos posible el proceso, herramientas y accesorios a las características reales del robot.

III.1 REQUERIMIENTOS MECANICOS

Los requerimientos mecánicos se refieren principalmente a aspectos como:

- a) *Confiabilidad*
- b) *Carga de trabajo*
- c) *Volumen de trabajo*
- d) *Número de ejes del robot*
- e) *Velocidad de operación*
- f) *Tiempo ciclo de operación*
- g) *Repetibilidad*
- h) *Exactitud*
- i) *Tipo de control*

a) *Confiabilidad.* La confiabilidad es la propiedad del robot que nos indica cuanto tiempo trabajará antes de que se presente falla alguna. Todas las propiedades y características deseables en el robot tales como la velocidad máxima de operación, costo, precisión y repetibilidad entre otras, serían todas ellas secundarias si el robot llegara a dañarse severamente por la ruptura o avería de alguna parte mecánica, eléctrica o electrónica. El indicador de la confiabilidad del robot es el *Tiempo Promedio Entre Fallas* o MTBF (Mean Time Between Failure). Este dato es proporcionado por el fabricante mismo, como resultado de extensas pruebas. El MTBF está calculado bajo ciertas condiciones de velocidad, carga y momentos de inercia. Para la parte electrónica del robot, este valor puede ser tan alto como 48 meses, indicando que en promedio el controlador sólo fallará una vez cada cuatro años. La confiabilidad es por lo tanto, la propiedad más importante. Un robot dañado severamente podría detener la producción en una planta. El valor de confiabilidad previamente proporcionado por el fabricante fue estimado bajo ciertas condiciones de carga, momento inercial y velocidad como se mencionó anteriormente. Es muy importante que las condiciones de operación del robot en la tarea seleccionada no excedan a más del 80% de las condiciones en las que se estimó el MTBF [10].

b) *Carga de Trabajo.* La carga de trabajo es la capacidad de carga del robot y está calculada con base en la suma del peso, momento y carga inercial que el robot puede manipular. El rango de cargas de trabajo de un robot pueden variar de 2 hasta 400 lb. Cuando se selecciona un robot, la carga de trabajo debe estar dentro de los límites citados por el fabricante, si la carga de trabajo de un robot ha sido excedida, es posible que inicialmente opere bien, pero la confiabilidad será reducida drásticamente. Cargas de trabajo menores a la que el robot opera regularmente reduce el esfuerzo en los cojinetes,

engranes y bandas; disminuye la temperatura de operación de los motores y sus circuitos controladores, por lo tanto, incrementa la vida de los componentes. Por ejemplo, el hecho de reducir la carga en un 50% en los cojinetes puede incrementar su confiabilidad a más de ocho veces [5].

c) *Volumen de Trabajo.* El volumen de trabajo es el espacio alcanzable por la muñeca del robot y deberá ser lo suficientemente grande para que permita al robot alcanzar todos aquellos puntos necesarios para su aplicación. Cuando el volumen de trabajo excede al área de trabajo ésta puede ser limitada con "topes" de hardware y/o software, el volumen de trabajo está determinado por el tamaño del robot, su configuración y número de ejes. Si todas las demás características del robot cubren las necesidades requeridas por la tarea a desempeñar pero el volumen de trabajo ha quedado ligeramente corto, los autores dan las siguientes alternativas [10]:

- * El robot puede ser montado con cierto ángulo de inclinación.
- * El robot puede ser colocado en el techo de la infraestructura o de alguna estructura interna al edificio principal.
- * Puede también ser fijado en alguna base en forma horizontal, vertical o inclinado.
- * El volumen de trabajo se puede multiplicar si el robot es montado sobre una base deslizante igualmente controlada por servomecanismos que aseguren la correcta posición del robot y de esta manera no se afecte su exactitud y precisión.
- * Utilizar dos robots en la misma célula de manufactura para que compartan las tareas y tengan un mayor alcance.
- * Reorganizar la distribución de la planta para que las máquinas, bandas, piezas y demás equipos queden al alcance del robot al menos en su célula de manufactura.

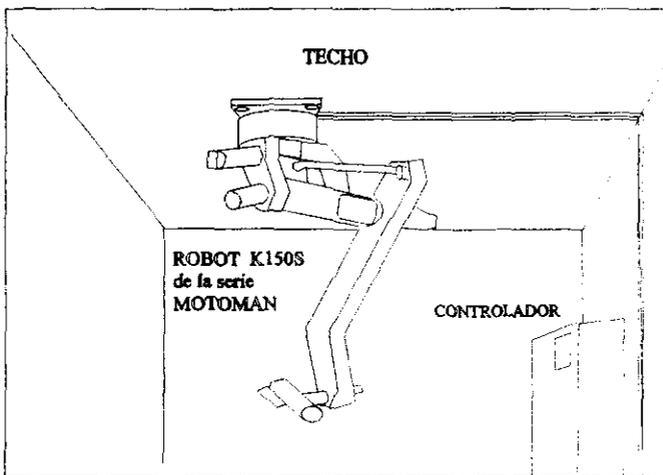


FIG.III.1.1 ROBOT DISEÑADO PARA SER MONTADO EN EL TECHO.

d) *Número de ejes del Robot.* Un robot, debe contar con los suficientes ejes para orientar al efector final en todas las posiciones requeridas por la aplicación. La configuración mecánica del robot determina el número de ejes requeridos para llevar a cabo una tarea. Por ejemplo, un robot de brazo articulado horizontalmente, como el SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assembly), cuenta con cuatro ejes. Para que un robot articulado verticalmente pueda realizar la misma tarea necesitaría seis grados de libertad.

e) *Velocidad de Operación.* La velocidad con que opera el robot está determinada por la velocidad con que cada articulación se mueve sean lineales o rotacionales, por la velocidad de respuesta del controlador del robot y los demás dispositivos electrónicos involucrados. La velocidad de operación determina el *tiempo ciclo* del robot para realizar una tarea determinada. Para seleccionar al robot, debemos asegurarnos de que el tiempo ciclo de operación sea menor que el tiempo ciclo del proceso; considerando también que la velocidad de operación del robot no exceda el 80% de su velocidad máxima. Esto es para asegurar su MTBF [10].

f) *Tiempo ciclo de Operación.* La manera más fácil de calcular el tiempo ciclo con la que el robot opera es mediante la observación directa y toma de tiempos por cronómetro; lo anterior implicaría disponer del robot y programarlo para que ejecute ciertos movimientos, cosa que no siempre es posible. Sin embargo, existen técnicas analíticas que utilizan los valores y gráficas de la aceleración y velocidad máxima (programada) para cada eje, así como las leyes de la cinemática, información que puede proporcionar el proveedor. Otros datos importantes son los tiempos de servo-retardos T_s y tiempos utilizados por los controladores para la toma de decisiones T_c [10].

g) *Repetibilidad.* La repetibilidad indica con cuanta precisión un robot puede regresar hacia un punto programado. Una buena repetibilidad significa que el robot regresará al mismo punto todas las veces. Esta es una característica fundamental para las tareas que no permiten amplias tolerancias. Un robot puede tener una excelente repetibilidad pero una pobre exactitud. Cada fabricante de robots ofrece diferentes niveles de repetibilidad, estos valores varían de ± 0.0005 in a ± 0.10 in. Los robots de grandes dimensiones generalmente tienen una menor precisión [10].

Fuentes de error en la repetibilidad:

- * Holgura en los mecanismos actuadores y transmisores de potencia.
- * Fricción. La fricción se suma a los errores de repetibilidad ya que representa fuerzas que se oponen a los diferentes movimientos de los ejes.
- * Expansión térmica. La expansión térmica es resultado de un calentamiento por la operación del robot. Por lo general, la temperatura del robot se estabiliza después de los 20 minutos de operación con lo que la expansión térmica llegará a su límite, así como el error generado.

- * **Tamaño del robot.** Un robot pequeño siempre tendrá una mejor repetibilidad que uno grande
- * **Repetibilidad y resolución de los transductores de retroalimentación,** como encoders, potenciómetros, etc.

h) Exactitud. La exactitud en un robot determina que tan cerca puede el efector moverse hacia un punto definido en el espacio. El punto estará definido por las tres coordenadas espaciales X, Y y Z referido a un punto u origen fijo. La *exactitud* es un parámetro difícil de evaluar por lo que pocos fabricantes son los que la especifican.

Factores que afectan la exactitud:

* *Repetibilidad.* Una buena exactitud exige una buena repetibilidad y viceversa. Un robot que sea capaz de alcanzar un punto exacto aleatoriamente es indicio de que la repetibilidad del robot es mala ya que el rango de error varía para un mismo punto, perjudicando de esta manera a la exactitud.

* *Angulo en las articulaciones.* El ángulo en las articulaciones deberá ser el correcto para que el robot pueda alcanzar un punto determinado con la mejor exactitud.

* *Rigidez.* Una baja rigidez, permite que el robot se doble como un resorte bajo cargas estáticas y dinámicas. Cada flexión en el robot se suma a los errores en la exactitud. Una gran rigidez en la estructura del robot permite una mejor exactitud.

i) Tipo de Control. Los diferentes tipos de control posibles en un robot, son:

1. Robots de secuencia limitada
2. Robots de control punto a punto
3. Robots de control de ruta continua
4. Robots inteligentes

Este es el orden jerárquico en cuanto a la complejidad del robot y evolución cronológica, el tipo de control no sólo hace referencia a los dispositivos electrónicos del robot, también son fundamentales el tipo de impulsores, componentes sensoriales, sistemas de transmisión de potencia, dispositivos actuadores y lenguajes de programación utilizados. El tipo de tarea a desempeñar así como el costo del robot, son algunos determinantes para seleccionar el tipo de control en nuestro robot. Ningún tipo de control es del todo obsoleto, siempre es posible dar una buena aplicación a cualquier robot por más rudimentario que éste sea.

III.2 CONFIGURACION

En la primer parte de esta tesis se dieron a conocer las ventajas y desventajas de cada tipo de configuración posible en los robots. Los tipos de configuración contemplan aspectos como la clase de actuadores, volumen de trabajo, alcance y grados de libertad.

Los tipos de configuraciones básicas son:

1. *Robot de coordenadas rectangulares*
2. *Robot de coordenadas esféricas*
3. *Robot de coordenadas cilíndricas*
4. *Robot de brazo articulado*

1. *Robot de coordenadas rectangulares.* El robot de *coordenadas rectangulares* (fig. III.2.1) es ideal para tareas de soldadura por arco y ensamblaje, ya que correctamente posicionada la pieza puede realizar movimientos lineales sin ninguna dificultad. Ofrece además, una gran facilidad para sellar las articulaciones lineales a diferencia de otras configuraciones.

2. *Robot de coordenadas esféricas.* La configuración de *coordenadas esféricas* (fig.III.2.2) tiene un mayor campo de aplicaciones que la rectangular, es ampliamente utilizado en tareas de carga de máquinas, transferencia de materiales, soldadura por arco y por punto además de ser muy usado en los procesos de pintado y terminado de artículos. Suele utilizar principalmente actuadores hidráulicos lo que le da gran capacidad de carga.

3. *Robot de coordenadas cilíndricas.* El robot de *coordenadas cilíndricas* (fig.III.2.3.) es el más restringido para las aplicaciones industriales típicas. Sólo se le pueden asignar tareas de carga y descarga de maquinaria y transferencia de materiales. Aún así presenta ciertas restricciones de accesibilidad.

4. *El robot de brazo articulado* (fig. III.2.4) es el más flexible y funcional de todas las demás configuraciones; debido a su estructura articulada puede alcanzar puntos no visibles desde la base del robot, a diferencia de las demás configuraciones que sólo tienen acceso a puntos que se puedan visualizar desde su respectiva base. Tiene aplicación en prácticamente todas las tareas industriales, al menos que presente alguna restricción de capacidad de carga, velocidad de operación o exactitud. A los robots de brazo articulado se les puede aplicar en tareas como: transferencia de materiales, carga y descarga de máquinas, soldadura por puntos, soldadura por arco, recubrimientos al spray, ensamblaje y muchas más

A continuación, se muestran los gráficos correspondientes al volumen de trabajo para cada tipo de configuración.

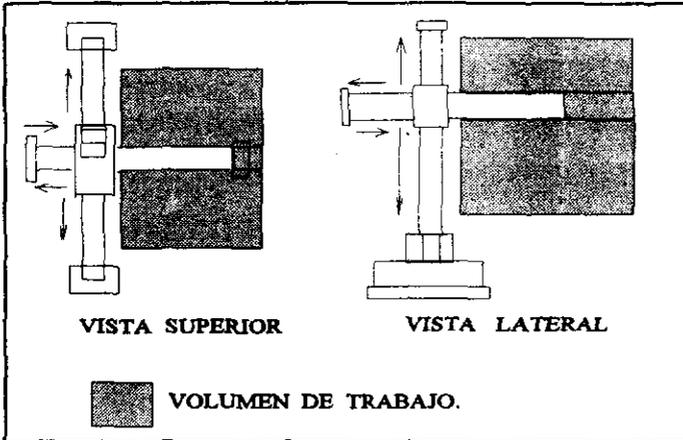


FIG. III. 2. 1. VOLUMEN DE TRABAJO PARA UN ROBOT DE COORDENADAS RECTANGULARES

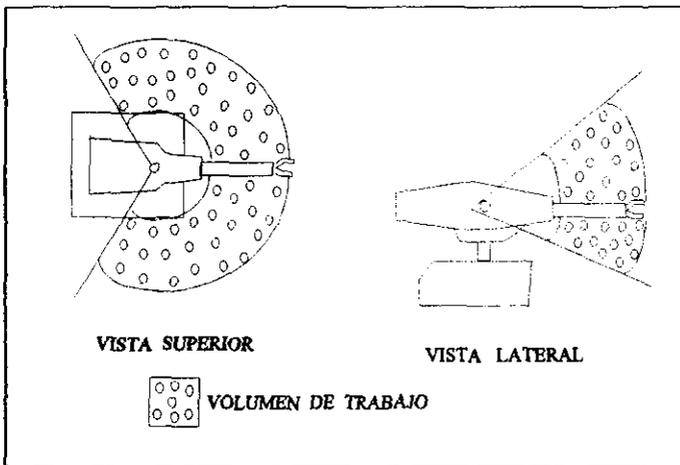


FIG. III. 2. 2. VOLUMEN DE TRABAJO PARA UN ROBOT DE COORDENADAS ESFERICAS

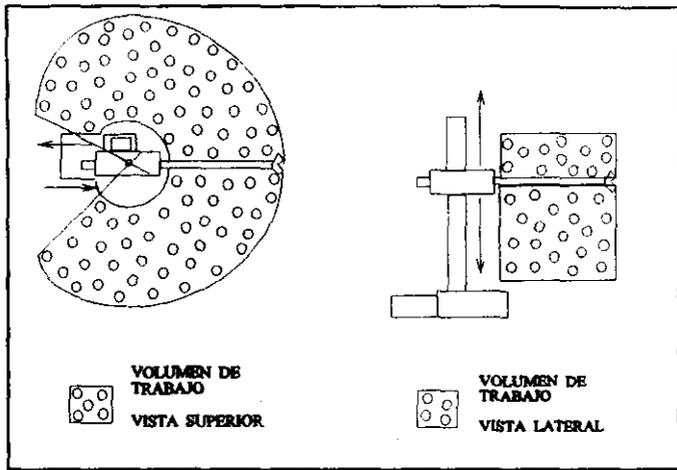


FIG. III. 2. 3. VOLUMEN DE TRABAJO PARA UN ROBOT DE COORDENADAS CILINDRICAS

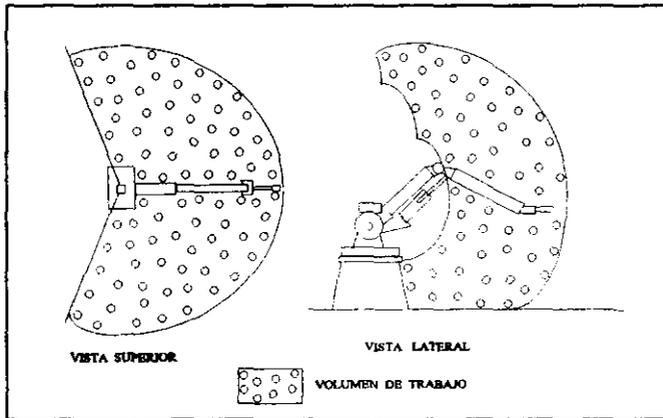


FIG. III. 2. 4. VOLUMEN DE TRABAJO PARA UN ROBOT DE BRAZO ARTICULADO

III.3 EL CONTROLADOR DEL ROBOT

El cerebro del robot es el controlador, éste es el que determina y genera la secuencia de movimientos en cada articulación con su velocidad correspondiente, además de generar movimientos de compensación para neutralizar errores generados por la inercia del movimiento, holgura en las uniones o fuerzas de fricción. El controlador analiza también otros parámetros como temperatura en los actuadores y piezas de trabajo, esfuerzos en las articulaciones; forma, detalles y posición de la pieza de trabajo mediante algún equipo de visión. Todo lo anterior lo hace por medio de elementos sensoriales, previamente calibrados y configurados, para mandar una información más confiable al controlador y de esta manera tomar las decisiones correspondientes. El controlador puede estar auxiliado por una computadora lo que le dará más capacidad y velocidad en el procesamiento de datos del exterior con la subsecuente toma de decisiones.

III.3.1 Características deseables del controlador

Las principales características deseables del controlador son:

1. Sistema de seguridad
2. Facilidad de operación
3. Comunicación y compatibilidad
4. Control de dispositivos de campo en tiempo real
5. Capacidad de memoria y almacenamiento de datos

1. Sistema de seguridad

Todos los controladores deben contar con sistemas de seguridad que prevengan y corrijan cualquier perturbación que pueda culminar en daños en el robot, el controlador del robot o alguna persona.

Algunos sistemas básicos de seguridad en un controlador, son:

- a) Sistema interruptor emergente de energía
- b) Control de movimiento único
- c) Dispositivos de alto voltaje localizados en la parte superior del gabinete del controlador

a) *El sistema interruptor de energía* se refiere a algún tipo de interruptor por hardware o software que de cualquier forma desactive los servomotores o actuadores del robot, cuando dicho interruptor haya sido presionado, la energía a los servomotores se cortará.

b) El control de movimiento único permite que el robot sea controlado por un sólo dispositivo a la vez. Por ejemplo, si una persona está trabajando dentro del volumen de trabajo del robot y está controlando al robot mediante una caja de enseñanza, nadie más podrá controlar al robot desde el controlador en ese momento.

c). Los dispositivos de alto voltaje deben estar localizados en la parte superior del gabinete del controlador para protección de los operadores que estén trabajando dentro de éste. Si una herramienta llegara a caer, la oportunidad de un corto circuito debido a la herramienta sería menor con los dispositivos de alto voltaje localizados en la parte superior del controlador.

2. Facilidad de Operación

La facilidad de operación implica que el controlador sea lo suficientemente flexible para ejecutar en la forma más simple las tareas básicas generales. Estas tareas son:

- a). Programación
- b) Enseñanza de Puntos
- c) Arranque y paro de los programas del robot
- d) Correr autodiagnóstico del controlador

3. Comunicación y compatibilidad

La comunicación y compatibilidad del controlador con el equipo periférico es un factor básico para lograr una célula de manufactura flexible, económica y sobre todo funcional. Algunos de los dispositivos y opciones de comunicación disponibles en un controlador son:

- a) Panel de comunicación (pantalla / teclado)
- b) Caja de enseñanza (Teach pendant)
- c) Señal I/O discreta y analógica
- d) Comunicación serial
- e) Programación fuera de línea

a) *Panel de Comunicación.* El panel de comunicación permite al operador editar e introducir programas mediante el teclado visualizando la operación en la pantalla, la pantalla permite también visualizar el estatus del controlador y robot así como diagnosticar los mensajes desplegados. El panel de comunicación puede estar integrado en el controlador del robot, pero también puede estar conectado a éste como una estación remota compartida con otros controladores.

b) *Caja de Enseñanza.* La caja de enseñanza es una caja electrónica portable que permite al operador desplazar poco a poco el brazo del robot hacia una posición deseada y de esta forma "enseñar" al robot los puntos básicos a los que tendrá que llegar

secuencialmente para poder llevar a cabo su tarea. También es utilizado para controlar las salidas del robot, leer las entradas, seleccionar los programas y monitoriar el estado del controlador desde el teach pendant. Algunos controladores tienen teach pendant removible lo que lo hace compatible con otros controladores, ésta es una característica que puede bajar costos en un conjunto de robots.

c) *Manejo de señales I/O Discreta y Analógica.* Las señales electrónicas de entrada y salida (I/O) permiten al controlador del robot comunicarse con los demás dispositivos periféricos. Una señal discreta I/O puede manejar sólo una señal, por ejemplo si una señal que mueve el hombro del robot es direccionada hacia la salida número 3 esta salida no podrá controlar otra señal más, ya que está destinada a controlar la elevación del hombro del robot. El número de señales discretas que puede manejar el controlador varía de 16 hasta 1000 con voltajes en corriente continua (DC) de 5 V hasta 24 V. En corriente alterna (CA) puede manejar hasta 110 V. También es posible contar con señales I/O de tipo analógico en la gran mayoría de controladores. Las señales analógicas varían de voltaje en forma análoga a las diferentes condiciones de distancia, fuerza, etc. Las señales analógicas se aplican en situaciones donde se requieran *altas precisiones y resoluciones.*

d) *Comunicación Serial.* La comunicación serial permite mediante un arreglo de cables transmitir y recibir múltiples señales. Un ejemplo de comunicación serial aplicada es cuando el robot se comunica al más alto nivel con las computadoras, máquinas de prueba inteligentes o lectores de códigos de barras (110001). Se contemplan dos interfaces eléctricas comúnmente utilizadas en la comunicación serial, estas son: RS-232C y RS-422.

e) *Programación Fuera de Línea.* La programación fuera de línea da la ventaja al usuario de escribir un programa del robot en una PC sin emplear el controlador del robot; de esta manera los robots no tendrán que estar parados para su programación ahorrando muchas horas máquina si el programa fuera muy laborioso.

4. Control de Dispositivos de Campo en Tiempo Real

Esta ventaja del controlador del robot consiste en que éste sea capaz de controlar todos los dispositivos periféricos como cubetas vibratorias, bandas y máquinas de prueba. Si el controlador no tuviera esta capacidad, tendría que requerirse de un controlador adicional para el control y sincronización de dichos dispositivos. Cuando se utiliza el mismo controlador del robot como controlador de la célula de manufactura es posible que éste no sea capaz de controlar exactamente al mismo tiempo las actividades de dos o más dispositivos; de tal manera hay que elaborar el programa de forma que no entren en acción dos o más dispositivos al mismo tiempo ya que estos podrían entrar en conflicto, bloquearse mutuamente o en el peor de los casos quedar fuera de control.

5. Memoria y Almacenamiento de Datos

La mayoría de los controladores cuentan con dos tipos de memoria: volátil y no volátil. La memoria volátil es aquella que desaparece cuando la energía es interrumpida mientras que la memoria no volátil permanece en el controlador aún estando apagado. La memoria no volátil tiene la ventaja de almacenar indefinidamente la información necesaria para el funcionamiento y control de los dispositivos de campo, información como programas y configuración del sistema. El controlador del robot tendrá que contar con la suficiente memoria no volátil para almacenar los programas e información necesaria para su operación, ahorrando de esta forma el trabajo de cargar dicha información cada vez que se prenda el controlador.

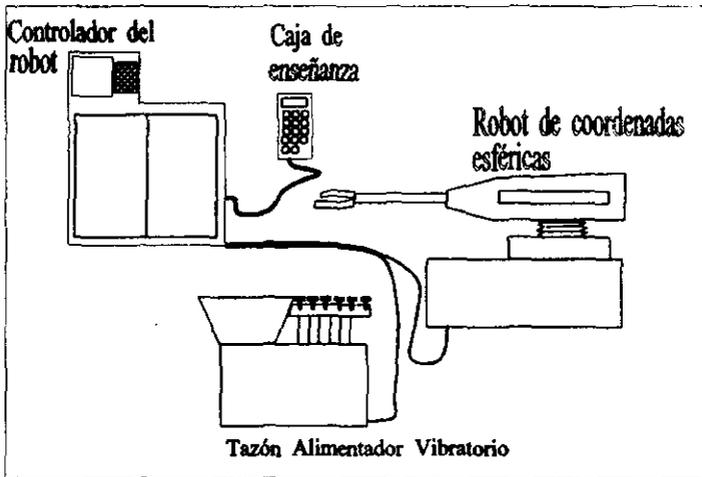


FIG. III.2.5 CELULA DE MANUFACTURA CONTROLADA POR EL CONTROLADOR DEL ROBOT

III.3.2 Requerimientos para la instalación del controlador

Algunos requerimientos para adaptar el controlador en la planta podrían generar altos costos o lo haría poco adecuado a las condiciones de la planta. Tres aspectos básicos necesarios en un controlador para que sea compatible con las características de la planta son:

1. Alimentación de corriente alterna (CA) y permeabilidad al ruido
2. Espacio
3. Sistema de refrigeración

1. Alimentación de corriente alterna y permeabilidad al ruido

El controlador deberá ser compatible con la alimentación de corriente eléctrica y

tolerante con el ruido generado por la energía eléctrica de la planta. Aparatos como motores eléctricos, plantas de soldadura eléctrica y generadores de radiofrecuencia entre otros que puedan estar en la planta podrían generar ruido en el suministro de energía eléctrica del controlador, de ser así, se tendrían que tomar las medidas necesarias para aislar el ruido generado.

En forma inversa, el controlador podría generar ruido en las líneas de energía que perturben a otros dispositivos, situación que también tendrá que ser considerada para la selección o adaptación del controlador.

2. Espacio

El espacio total demandado por el controlador deberá considerar el área de la base, más el área que barre la puerta al abrirla completamente más un espacio adicional para que pueda fluir el aire y se ventile adecuadamente. El controlador no deberá ponerse cerca de paredes y lugares donde se descarguen gases, líquidos o cualquier fluido que pueda dañarlo.

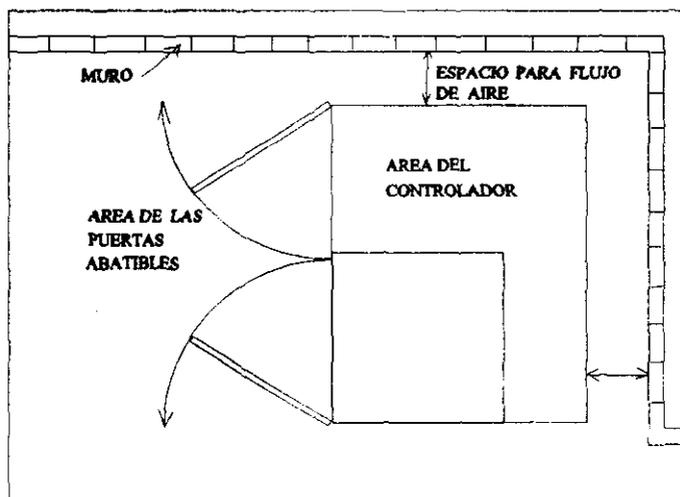


FIG. III.3.2 AREA TOTAL OCUPADA POR UN CONTROLADOR

3. Sistema de enfriamiento

En la mayoría de los casos, un sistema de refrigeración será necesario si el clima en el interior de la planta no favorece a las condiciones de operación del controlador. El sistema de enfriamiento puede ser *abierto* o *cerrado*, recomendándose el sistema *cerrado* ya que la calidad del aire refrigerante se podrá controlar fácilmente evitando así, cualquier daño al controlador.

III.4 DEFINICION DEL ROBOT IDEAL

Ya hemos presentado los aspectos a considerar para seleccionar al robot. La siguiente etapa del proceso de selección consiste en definir al "robot ideal" para cada proceso potencialmente robotizable, tomando en cuenta las características de dicho proceso. Para describir a nuestro robot ideal, se especificarán las características funcionales deseables en dicho robot, considerando además que existen ya ciertas características estandarizadas que debe tener un robot para desempeñar ciertos procesos.

El robot ideal variará de un tipo a otro, generando varias alternativas como resultado de una combinación de propiedades mecánicas, electrónicas y configuraciones para un sólo tipo de operación.

Definidos los n robots ideales para un proceso se cotejarán éstos con los diferentes robots que ofrezcan los proveedores o fabricantes que se contacten, para que de esta manera se determine cual será el o los robots que se habrán de adquirir.

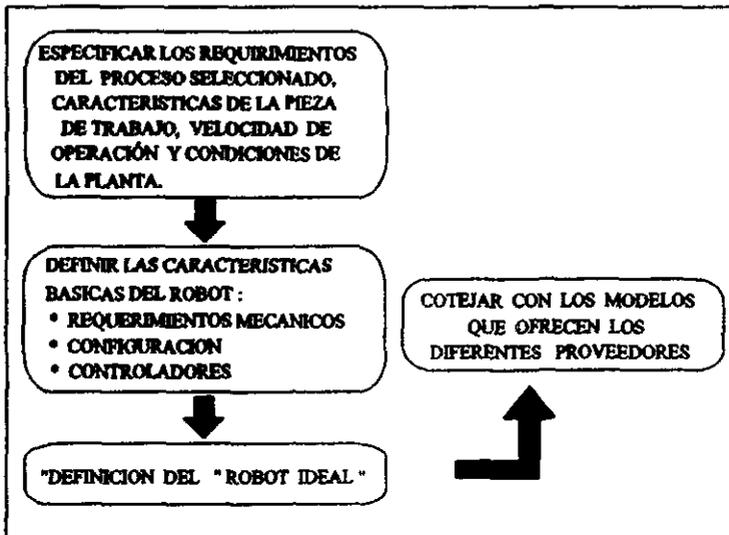


FIG. II.4.1 PROCESO PARA LA SELECCION DEL ROBOT

Para facilitar el uso de la terminología que define a nuestro robot en proceso de selección emplearemos una serie de abreviaciones que se presentan enseguida:

Abreviaturas para definir las características del robot:

ARQUITECTURA			
ART	Articulado	CIL	Cilíndrico
REC	Rectangular	ESF	Esférico

TIPO DE IMPULSION			
ELC	Impulsión Eléctrica.	NEU	Impulsión neumática
HID	Impulsión Hidráulica		

CONTROL			
RSL	Robot de Secuencia Limitada	CRC	Control Ruta Continua
CPP	Control Punto a Punto	CRI	Control de Robot Inteligente

Abreviaturas referidas a las aplicaciones generales comúnmente robotizables:

APLICACIONES			
PS	Pintura por Spray	IN	Inspección
SA	Soldadura por Arco	CD	Carga y Descarga
SP	Soldadura por Punto	MM	Manejo de Materiales
MQ	Maquinado	EN	Ensamblado
CR	Corte		

Capacidades comúnmente requeridas por aplicación [6]:

APLICACION	CAPACIDADES REQUERIDAS
PS	Velocidad y volumen de trabajo
SA	Volumen de trabajo, grados de libertad y exactitud

APLICACION	CAPACIDADES REQUERIDAS
SP	Exactitud, volumen de trabajo y grados de libertad
MQ	Grados de libertad, fuerza y volumen de trabajo
CR	Volumen de trabajo y fuerza
IN	Grados de libertad y exactitud
CD	Carga de trabajo y volumen de trabajo
MM	Carga de trabajo, grados de libertad y volumen de trabajo
EN	Velocidad de operación, exactitud, fuerza y carga de trabajo

Características técnicas comúnmente requeridas con base en la aplicación [6]:

APLICACION	CARACTERISTICA TECNICA REQUERIDA
Transferencia de material	Número de ejes: 3 a 5 Sistema de Control: Punto a punto o de secuencia limitada Sistema de impulsión: neumático o hidráulico (cargas pesadas)
Carga de máquinas	Anatomía: polar, cilíndrico, brazo articulado ejes: 4 ó 5 ejes Sistema de Control: secuencia limitada o punto a punto Sistema de impulsión: eléctrico o hidráulico (cargas pesada)
Soldadura por punto	Anatomía: polar, brazo articulado ejes: 5 ó 6 Sistema de Control: reproducción punto a punto Sistema de impulsión: hidráulico o eléctrico
Soldadura por arco.	Anatomía: polar, brazo articulado, cartesianas ejes: 5 ó 6 Sistema de Control: reproducción de camino continuo Sistema de impulsión: eléctrico o hidráulico
Recubrimiento al spray	Anatomía: brazo articulado ejes: 6 ó más Sistema de Control: reproducción de camino continuo Sistema de impulsión: hidráulico
Ensamblaje	Anatomía: brazo articulado, cartesiana, SCARA. ejes: 3 a 6 Sistema de Control: reproducción de punto a punto o trayectoria continua Sistema de impulsión: eléctrico, precisión y repetibilidad alta

III.4.1 Descripción del entorno de trabajo, operación y pieza de trabajo

Para poder continuar con la descripción del "robot ideal" que habrá de adquirirse, será necesario condensar toda la información referente al entorno de trabajo de la operación seleccionada, aspectos de la misma operación y características de la pieza de trabajo; dicha información se vaciará en una *tabla descriptiva*. Esto se hará para cada tipo de operación diferente a robotizar. En dicha tabla se informará sobre todos los datos cualitativos y cuantitativo necesarios que describan aspectos como peso y tamaño del objeto a manipular, características de la operación, herramienta a utilizar y condiciones ambientales.

Tabla descriptiva
<i>Aspectos a describir:</i>
1. <i>Entorno de trabajo</i>
2. <i>Parámetros de la operación que se realiza.</i>
3. <i>Descripción de la pieza de trabajo</i>

Ejemplo de una tabla descriptiva. Para ejemplificar la elaboración de una tabla descriptiva retomaremos el "proceso de fundición de pistones" con el que se ha tratado en capítulos anteriores. En esta tabla se describirá el entorno de la estación de trabajo donde se lleva a cabo la fundición, algunas características de la operación (herramientas, maquinaria, etc.) y de la pieza de trabajo.

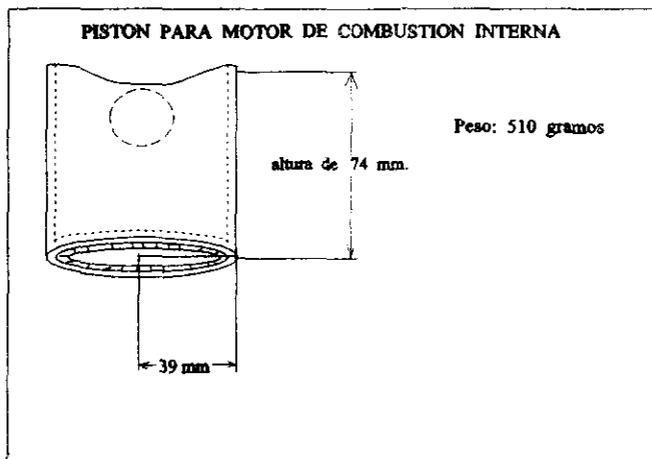


FIG. III.4.1 PISTON PARA MOTOR DE COMBUSTION INTERNA EN ESTUDIO PARA SU ROBOTIZACION

ELABORACION DE PISTONES PARA AUTOMOVIL POR FUNDICION

CARACTERISTICAS DEL ENTORNO DE TRABAJO DEL AREA DE FUNDICION

TEMPERATURA °C MAX: 45 °C MIN: 20 °C
HUMEDAD RELATIVA MAX: 80 %
CONTAMINANTES EN EL AIRE : Dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros tolerados por el ser humano en pocas proporciones.
AFLUENCIA DE OPERADORES AJENOS AL AREA DE TRABAJO : Poca afluencia
ESPACIO DISPONIBLE EN LA CELULA O LINEA DE MANUFACTURA M²: 50 M²
REGISTROS CERCANOS DISPONIBLES : Energía eléctrica agua aire desagüe

OPERACION

TIPO DE OPERACION : Fundición de pistones, recepción de pistón a altas temperaturas del horno de fundición para su inmediato enfriamiento por sumergimiento en aceite, la pieza ya fría se coloca en palets.
TIEMPO CICLO DE LA OPERACION: 25 segundos
LISTA DE MAQUINARIA EMPLEADA: Horno eléctrico para fundición con temperatura máxima de 1500 °C, contenedor de aceite para enfriamiento 100 lts.
LISTA DE HERRAMIENTAS UTILIZADAS: Pinzas grandes para extraer pistones incandescentes y transportar para su enfriamiento en aceite
EQUIPO DE SEGURIDAD EMPLEADO: Guantes, careta y overol resistentes al calor, extintores (ácido carbónico)
SUSTANCIAS QUIMICAS UTILIZADAS: Ninguna corrosiva o con propiedades explosivas
EXACTITUD REQUERIDA EN LA OPERACION : +/- 10 mm
EQUIPO PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES UTILIZADO: Carrito con cuatro ruedas

DESCRIPCION DE LA PIEZA DE TRABAJO

No DE PIEZAS DIFERENTES : Diferencias mínimas no trascendental
MATERIAL(ES) DEL QUE ESTÁ HECHA CADA PIEZA : Aluminio
PROPIEDADES MECANICAS: Inherentes a las del aluminio
PESO, TEMPERATURA, FORMA Y DIMENSIONES ANTES DE LA OPERACION: lingotes de aluminio de 5 kern c/u a temperatura ambiente
PESO, TEMPERATURA, FORMA Y DIMENSIONES DESPUES DE LA OPERACION:
Forma y tamaño: Cilindro hueco con radio de 39 mm, altura de 74 mm
Peso: ± 510 gramos
Temperatura: Al salir del horno 400 °C
CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA SU MANEJO: Objeto extremadamente caliente se usan pinzas y equipo de protección

TABLA III.4.1 Tabla descriptiva del entorno de trabajo, características de operación y pieza de trabajo

III.4.2. Tabla descriptiva para el Robot Ideal

A partir de la información recopilada en la tabla III.4.1 podremos ir especificando el tipo de robot que habrá de adquirirse.

Con los anteriores datos de la tabla III.4.1 concretemos las características del robot en otra tabla III.4.2.A que será tan detallada y amplia como el análisis lo requiera.

Por ejemplo:

CARACTERISTICAS REQUERIDAS DEL ROBOT	
Confiabilidad (MTBF):	Hasta 20 000 hrs.
Arquitectura:	ART CIL REC ESF
	Especificar Otro: _____
Tipo de impulsión:	ELE HID NEU
Tipo de control:	ERE ERC CPP RSL
Carga de trabajo:	5 Kg o más. Radio de alcance: Mínimo 1.20 m
Desplazamiento angular máximo del brazo del robot con respecto al eje vertical:	Hasta 300°
Tipo de efector :	Efector de pinzas con dos dedos con material resistente a altas temperaturas
Grados de libertad en el efector:	Mínimo 3 grados
Velocidad máxima del robot :	2 m/s
Aceleración en el efector final del robot:	2 m/s ²
Repetibilidad:	± 1.0 mm
Temperatura ambiental de operación:	hasta 50 ° C
CONTROLADOR	
Entrada de energía:	250 V
Sistema de enfriamiento:	Integrado
Interfaces:	Puerto paralelo y serial, manejo de señales discretas. Que interactúe con sistemas de cómputo convencionales (PC's).
Sistema de seguridad:	Con interruptor emergente de energía.
Tipo de programación:	Que se pueda programar fuera de línea con lenguajes de programación comerciales.
Nivel de control:	Con capacidad para controlar hasta 3 dispositivos adicionales.

Tabla III.4.2.A Características deseables en un robot para el manejo de pistones a altas temperaturas

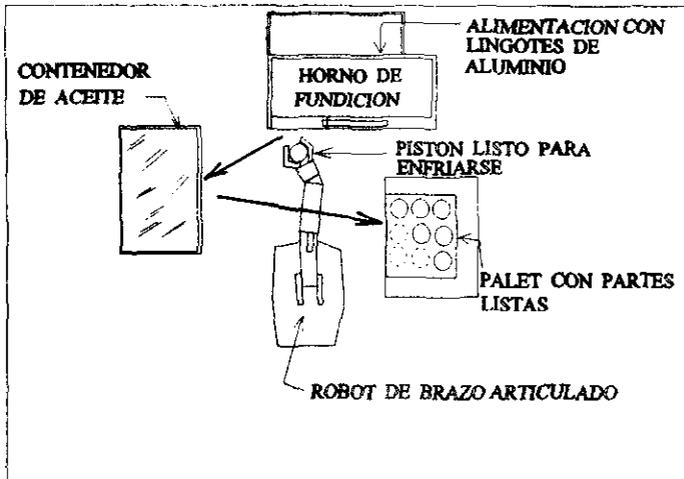


FIG. III.4.2 CELULA DE MANUFACTURA PARA LA FUNDICION DE PISTONES

Después de que se han definido las características requeridas en el robot para un proceso especificado se procede a interactuar con los diferentes fabricantes y/o proveedores para analizar sus ofertas en productos y precios. Es muy probable que el robot seleccionado del proveedor no se asemeje en un 100% al robot ideal conceptualizado en la planta, sin embargo, tendremos la certeza de haber hecho la mejor elección del mercado.

El K6SB de las series K de la empresa MOTOMAN (Yaskawa Electric Corporation), un robot factible

La empresa EMAC (Equipo y Máquinas Computarizadas S.A. de C.V.), es una empresa proveedora de robots y equipo de automatización; empleando información técnica facilitada por dicha empresa se concluyó que el robot modelo K6SB de la serie K de MOTOMAN se aproxima en mucho a las especificaciones del "Robot Ideal" descrito anteriormente para el manejo de pistones. Sus características técnicas se enlistan a continuación.

Especificaciones	Manipulador K6SB
Aplicaciones recomendables	Soldadura por arco, ensamblado, corte de materiales, <i>manejo de materiales (uso requerido)</i>
Arquitectura	Brazo articulado verticalmente con 6 grados de libertad. (3 en el cuerpo y 3 en la muñeca)
Alcance	1.32 metros o 52.01"
Carga de trabajo	6 Kg o 13 lb
Repetibilidad	± 0.1 mm o ± 0.004 "
Rotación del hombro (base) y velocidad	Hasta 340° (casi un giro completo) con una velocidad de rotación en dicho eje de 110°/s
Peso	180 Kg.
Otras Características	<ul style="list-style-type: none"> * Puede incluir sistema de visión con procesador de alta velocidad para el reconocimiento de partes. * Montable en el piso, techo o muro. * <i>Paquete integrado para la soldadura por arco.</i>

Tabla III.4.2.B Características del robot K6SB de la cia. MOTOMAN

CAPITULO IV. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE LA CELULA DE MANUFACTURA

El equipo evaluador ha determinado robotizar la planta parcial o totalmente. Se han identificado varias tareas que mejorarán el proceso en forma gradual después de que un robot sea el que las ejecute. También se definieron características como tamaño, configuración, capacidades sensoriales, capacidad de carga y velocidad de operación del robot que habrá de adquirirse. Para hacer más completa la automatización de la planta, hay que definir los dispositivos que se utilizarán para presentar las partes al robot, transportarlas y almacenarlas mientras esperan en la célula de manufactura o línea de producción. Si la célula de manufactura es pequeña es posible que el mismo controlador del robot sea el que controle la célula; si se trata de una larga y compleja línea de producción robotizada es obvia la necesidad de un controlador destinado exclusivamente al control de la línea de producción o célula de manufactura.

En esta parte presentaré algunos temas selectos útiles para diseñar la célula de manufactura bajo ciertas consideraciones. Implementar un proceso de producción robotizado no es tarea que un sólo individuo pueda realizar, por lo menos en un tiempo razonable. Para esto, se requiere de un equipo de profesionales en diferentes áreas como la producción, el diseño, la automatización, los sistemas computacionales y la ingeniería en electrónica. Este equipo, puede formarse por ingenieros de la empresa, pero no se podrá negar la necesidad de asesoría externa, sobre todo la asesoría y capacitación que se recibirá por parte del proveedor, tanto en lo respecta al robot seleccionado, como a los dispositivos para el manejo de las partes a procesar.

Definir y contemplar escrupulosamente cada aspecto para el diseño de la célula de manufactura o línea de producción es garantía de que ésta será funcional, fiable y sobre todo, que cumplirá con los objetivos primarios de todo sistema automatizado. La etapa del diseño es crítica ya que debe contemplar el tiempo de instalación y periodo de arranque de la planta con la nueva tecnología. Cualquier contratiempo podría generar grandes pérdidas por oportunidad o rezagos en la producción.

IV. I DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS EN LA ROBOTIZACION

La ingeniería de manufactura interactúa con los departamentos involucrados en la creación de un producto, desde el estudio de mercado hasta el diseño de herramientas y técnicas de embalaje. Cada departamento satisface los requerimientos de otros, así mismo, emite sus propias necesidades a los mismos. De igual manera, todos los departamentos de ingeniería colaborarán de alguna manera en las tareas de robotización.

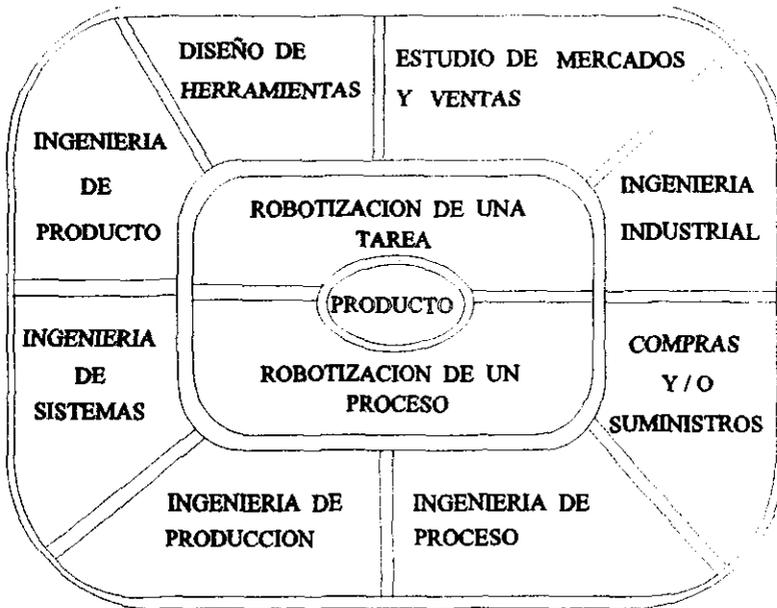


FIG. IV.1 Las diferentes áreas de la empresa participan en la robotización de un proceso o una tarea, así mismo se apoyan en los procesos robotizados para la fabricación de un producto.

Un proyecto de robotización implica una serie de ajustes y acondicionamientos en los procesos, tareas, productos y maquinaria, por lo que la comunicación y retroalimentación entre los departamentos es base para el desarrollo del proyecto.

Los departamentos involucrados en el proyecto de robotización son:

1. Estudio de Mercados y Ventas
2. Ingeniería de Producto
3. Ingeniería de Proceso
4. Diseño de Herramientas
5. Compras y/o Suministros
6. Ingeniería de Producción
7. Ingeniería Industrial
8. Control de Calidad
9. Ingeniería de Planta

I. Departamento de estudio de mercado y ventas

- * Es el contacto entre los clientes y la empresa.
- * Distribuye el producto, ajusta precios y establece políticas de negociación.

* Estima mediante técnicas de pronósticos los volúmenes y tendencias en las ventas a mediano y largo plazo siendo uno de los principales justificante para la aceptación de un proyecto de robotización de la planta.

Cuando el sistema de producción es del tipo *continuo*, el departamento de estudio de mercados tiene las siguientes funciones:

- a) *Determinación del volumen de producción ideal.*
- b) Proponer modificaciones en el artículo a *ingeniería de producción* para cubrir las necesidades cambiantes del cliente en el estilo, mejorar rendimiento y ajustar costos.
- c) Promover las ventas y distribución del producto.

Si el sistema de producción es *Intermitente*:

- a) El departamento se contacta con el cliente para conocer sus necesidades y posteriormente darlas a conocer a *Ingeniería del producto*.
- b) Somete a consideración del cliente los costos y tiempos de entrega estimados por el departamento de *Ingeniería de Producción*.
- c) Distribuye y presenta el producto.

2. Departamento de Ingeniería del Producto

- * Realiza los diseños preliminares al producto con base en la información proporcionada por el departamento de *estudio de mercados*.

I. Diseño del producto con base en su función

- a) Se elaboran prototipos o modelos de prueba y experimentación.
- b) Se provee de dibujos, planos y cualquier otro tipo de información gráfica detallando dimensiones, tolerancias y materiales .
- c) Suministrar especificaciones o manuales estándares:
 - Especificaciones para procesos especiales.
 - Procedimientos para pruebas e inspecciones.
 - Procedimientos y especificaciones para procesos de ensamble.

II. Diseñar el producto a satisfacción del cliente

- a) Cuidar apariencia.
- b) Cambios y adiciones sobre el modelo actual.
- c) *Vida del producto* esperada por el cliente en relación al costo.

III. Diseño del producto por costos

- a) El producto deberá tener un costo lo suficientemente bajo para ser competitivo.
- b) El costo a su vez, permitirá que haya un margen de utilidad adecuado.

IV. Diseño del producto para su fácil mantenimiento y montaje,

- a) El producto deberá ser fácilmente reparable y estar constituido de partes reemplazables.
- b) Hacer sencillo su ensamble y montaje.
- c) Proveer diagramas que informen sobre su mantenimiento y métodos de ensamble.

V. Diseño del producto que lo haga fácilmente robotizable.

- a) El producto estará formado de partes que sean de fácil agarre y manejo para el efector del robot.
- b) Los ensambles podrán ser efectuados por el robot.
- c) Las tolerancias de las partes estarán dentro del rango del robot.
- d) Diseño de procesos no recomendables para operadores humanos.

3. Departamento de Ingeniería de Proceso

- * Formular el plan de manufactura que define con exactitud el cómo se fabricará el producto.
- * Ingeniería de proceso se basará en la información detallada sobre el diseño del producto.

Las funciones de Ingeniería de Proceso quedan como sigue:

- a) Determinar los procesos de manufactura que serán empleados.
- b) Determinar el orden o secuencia de estos procesos.
 - 1. Ruta de operación.
 - 2. Diagramas de procesos.
- c) Solicitar el diseño y fabricación de herramental tipo de efector para los robots o herramienta como efector final.
- d) Determinar, seleccionar y ordenar el equipo necesario para la manufactura de partes.
- e) Revisar el herramental y equipo para cerciorarse que se cuenta con lo planeado, y en su defecto solicitar las correcciones necesarias.
- f) Proporcionar estimaciones de costos del herramental, equipo de automatización y robots así como todo el equipo necesario para manufacturar los nuevos productos, todo con el fin de asesorar en las cotizaciones.
- g) Sugerir cambios en el diseño del producto para facilitar su manufactura.
- h) Ingeniería de producción puede también participar en el diseño y mejora del producto con el fin de hacer factible y económica su manufactura.

- i) Aprobación de las instalaciones, distribución de la maquinaria y equipo de automatización.
- j) Supervisión de la producción experimental para hacer los ajustes y arreglos necesarios para iniciar la fabricación en serie.
- k) Solicitar a ingeniería industrial, la determinación de tiempos estándares, movimientos de cada operación y balanceo de líneas.
- l) Aprobación de las normas de calidad y métodos de prueba e inspección del producto hechas por *Control de Calidad*.

- m) Aprobación del equipo para la robotización y demás dispositivos auxiliares.
- n) Identificar aquellas operaciones donde *los robots sean aplicables* y se aprovechen sus ventajas al máximo.
- ñ) Facilitar el uso de robots en los procesos de fabricación así como también para la reducción de costos.

4. Departamento de Diseño Herramental

- * Provee de los recursos herramentales y de maquinaria necesarios para fabricar el producto ya diseñado.
- * Diseño de herramientas para satisfacer las necesidades de herramientas y máquinas poco comunes o de uso especial que no se encuentren en el mercado.

Las especificaciones con las que laborará este departamento son:

- a) Descripción de tareas y/o procesos que va a desempeñar cada robot.
- b) Planos detallados del producto facilitados por *ingeniería del producto*.
- c) Descripción general y funciones del herramental.
- d) Diagramas con las operaciones del proceso de fabricación.
- e) Características de la maquinaria a emplear.
- f) Tasa máxima de producción.

Diseño herramental deberá seguir ciertos lineamientos generales para lograr buenos diseños de herramientas, mismos que serán aplicables a aquellas herramientas hechas para los robots. Algunos de estos lineamientos son:

1. Cada herramienta deberá realizar una función específica.
2. Debe cumplir con ciertos requisitos de *precisión mínimos*.
3. El costo será el *mínimo posible*.
4. Cumplir con las normas de seguridad.
5. Duración aceptable.

6. Adaptabilidad de la herramienta a la máquina o robot en la que se va a utilizar.

El departamento de diseño herramental pondrá a consideración de todos los departamentos involucrados con el diseño y manufactura del producto, las diferentes alternativas de diseño herramental para seleccionar la más adecuada.

Las funciones de este departamento se describen a continuación :

- a) Obtener información de las piezas o productos a fabricar así como de los materiales a emplear.
- b) Determinación de la economía al utilizar las herramientas especiales que puedan aplicarse al trabajo.
- c) Determinar si las herramientas especiales se elaborarán o se procederá a su compra.
- d) Realizar dibujos con dimensiones, tolerancias y materiales; elaborar descripciones y especificaciones del herramental, para esto asegurarse de que los diseños sean prácticos y económicos en relación a su aplicación.
- e) Elaborar requisiciones o emitir órdenes de fabricación del herramental supervisando su construcción.
- f) Verificación y prueba de las herramientas al recibirlas para asegurarse de que cumplan con las especificaciones establecidas.

G) En el caso de los robots, considerar las tolerancias, repetibilidad, exactitud, precisión y otros parámetros para el diseño de algún efector especial o herramienta si el proceso así lo requiera.

5. Departamento de compras y suministros

- * Provee todos los suministros necesarios para la fabricación del producto.
- * Evalúan las requisiciones que hace cada departamento.

El contenido de estas requisiciones varia dependiendo de los distintos departamentos, algunos ejemplo son:

<i>Departamento</i>	<i>Tipo de requisición</i>
<i>1. Ingeniería del producto:</i>	1. Requisición de materiales para la manufactura de modelos y equipo para la realización de pruebas.
<i>2. Ingeniería de Proceso:</i>	2. Requisición de maquinaria y equipo para la manufactura, materiales para la producción experimental.
<i>3. Diseño Herramental:</i>	3. Material y equipo para la fabricación de herramientas.
<i>4. Ingeniería de Planta:</i>	4. Equipo y material para servicios, mantenimiento y modificaciones a la planta.

En términos generales, el departamento de compras y suministros realiza las siguientes tareas:

- a) Localización de materiales y equipos de mejor calidad a buen precio.
- b) Coordinación de las fechas de entrega de los suministros conforme a los planes de trabajo.
- c) Poner en contacto a los proveedores con el personal de planta cuando así se requiera.

6. Departamento de ingeniería de producción.

- * El departamento ejecuta o realiza lo planeado por ingeniería del producto y de procesos.
- * Fabricar el número necesario de productos en un tiempo determinado cumpliendo con las normas de calidad establecidas.

Resumiendo las actividades de este departamento, tenemos que ingeniería de producción:

- a) Recibe los manuales de procedimientos, especificación de materiales, diagramas de proceso y tasa probable de producción.
- b) Planea la producción con base en los pronósticos de demanda o a pedidos concretos de clientes.
- c) Junto con ingeniería de procesos, ingeniería industrial, diseño herramental y control de calidad realiza la producción piloto para posteriormente llevar a efecto la producción en serie.
- d) Determina los tamaños óptimos de los lotes de fabricación.
- e) Elabora requisiciones del material necesario al departamento de compras.
- f) Lleva un control de inventarios y de costos.
- g) Se encarga de que el producto cumpla con las normas de control de calidad.
- h) Controla la producción del personal, los robots y de la maquinaria.

7. Departamento de Ingeniería Industrial

*** Planifica, mejora e instala los sistemas integrados por hombres, materiales y equipos.**

*** Especifica, predice y evalúa los resultados que deberán obtenerse de tales sistemas.**

Enlistando las funciones más importantes del departamento de ingeniería industrial, tenemos:

- a) A partir de los datos exactos del producto y del proceso, ingeniería Industrial estudia la forma en que se transportarán y almacenarán las materias primas y los productos en el interior de la fábrica (logística).
- b) Elabora la ruta crítica del proceso de producción.
- c) Toma los tiempos y movimientos tanto de los operarios como de los robots, lo que permitirá obtener el mayor rendimiento durante la producción piloto.
- d) Efectúa el balanceo de líneas, el cual permite reducir al mínimo los tiempos de máquinas y operarios.
- e) Precisa los materiales y herramientas en la línea de producción, de tal manera que los operarios puedan realizar sus tareas rápida y eficientemente y con el menor esfuerzo posible, aumentando así la producción.
- f) Especifica las condiciones que debe tener el área de trabajo con respecto a iluminación, ventilación, ruido y otros factores que afecten el rendimiento del trabajador.
- g) Propone nuevos métodos de trabajo para reducir los tiempos de producción.
- h) Determina junto con el departamento de ventas, la cantidad y la forma de transportar los productos terminados a los centros de consumo.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">i) Participa en la signación y acondicionamiento de las las mejores tareas a desempeñar por los robots con el fin de aprovechar al máximo sus habilidades.j) Especifica el ambiente propicio para los robots. |
|--|

8. Departamento de Control de Calidad.

*** Mantiene y desarrolla el nivel de calidad del producto a un costo competitivo.**

*** Define la calidad requerida por un producto en particular.**

*** A parte de inspeccionar el producto en sus diferentes etapas de procesamiento, también propone mejoras y cambios al producto**

Las principales actividades del departamento de control de calidad, son:

- a) Verifica las variaciones en la calidad del producto, debido a la imprecisión de la maquinaria, robots, la calidad del material y/o desempeño de los operadores.
- b) Evalúa la implementación o modificación a los procesos robotizados con base a las mejoras que se puedan obtener con respecto a los mismos procesos hechos manualmente.
- c) Determina las posibles causas de fabricación defectuosa.
- d) Comprueba la calidad del material para la manufactura desde su recepción.

9. Departamento de Ingeniería de Planta

- * Se encarga del mantenimiento de los inmuebles, instalaciones, maquinaria y los demás componentes de una línea de producción para evitar de esta forma perturbaciones durante la fabricación del producto.
- * Es el responsable de la instalación de la maquinaria, equipo para ampliaciones o nuevas líneas de producción, así como de todo el equipo requerido para la robotización del proceso seleccionado.

Las actividades más importantes de *Ingeniería de Planta* se presentan a continuación.

- Conservación de edificios en lo referente a la albañilería, estructura, tuberías de servicio (agua, gas, vapor, aire comprimido, petróleo, etc). Tuberías para los servicios usados en la producción, como son: calefacción, ventilación, carpintería, pintura, plomería, aseo en general.
- Mantenimiento de las instalaciones mecánicas, maquinaria y equipo utilizado para la producción en general como el equipo para el manejo de materiales.
- Proporciona mantenimiento a las instalaciones y equipo eléctrico que comprende: inspección, medición de parámetros (aislamiento, rigidez dieléctrica, etc.) reemplazo de dispositivos y elementos de calibración.
- Conservar en buen estado los sistemas de protección contra incendios y accidentes.

e) El departamento de ingeniería de planta aplica a todo el equipo y maquinaria el correspondiente mantenimiento preventivo y correctivo, desempeñando tareas como:

- Ajustes mecánicos de robots y dispositivos auxiliares como bandas, mesas rotatorias, cubetas vibratorias, etc.
- Asegurar el suministro de energía eléctrica y fluido hidráulico y neumático a los actuadores de los robots y accesorios.

10. Departamento de Sistemas y Soporte Técnico

- * Satisface los requerimientos de equipo de cómputo de cada departamento de la empresa.
- * Recomienda e instala los programas necesarios en cada computadora de cada área de la empresa.
- * Mantenimiento correctivo y preventivo del equipo electrónico como controladores, computadoras, sensores, etc.
- * Se encarga del mantenimiento preventivo y correctivo de todo el equipo de computo de la empresa así como de llevar a cabo las mejoras y modificaciones necesarias que así se requieran.
- * Instala, mantiene, administra y garantiza el correcto funcionamiento del sistema de RED de la empresa (Unix, Novell, Windows Network, Windows Operative System, ETC).

- * Instala y configura el equipo de cómputo requerido para el control de las diferentes células de manufactura robotizadas o automatizadas.
- * Mantiene la correcta comunicación entre las computadoras y controladoras del equipo de automatización (robots , máquinas CNC etc.)

IV. I. 1 Principios generales del diseño para facilitar la manufactura

Siempre es conveniente diseñar productos sencillos y fáciles de manufacturar sin descuidar su funcionalidad, aspecto y fiabilidad. Bajo esta idea, la robotización de un proceso o tarea en específico será más fácil de llevar a cabo. Por regla general, un producto sencillo de manufacturar resulta mucho más económico de producir. Enseguida enunciaremos los principios aplicables a la mayoría de los procesos de manufactura:

1. *Sencillez*
2. *Materiales y componentes estandar*
3. *Diseño estandarizado del producto en sí*
4. *Tolerancias amplias*
5. *Materiales sencillos de procesar*
6. *Colaboración con el personal de manufactura*
7. *Evitar operaciones secundarias*
8. *Evitar restricciones para el proceso*

Los anteriores principios ayudarán a los encargados del diseño a especificar componentes y productos que se puedan manufacturar a un costo mínimo, así como de facilitar más la robotización de una tarea o proceso.

1. *Sencillez.* El producto que tenga la menor cantidad de piezas posibles, una configuración menos complicada, un mínimo de ajustes de precisión y la más breve secuencia para manufactura; será el menos costoso para producir. Además, por lo general son los artículos más confiables y fáciles para darles servicio.

2. *Materiales y componentes estándar.* Emplear los materiales de más fácil disponibilidad y de piezas comerciales ofrece beneficios en la producción en serie hasta con pocas unidades del producto. Utilizar componentes estándar simplifica la administración del inventario, facilita el surtido, evita inversiones en herramientas y equipo y acelera el ciclo de manufactura.

3. *Diseño estandarizado del producto en sí.* Al fabricar varios productos similares, se deben especificar aquellos materiales, piezas y subconjuntos que sean igual. Este procedimiento permitirá lograr la economía de escala, simplificar el control

de proceso y el adiestramiento de los operarios, además de que se reduce la inversión en herramienta y equipo.

4. Tolerancias amplias. Producir artículos con tolerancias demasiado precisas que no necesariamente lo requieran generan altos costos que se reflejan en:

- a) Operaciones adicionales como rectificado (esmerilado), pulido o asentado con piedras abrasivas.
- b) Mayor inversión en herramientas de alta precisión y costos de mantenimiento de las mismas.
- c) Ciclos de operación más largo.
- d) Mayores costos de desperdicios y reprocesamientos.
- e) Personal más especializado.
- f) Dificulta más la robotización.

5. Emplear los materiales más sencillos de procesar. Se debe buscar aquel material que sea más fácil de procesar, con los costos y características funcionales adecuados.

6. Colaboración con el personal de manufactura. Al diseñar un artículo, los diseñadores pueden apoyarse en el personal involucrado con la manufactura de los productos, esta interacción lleva por lo general a muy buenos resultados.

7. Evitar operaciones secundarias. El emplear operaciones secundarias como rebabeado, inspección, electrodeposición (galvanoplastia), pintura, tratamiento térmico, manejo de materiales y otros puede resultar tan costoso y laborioso como la operación primaria de manufactura.

8. Evitar restricciones para el proceso. Ingeniería de producto, debe especificar en los planos de las piezas las características finales deseadas, no el proceso a utilizar. Los ingenieros de proceso deben tener la flexibilidad máxima posible en la elección y/o diseño del proceso que se utilizará para lograr las características anteriormente especificadas.

Considerar los puntos anteriores, propiciará que el proceso de robotización sea más sencillo y sobretodo económico.

IV. II SISTEMAS PARA EL MANEJO DE MATERIALES PARA LA ROBOTIZACION

Los dispositivos y sistemas empleados para el manejo y transporte de materiales son una parte distintiva de los sistemas automatizados. El robot asignado para automatizar un proceso es básicamente destinado a ejecutar la tarea más compleja, tediosa, repetitiva o peligrosa. Pero el robot desarrollará una y otra vez la misma tarea, por lo que no deberá perder tiempo en localizar y alcanzar la siguiente parte a procesar, a menos que sea necesario. El sistema de manejo de materiales, debe tener la capacidad de presentar al efector del robot la parte correcta en proceso con la posición adecuada, así como de transportarlas de un punto a otro con seguridad y eficiencia. Para los robots que no cuentan con sistema de visión el sistema de manejo de materiales es especialmente crítico. Las partes deben estar posicionadas en forma exacta ya que el robot sigue siempre la misma trayectoria para alcanzar siempre el mismo punto, de tal forma asume que los objetos se encontrarán en la misma posición.

Los requerimientos para el sistema de manejo de materiales son diferentes a los de un sistema manual. ya que es más fácil para un operador humano identificar y tomar partes aleatoriamente orientadas y colocarlas en el interior de una máquina.

Las características deseables en un sistema de manejo de materiales son:

- * No dañar las partes
- * Operación confiable
- * Localización exacta de las partes
- * Velocidad de transferencia aceptable
- * Labor directa mínima
- * Gran capacidad de transporte

En este capítulo se dan a conocer algunas técnicas para presentar las partes al robot aplicadas al diseño de la célula o línea de manufactura robotizada.

IV. II. 1 Contenedores (palets)

Los palets o contenedores son almacenes de las piezas de trabajo, pueden permanecer en estos por algunos minutos mientras las piezas esperan a ser procesadas o durante largos periodos de tiempo. Un ejemplo de palet son los cartones en el cual los huevos son contenidos. Estos contenedores presentan las partes debidamente al robot alineándolas u orientándolas previamente por medio de un operador o en forma automática. Las partes frágiles o quebradizas de forma irregular y poco estables son por lo general acomodadas manualmente en los palets, cuando las partes son más resistentes es posible utilizar métodos automatizados para el arreglo de las partes en los contenedores.

Los palets son ampliamente utilizados cuando se manejan partes de baja producción y gran diversidad. Las desventajas del uso de palets es la necesidad de mano de obra directa para transferir las partes de un contenedor a otro. Otra desventaja es el requerimiento de mayor espacio comparado con otros sistemas de alimentación.

Tipos de palets. Hay tres métodos más comunes para la elaboración de palets que son: plástico formado al vacío, plástico moldeado por inyección y fabricado en metal. Entre más precisión se requiera en el palet es más alto su costo de manufactura. En el siguiente cuadro se resumen las características de cada tipo de palet.

Tipo de Palet	Exactitud	Costo de Herramental	Costo por Unidad Elaborada
Plástico formado al vacío	± 0.020 in.	Moderado	Muy Bajo
Plástico moldeado por inyección	± 0.010 in.	Alto	Bajo
Fabricado en metal	± 0.001 in.	Muy Bajo	Alto
Fundido en metal	± 0.010 in.	Alto	Bajo

a) *Formado al Vacío.* Los palets de plástico formados al vacío son frecuentemente utilizados para presentar piezas pequeñas de forma irregular. En este tipo de palets se utilizan perforaciones de referencia que localizan en pines fijos para mejorar la exactitud de la pieza. Estos palets están elaborados de una delgada hoja de plástico. El plástico es calentado y formado sobre un molde mediante la generación de un vacío al rededor de un molde. La exactitud de este palet es bajo debido a una baja rigidez del palet.

b) *Moldeado por Inyección.* Esta técnica de manufactura se utiliza cuando se requiere de una gran cantidad de palets con exactitud moderada y durabilidad. La herramienta del molde tiene un costo alto, pero el costo de producción de cada palet es moderado una vez que el molde está hecho. En estos moldes se utiliza la fibra de vidrio para mejorar la rigidez del palet pero hace al plástico más frágil. Otra desventaja es que el plástico utilizado para la fabricación de estos palets es de alta flamabilidad.

c) *Fabricación en Metal.* Los palets fabricados en metal están elaborados por métodos de maquinado convencionales. Estos ofrecen una mejor duración y precisión que cualquier otro tipo de palets ya que usualmente tienen partes de hierro endurecido.

IV. II. 2. Mesas estacionarias

a) *Mesas fijas.* Las mesas fijas se encuentran dentro del volumen de trabajo del robot y es la manera más fácil de presentar las partes a los robots las cuales son dispuestas manualmente. El operador toma las partes de un contenedor y las va acomodando manualmente en la mesa fija (Fig. IV.II.1) que se encuentra dentro del área de trabajo del robot. Las piezas son acomodadas en puntos exactos de la mesa para que el robot pueda tomar las partes sin ningún problema.

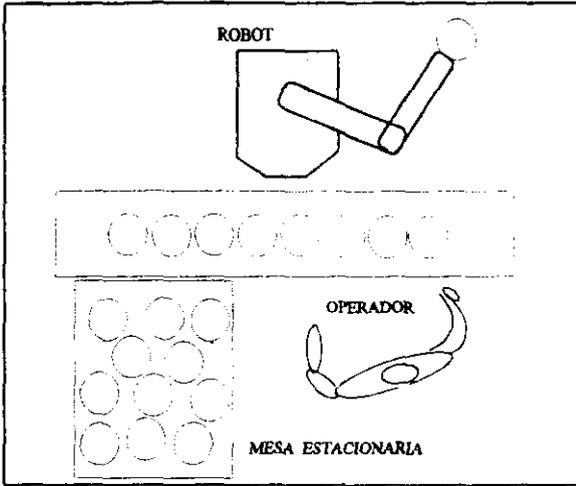


FIG. IV.II.1 MESA ESTACIONARIA

El método de la mesa fija o estacionaria es el método menos caro y la forma más simple de presentar las partes al robot. Una aplicación común de las mesas fijas es para tareas de soldado por arco, el operador fija las partes a soldar en la mesa para que inmediatamente después el robot aplique la soldadura a las partes. El tiempo ciclo de soldado es ligeramente mayor que el tiempo de carga y descarga.

b) *Mesa Rotatoria* En las mesas rotatorias (Fig. IV.II.2) es posible acomodar dos o más palets o partes individuales. Los arreglos en la mesa orientan las partes y sirven como almacén de espera, estas mesas pueden ser diseñadas para que el material sea recargado mientras el robot trabaja del otro lado de la mesa rotatoria, esto reduce el tiempo muerto del robot. Las mesas rotatorias son rápidas y pueden presentar el siguiente palet en menos de 0.5 seg. Si se requiriera una buena repetibilidad pueden utilizarse topes de precisión para detener la mesa rotatoria en el lugar exacto. Es posible contar con mesas rotatorias accionadas por motores servocontrolados lo que las hace completamente programables pudiendo lograr un gran número de posiciones.

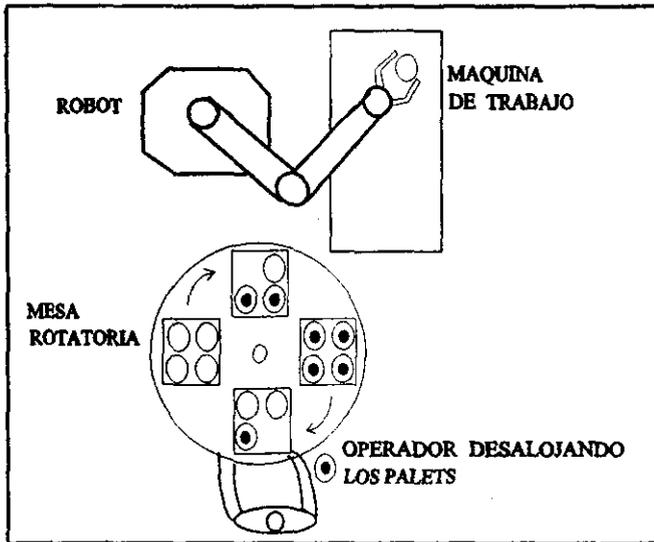


FIG. IV.II.2 MESA ROTATORIA

IV. II. 3. Alimentador automático de palets

La aplicación de los palets puede ser mejorado utilizando un sistema alimentador de palets (Fig. IV.II.3) que trae automáticamente nuevos palets hacia el robot. Unas charolas alimentan palets llenas de partes, cuando el robot termina con un palet, la charola remueve el palet vacío y lo reemplaza con otro lleno. Un alimentador de palets puede contener hasta 15 palets a la vez. El alimentador de palets es utilizado para manipular partes pequeñas y extrañas que no pueden ser fácilmente orientadas en un tazón vibratorio u otro dispositivo, el alimentador de palets puede estar trabajando por largos periodos de tiempo sin interrupciones para ser recargado, este mecanismo es el más complejo y caro pero tiene la más alta capacidad de almacenamiento que cualquier otro dispositivo.

IV. II. 4. Dispositivos alimentadores de partes

Los dispositivos alimentadores de partes almacenan y orientan automáticamente las partes en una configuración conocida para el robot. Los dispositivos comúnmente utilizados son la cubeta vibratoria y el alimentador por brazo indexador, dispositivos que toman las partes almacenadas en forma aleatoria para posteriormente orientarla adecuadamente al robot.

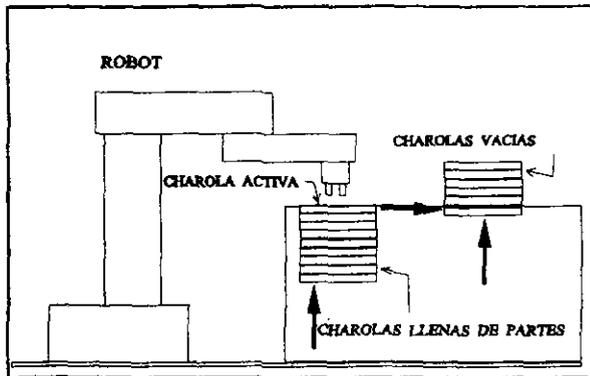


FIG. IV. II. 3 ALIMENTADOR AUTOMATICO DE PALETS

a) *Cubeta Vibratoria.* Las cubetas vibratorias (Fig. IV.II.4. A.) son los métodos más comunes para presentar partes ordenadamente a los robots a partir de una posición caótica. Los alimentadores utilizan un electroimán para hacer vibrar la cubeta o al alimentador en línea. La vibración ocasiona que las partes se alimenten hacia afuera de la cubeta, a la vez que las partes se mueven hacia a fuera de la cubeta, las herramientas acomodan las partes de tal manera que puedan ser alimentadas en una orientación conocida. Las partes entonces van hacia un alimentador en línea, dispositivo utilizado para reducir la presión de las partes que salen de la cubeta y ayudan a que las partes no se atasquen al salir de ésta. Posteriormente, las partes van hacia un mecanismo de liberación el cual tomará la parte y la fijará para que el robot pueda tomarla.

El diámetro de las cubetas vibratorias variará con base al tamaño de las piezas que se manejen. En la siguiente tabla se presenta el máximo tamaño de las partes a manejar para un diámetro recomendado de la cubeta.

Tamaño máximo de las partes para un diámetro dado de cubeta.						
Máximo tamaño de la parte (in)	0.5	1.5	2.0	4.0	6.0	8.0
Diámetro de la cubeta (in)	5	14	18	24	30	36

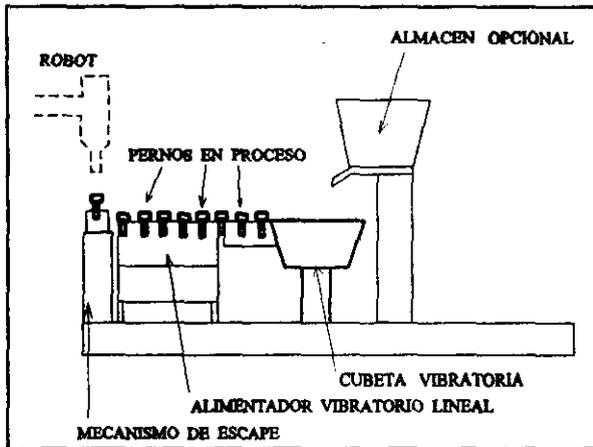


FIG. IV. II. 4. A. CUBETA VIBRATORIA

Algunas de las ventajas de las cubeta vibratoria son:

- * Pueden manejar una amplia variedad de partes en formas y tamaños.
- * Las partes se alimentan manualmente en orientaciones aleatorias.
- * Los tazones manejan grandes cantidades de partes en relación al espacio que ocupan.

Algunas desventajas de las cubetas vibratorios son:

- * Hay algunas partes que no pueden ser presentadas al robot mediante la cubeta vibratoria como resortes, objetos de goma etc .
- * Puede haber daños en partes muy frágiles debido a las vibraciones en las cubetas.
- * Suele generarse ruido molesto, por lo que es frecuentemente utilizan reductores de ruidos.

b) *Alimentador por brazo Indexador.* Los brazos indexadores también son utilizados para presentar partes aleatoriamente orientadas, tales como: tornillos, pernos, pasadores y otros objetos. Este dispositivo trabaja a partir de un brazo ranurado que sube y baja a través de un contenedor. A la vez que el brazo se levanta atrapa algunas partes de su cabeza y las desliza hacia un alimentador en línea el cual puede ser alimentado por gravedad o mediante un alimentador vibratorio.

Algunas de las ventajas del brazo indexador son:

- * El brazo indexador trabaja con menos impactos mecánicos que el alimentador de cubeta vibratoria.
- * El tamaño total de este dispositivo es menor y más ligero comparado con el dispositivo de alimentación vibratoria.

Algunas desventajas del brazo indexador son:

- * Se pueden manejar un número bastante limitado de partes
- * Las partes deben tener cabeza o algunas características geométricas que permita al brazo ranurado atraparlas sin dificultad.
- * Partes demasiado pesadas no pueden ser manipuladas con este dispositivo ya que caerían de la ranura.

c) *Tubo Alimentador.* El tubo alimentador (fig. IV.II.4.B) consiste de un tubo lleno de partes que son alimentadas una a la vez. Las partes son alimentadas manualmente dentro del tubo en una orientación conocida. La gravedad o algún resorte impulsa las partes hacia afuera del tubo y dentro de un dispositivo expulsor, este dispositivo evita que la parte se atore y asegura que sólo una parte sea alimentada a la vez.

Una desventaja de los tubos alimentadores es la mano de obra directa requerida para alimentar los tubos, tampoco es recomendable para partes muy grandes ya que el tubo tendría también que ser muy grande.

IV. II. 5. Alimentadores para asegurar las partes

Los alimentadores por aseguramiento ayudan a los alimentadores primarios a asegurar las partes para el robot. Por lo regular, estos dispositivos para el aseguramiento están montados al final de la cubeta vibratoria, brazo indexador o tubo alimentador. Este dispositivo es requerido cuando las partes deben alcanzar una localización muy precisa y deben tener el suficiente espacio para ser tomados por el efector.

Entre los tres dispositivos de aseguramiento comunes tenemos:

- a) Cilindro ascensor
- b) Deslizador lineal
- c) Revolver de aseguramiento.

a) *Cilindro ascensor.* El cilindro ascensor (Fig.IV.II.5.A) levanta la parte proporcionada por un alimentador lineal para que posteriormente el robot pueda tomarla. Un cilindro de aire tiene un recinto en el que se ajusta la parte que se encuentra ya al final del alimentador primario, cuando el cilindro comienza a levantarse hasta que llega a la

posición máxima. El recinto sirve también como "tope" de la siguiente parte que será alimentada cuando el cilindro baje nuevamente.

b) *Deslizador Lineal.* Un deslizador lineal (Fig. IV.II.5.B) junto con una cámara de agarre aseguran la parte en la misma posición de como fue tomada del alimentador en línea. Una vez que la parte se encuentra en la cámara es desplazada mediante un cilindro de aire hacia la posición de agarre del robot. La parte está ahora libre de cualquier obstáculo para el robot y puede ser tomada por el efector.

c) *Revolver de Aseguramiento.* Un plato revolver con pinzas de aseguramiento o ventosas de vacío toma las partes de una trayectoria lineal y las rota 90° o 180° hacia una orientación deseada. Un actuador neumático rotatorio gira el plato revolver hacia la posición exacta, el mismo plato sirve de tope físico a las partes que están en espera de ser posicionadas.

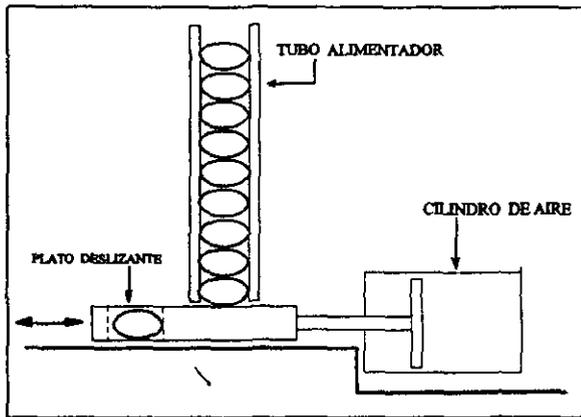


FIG. IV. II. 4. B. TUBO ALIMENTADOR

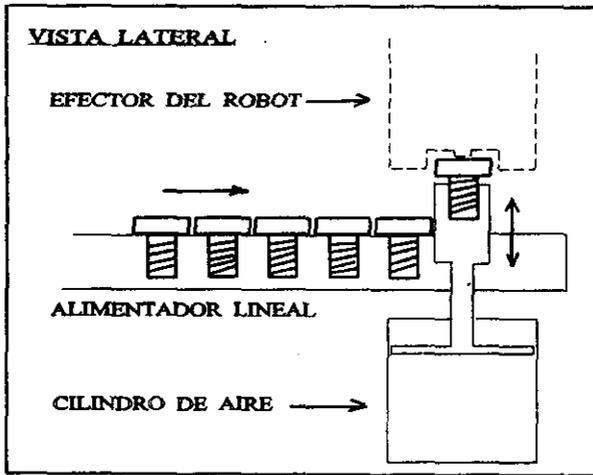


FIG. IV. II. 5. A CILINDRO ASCENSOR

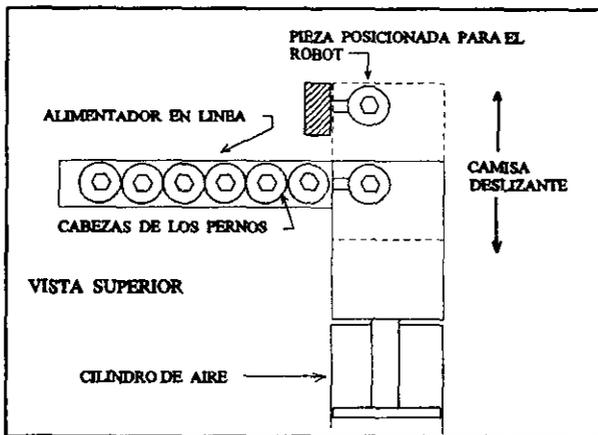


FIG. IV. II. 5. B DESLIZADOR LINEAL

IV. II 6. Bandas y vehículos de guiado automático (AGV)

Las bandas y vehículos de guiado automático son utilizadas principalmente para transportar material entre células de trabajo de los robots. Estos dispositivos son ideales cuando se trata de ligar más de tres células de trabajo robotizadas sin la necesidad de mano de obra directa.

a) *Banda de Cadena Corrediza.* Este tipo de bandas (FIG. IV.II.6.A) utilizan una cadena corrediza de plástico o metal para impulsar los palets. La cadena corre a través de una guía de metal. Un motor eléctrico impulsa constantemente la cadena, la fricción

entre el palet y la cadena suple la fuerza para impulsar el palet. Los palets se detienen mediante cilindros neumáticos que extienden un pasador para detener el palet requerido mientras la cadena continúa su movimiento, de esta forma los palets comienzan a detenerse y a acumularse uno detrás de otro, mientras el pasador está activado, generando de esta forma una "cola" de partes en proceso.

Las ventajas de este sistema son:

- * Bajos costos
- * Fácil generación de colas de espera
- * Fácil de desviar al equipo

Las desventajas son:

- * No es posible hacer intercepciones perpendiculares o en "T" del equipo
- * El uso de lubricantes para la cadena y correderas lo hacen un sistema no muy limpio
- * Capacidad de carga limitada en las cadenas de plástico
- * Las vueltas sólo pueden ser hechas en un arco amplio
- * La banda ocupa un mayor espacio
- * La banda no es recomendable para ambientes limpios clase 10

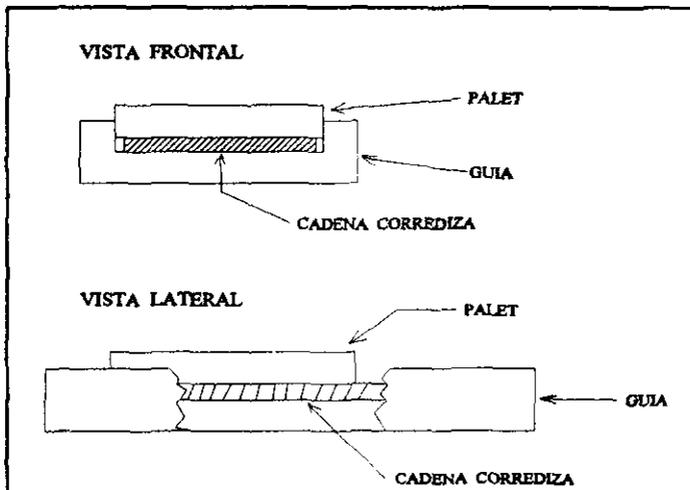


FIG. IV. II. 6. A BANDA DE CADENA CORREDIZA

b) Bandas de Correa Móvil

En este sistema los palets son impulsados por una correa móvil, únicamente la fricción entre ambos cuerpos es la fuerza necesaria para impulsar la carga a transportar; un motor eléctrico es el que transmite el movimiento a la correa. Para dar vuelta o desviar la trayectoria de los palets es necesario utilizar ascensores y/o dispositivos de transferencia. Un cilindro de aire eleva un sistema de bandas para levantar o descender el palet de la banda principal. Las "colas" de palets se generan al detener un palet y permitir que se acumulen los palets uno atrás de otro, la banda puede girar un palet 90° o 180° para cambiar la orientación si así es requerido, un actuador rotatorio neumático y un elevador de cilindro de aire toman al palet y lo rotan para después colocarlo de regreso en una banda inferior, esto reduce el espacio del piso y permite al equipo estar ubicado en ambos lados de la banda.

La desventaja del elevador para la línea de regreso es el costo y el tiempo del ciclo requerido por el elevador para transferir de un nivel de banda a otro.

c) Banda de Rodillos Deslizables

La banda de rodillos está constituida de un arreglo de rodillos plásticos con un eje rotatorio como impulsor el cual va paralelo a lo largo de la banda, el eje impulsor hace girar el eje interno de cada rodillo. La fricción de desplazamiento entre el eje y los rodillos proporcionan la fuerza impulsora entre el palet y la banda. El eje impulsor proporciona la torca al eje de los rodillos a través de una correa y una polea, la cantidad de presión de empuje debido a los múltiples palets acumulados detrás uno de otro es mucho menor comparado con la banda de cadena o correa móvil. Una desventaja de la banda de rodillos deslizables es el alto costo, poco apropiada para manipular equipo pesado y un bajo rango de aceleración.

d) Vehículos de guiado automático (AGV)

Un vehículo de guiado automático es un sistema de vehículos inteligentes con dirección automática, es capaz de seguir rutas descritas y puede ser programados para hacer funciones como giro, altos, descarga, o carga de materiales de éste. En tareas de ensamblado por robots el AGV es utilizado para llevar palets de partes hacia los robots o cargar un gran ensamble tal como una máquina o una carrocería hacia los robots [10].

Dirección. Los AGV son impulsados mediante baterías y siguen un alambre o ruta óptica instalada en el piso, éstos tienen sensores para determinar la localización del cable o ruta y hacer correcciones en el manejo y mantener al AGV sobre la ruta. Los cables son la forma más común de guiar un AGV, Con el método del cableado los cables transmiten una radiofrecuencia que el AGV percibe y sigue.

El cable puede guiar al AGV por la transmisión de una única frecuencia en cada cable o por el prendido o apagado del cable que se desee que dirija al AGV.

Carga y Descarga de los palets del AGV. Cuando el AGV manipula los palets de

partes deben tener un dispositivo de transferencia de carga con el cual carga y descarga los palets, la transferencia de palets es mediante un arreglo de rodillos impulsados mediante un motor eléctrico. Los compartimientos de los AGV tienen tres áreas o plataformas. La primer área recibe el palet del AGV, el AGV tiene una unidad de lanzamiento en la parte superior de éste que transfiere al palet sobre el muelle o plataforma donde debe ser posicionada para hacer "cola". La plataforma mueve los palets hacia una segunda área, que es el área de trabajo del robot. Cuando el robot termina de procesar el palet completo, lo transfiere hacia la tercer área, la cual funciona como "cola" de espera para cargar los palets al AGV. Para la carga y descarga de la plataforma al AGV la plataforma cuenta con una banda con dispositivos de transferencia.

Sistema de control. El AGV tiene controladores dentro de éste y puede que requieran controladores adicionales para dirigirlos. Para algunas aplicaciones el AGV puede contener todos los controles requeridos en su tarjeta para ejecutar sus tareas. El AGV puede leer los códigos del piso y determinar que vuelta tomar en las diferentes ramas [10].

IV. III CONFIGURACIONES BASICAS DE LAS CELULAS DE MANUFACTURA

En esta sección se presentarán las configuraciones más comunes de las células de manufactura automatizadas por medio de robots. Una célula de manufactura es el conjunto de elementos como maquinaria, procesos y gente requeridos para producir una familia de partes, componentes completos o subcomponentes. En este capítulo veremos como están formadas las células de manufactura robotizadas, las cuales están integradas básicamente por robots y sus dispositivos de campo.

Hay tres tipos básicos de configuración, el más simple es la configuración que contempla un solo robot o *isla de automatización*; después, le sigue la configuración de *ensamblado en línea*, que fabrica los productos utilizando una secuencia de pasos no intercambiable, desde el comienzo hasta el final. La tercer configuración y la más avanzada es la *célula de trabajo de ciclo independiente*.

Aquel sistema de producción donde todo el equipo puede arrancar en forma independiente se le denomina sistema *asíncrono*, además de caracterizarse porque los ciclos no tienen que comenzar y detenerse al mismo tiempo. Al material en espera para ser procesado por el robot o equipo de producción se le llama "cola", y puede variar desde dos unidades hasta centenas de éstas. Aquel sistema donde el equipo debe comenzar y detenerse al mismo tiempo se le denomina sistema *síncrono* y es el más difícil de balancear y administrar.

Célula de manufactura con un solo robot sin dispositivos auxiliares

Una célula de trabajo usualmente contiene un robot y sus dispositivos asociados, y está suficientemente equipada para realizar una tarea u operación completa.

La configuración más simple para la célula de manufactura del robot consiste en una célula donde las piezas a procesar son cargadas a mano dentro de un palet por un operador (Fig. IV. III.1); el robot procesa una o varias piezas de trabajo y las coloca como producto terminado en otra bandeja estacionaria. Cuando esta bandeja se acompleta o llena, el robot se detiene y el operador descarga el producto terminado.

Algunas ventajas de esta configuración son :

- * Esta es la forma más simple y menos cara de utilizar un robot.
- * El controlador del robot usualmente ejecuta todas las funciones de control de la célula de trabajo.
- * No se requieren controladores programables, computadoras, o paneles de transmisión para accionar la celula de trabajo.
- * Las piezas de trabajo se cargan y descargan a mano, este método es conveniente, sobre todo cuando se manejan partes frágiles.

Sus desventajas son:

- * Hay varios tiempos en los que el robot se queda desocupado.
- * Labor directa requerida para la carga y descarga manual de partes.
- * Por seguridad, el operador no debe entrar al volumen de trabajo del robot, o cruzar la barrera de seguridad de la célula de manufactura.
- * El costo de labor directa y los tiempos muertos del robot pueden hacer impráctico el uso de una célula de manufactura de configuración sencilla. En este caso se justificará un sistema automatizado de manejo de materiales.

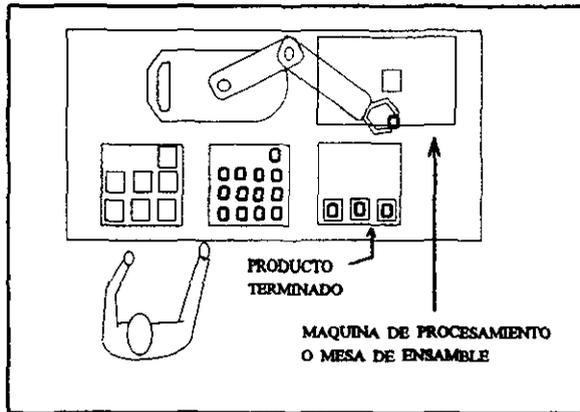


FIG. IV. III. CELULA DE TRABAJO SIMPLE

IV. III. 1 Manejo automatizado de materiales

Un sistema automatizado para el manejo de materiales transporta los materiales hacia y desde el robot, esto reduce el tiempo muerto en los robots así como la necesidad de labor directa para la carga y descarga de material. Dispositivos como cubetas vibratorias, palets, mesas rotatorias, bandas transportadoras, entre otros, son algunos ejemplos de los dispositivos utilizados para el manejo de materiales, mismos que fueron presentados en el capítulo anterior.

En la siguiente figura (Fig. IV. III.1. A) se muestra un ejemplo de una célula automatizada con un robot simple auxiliado con aparatos para la automatización del manejo de materiales.

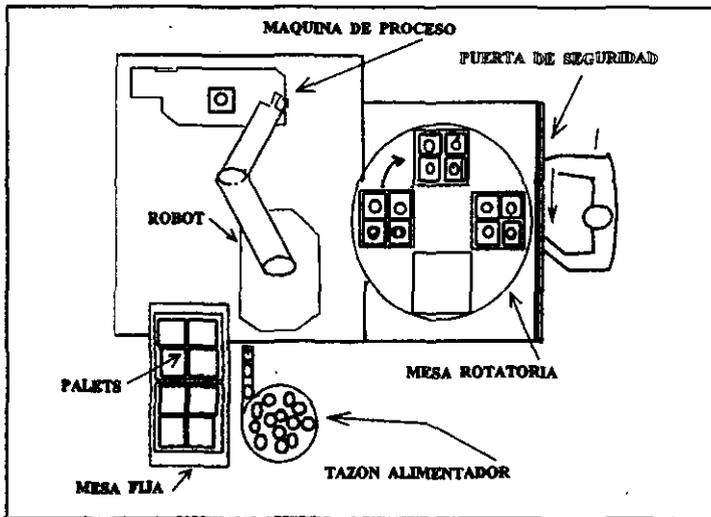


FIG. IV. III. 1. A CELULA DE MANUFACTURA CON DISPOSITIVOS

En esta configuración el robot no necesita detenerse para que el operador descargue el producto terminado de la mesa rotatoria o para que alimente la célula de producción con más material sin procesar. Dos puertas protegen al operador de la mesa rotatoria, esta mesa puede estar eléctricamente interrumpida con las puertas, de tal forma que no girará al menos que ambas puertas estén cerradas.

La secuencia de operación es como sigue:

- El operador llena el tazón alimentador y las bandejas móviles con piezas de trabajo
- El operador inicia la célula de producción en modo automático
- El tazón alimentador presenta automáticamente las piezas de trabajo al robot
- Las bandejas móviles presentan automáticamente las piezas de trabajo al robot
- El robot ensambla las piezas de trabajo juntas y las carga completamente ensambladas dentro de la mesa rotatoria

Ventajas de este sistema:

- * Es un sistema muy económico con un alto nivel de automatización
- * Hay una significativa reducción de labor directa
- * En aplicaciones comunes, un solo operador puede mantener hasta cinco estaciones

- * Con el equipo adecuado una célula de trabajo puede operar sin atención alguna por horas.
- * Esta es una configuración adecuada para un usuario que por primera vez maneja robots.
- * El sistema cuenta con el equipo clave para ser utilizado en sistemas grandes de producción.
- * Permite a los operadores, personal de mantenimiento e ingenieros familiarizarse con el equipo.

Desventajas:

- El equipo automático de manejo de materiales podría requerir un controlador de célula de trabajo adicional al controlador del robot, implicando esto un costo adicional y complejidad de la célula.
- El sistema es una "isla de automatización", de tal forma que el material debe ser manualmente transferido del proceso previo al siguiente.

IV. III. 2. Características de la configuración en línea

El término *Proceso en línea* implica que el producto se desplaza a través de una *línea*. El producto se mueve en una dirección deteniéndose en cada célula de trabajo, las partes son ensambladas o procesadas en cada estación. Algunos dispositivos como bandas transportadoras y mesas rotatorias son los más usados para el manejo de materiales en los sistemas en línea. Los sistemas en línea (Fig.IV.III.3) pueden ser *sincrónicos o asíncronos*. Una vez que todas las células de producción operan secuencialmente, la célula más lenta determina el *tiempo ciclo del sistema*.

Ventajas de los sistemas configurados en línea:

- * Esta configuración provee un mayor nivel de automatización que el sistema de robot simple.
- * Puede ser completamente automática sin requerimientos de labor directa.
- * La configuración en línea hace posible que un sólo operador este al tanto de 10 o más células de trabajo de robots en línea.
- * Los sistemas en línea permiten un mejor control de inventario.
- * Un mínimo de material en espera o cola es requerido entre las células de trabajo.

Desventajas.

- * El producto se puede mover sólo en una dirección.
- * El producto no puede retroceder hacia una estación previa para alguna operación adicional.
- * Resultaría muy complejo y costoso añadir un proceso nuevo entre células ya que se tendría que reacomodar todo el equipo.

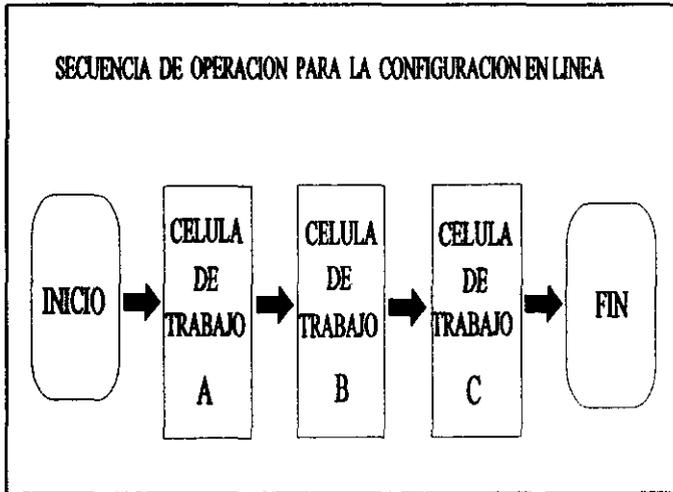


FIG. IV. III. 2 CONFIGURACION EN LINEA

IV. III. 3 Características de los sistemas asíncronos

- * Las estaciones de trabajo de tipo asíncronas se detienen y comienzan independientemente una de otra.
- * Las estaciones de trabajo tienen partes en espera entre ellas (colas) de tal forma que los robots no tienen que esperar por la siguiente parte de la estación previa.
- * El tamaño de la "cola" o material en espera de ser procesado es frecuentemente expresado en unidades de tiempo, siendo aquel el que le toma al robot procesar todo el material contenido en la cola. El tamaño de la cola puede variar de varios segundos hasta varias horas.

Ventajas del sistema asíncrono

- * El sistema puede tolerar interrupciones sin que la salida sea afectada.
- * El sistema asíncrono tiene una salida de producción mucho mayor que un sistema síncrono.
- * Cuando el material en espera entre las estaciones es bastante grande entonces el promedio de las salidas en cada estación de trabajo determina la salida del sistema.

Desventajas de los sistemas asíncronos

- Alto costo en el equipo destinado a las "colas" de almacenamiento y el espacio adicional requerido.
- Los sistemas asíncronos, como se vio anteriormente, mantienen un mayor inventario entre las células de manufactura.
- Más difícil de controlar y administrar
- Mayor movimiento de materiales

IV. III. 4. Banda asíncrona en línea

Los sistemas en línea más usuales utilizan bandas transportadoras para mantener las células de trabajo juntas (Fig. IV.III.4). El producto puede viajar en charolas sobre las bandas o descansar directamente sobre éstas. Este sistema se utiliza frecuentemente para tareas de ensamblaje mecánico en el cual muchas partes son colocadas en un ensamble principal.

Ventajas

- * La mayoría de estos sistemas coordinan los movimientos de los robots con la banda para minimizar los tiempos de ciclo perdidos.
- * La banda en línea almacena el material bajo el principio de que la parte que entra antes que cualquier otra es la que primero sale del proceso.
- * La banda puede mantener largas colas entre estaciones de trabajo de partes en espera de ser procesadas.
- * La capacidad de mantener largas colas, da la oportunidad a efectuar reparaciones en una o varias estaciones de trabajo sin que el proceso se detenga.

Desventajas

- Las bandas en línea implican instalaciones bastante rígidas que impiden hacer cambios en el Lay Out del equipo fácilmente.
- Se deben evitar colas muy largas, ya que éstas incrementan los costos por inventarios así como por partes defectuosas.

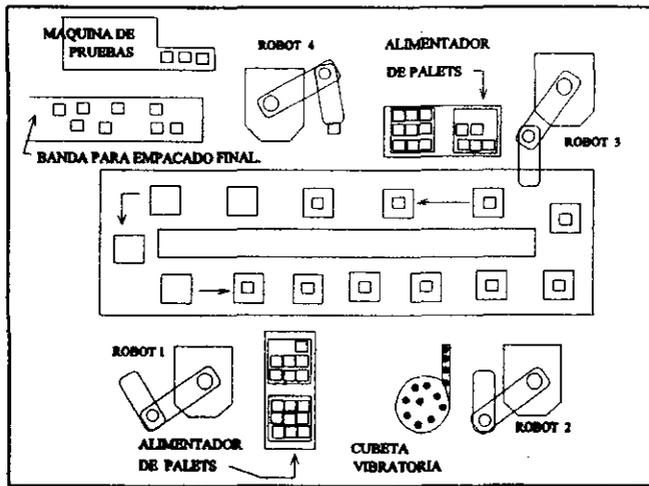


FIG. IV. III. 4 BANDA ASINCRONICA EN LINEA

IV. III. 5. Sistemas en línea con transferencia de productos mediante robots

En estos sistemas el robot mueve los productos de una célula de manufactura a la siguiente, no hay bandas o sistemas de transporte en uso, los dispositivos que contienen el material en espera para ser procesado entre las células de trabajo consisten principalmente de mesas rotatorias y bandas. Si el equipo en espera entre las células de manufactura es numeroso, los robots pueden trabajar asincrónicamente.

Estos sistemas son extensamente utilizados en tareas de maquinado múltiple y aplicaciones de prensado en el cual una parte es transferida a varios procesos y ninguna parte es ensamblada a éste.

Ventajas:

- * Es una configuración relativamente baja en costos, ya que no se requieren bandas o equipo en especial para el manejo de materiales.
- * No se requiere hardware especial para dar al equipo giros de 90° o 180° en el sistema.
- * El equipo no tiene que ser instalado en línea recta como se hace en un sistema de bandas. Esto proporciona gran flexibilidad cuando el equipo se instala en espacio reducido o alrededor de equipo existente.
- * Otro aspecto de la alta flexibilidad de esta configuración es que puede haber flujo paralelo de productos

Desventajas:

- El control del sistema se vuelve muy complejo al haber la posibilidad de varias rutas en el flujo de materiales.
- Se requiere del uso de controladores para coordinar todos los movimientos entre los robots.
- Cualquier malfuncionamiento en algún dispositivo crítico detendría al sistema completo y puede causar grandes pérdidas por producto defectuoso.

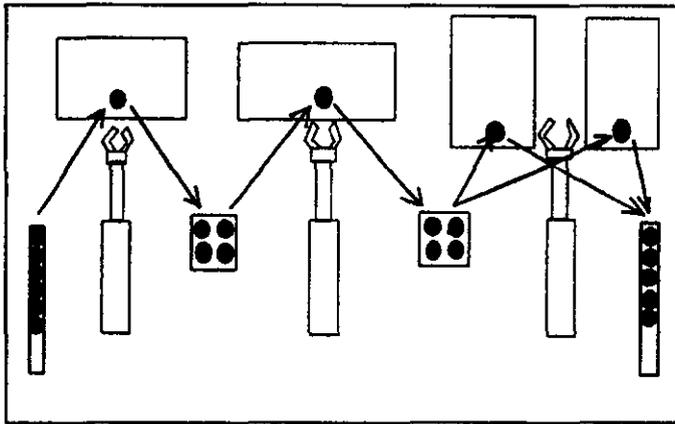


FIG. IV.III.5 TRANSFERENCIA DE MATERIALES MEDIANTE ROBOTS

IV. III. 6. Mesa rotatoria circular

Otra posibilidad de un sistema en línea consiste en emplear una mesa rotatoria para presentar las partes a los robots. La mesa rotatoria circular (Fig. IV. III. 6) tiene un motor eléctrico que gira la mesa en pequeños incrementos dados. Las mesas rotatorias estandar tienen de 2 a 24 posiciones de presentación y es impulsada por un motor eléctrico de velocidad variable, el producto es fijado sobre la mesa rotatoria en una posición fija y predeterminada. La mesa posiciona al producto en intervalos constantes de tiempo, por ejemplo cada 4 segundos la mesa tiene un pequeño desplazamiento angular para presentar el siguiente producto o espacio para que el robot coloque el producto ya procesado en la célula de manufactura.

Todos los robots, por lo tanto, deben finalizar su tarea antes de que un nuevo giro se de. Las mesas rotatorias pertenecen a los sistemas de tipo *síncrono*, de tal forma que todas las tareas deben comenzar o terminar al mismo tiempo.

Ventajas:

- * Es una manera económica de mover las partes entre las estaciones de trabajo.
- * La mesa rotatoria mueve al equipo mucho más rápido que un sistema de bandas.
- * Es posible utilizar mecanismos de sujeción para las piezas de trabajo con el fin de alinearlas, centrarlas o simplemente asegurarlas. Utilizar estos mecanismos en bandas es mucho más difícil.

Desventajas:

- * Opera en forma sincrónica, de tal manera que la mesa rotatoria se detendrá en cuanto el sistema detecte alguna falla.
- * Estos dispositivos no manejan "colas", por lo que si la mesa rotatoria se detiene todas las demás estaciones de trabajo también se detendrán.
- * El tiempo ciclo de todas las estaciones de trabajo deberá ser el mismo.

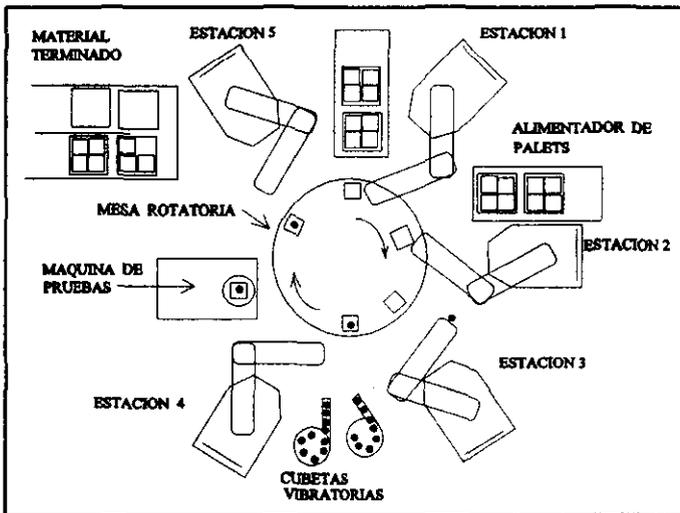


FIG. IV. III. 6 MESA ROTATORIA CIRCULAR

IV. III. 7. Línea síncrona de transferencia

La línea síncrona de transferencia utiliza múltiples estaciones instaladas en una línea recta. En funcionamiento y características la línea de transferencia es idéntica a la mesa rotatoria. La diferencia radica en que la línea de transferencia desplaza al material en trayectoria recta, mientras que la mesa rotatoria los desplaza en trayectoria circular. La línea de transferencia es impulsada por el mismo sistema que la mesa rotatoria. Las líneas de transferencia son utilizadas frecuentemente por centros de maquinado grandes y pesados; esto es, que puede desplazar grandes y pesadas cargas de trabajo lo que las hace mejores que las mesas rotatorias.

IV. III. 8. Ciclos independientes

La configuración de ciclo independiente utiliza bandas y AGV (Vehículos Guiados Automáticamente) para mover el material entre las mesas de trabajo. Este sistema permite rutas más flexibles al desplazar el material de una célula de trabajo a otra. El material se desplaza sólo a las estaciones necesarias (Fig. IV. III. 8).

La salida del sistema es dependiente de muchas variables como el tiempo ciclo de la célula de trabajo, el tamaño de la cola, estilo del producto, velocidad de la banda o AGV, la distancia entre las células de manufactura entre otros, todos estos parámetros podrían en un momento dado afectar la salida del sistema. Siempre es conveniente hacer una simulación del sistema mediante computadora considerando todas las variables anteriormente señaladas, antes de hacer la instalación del sistema.

El control del material en un ciclo independiente es mucho más complicado que en un sistema en línea. Estos sistemas requieren un controlador de ruta y algunos medios para la identificación de los contenedores (palets) y material. Los contenedores pueden ser identificados por etiquetas de código de barra, etiquetas de radiofrecuencia o una combinación de apagadores de proximidad. El más común método de identificar los contenedores (palets) en los sistemas de bandas es mediante el uso de códigos de barra en los contenedores en conjunto con lectores de código de barras ubicados en varios puntos a lo largo de la ruta.

Las partes cargadas dentro de un contenedor en particular están asociadas con el código de barras en el contenedor. El controlador de ruta direcciona y localiza los movimientos de cada contenedor. La localización y estado de las partes que se llevan son siempre conocidas.

Ventajas

- * Trayectorias flexibles.
- * Diferentes pasos en las secuencias de proceso pueden ser ejecutadas con el mismo sistema de ensamblado.
- * Se puede elaborar más de un tipo de producto así como reprocesar.
- * Es fácil añadir algún otro proceso al sistema después de que el equipo inicial haya sido instalado.
- * El mismo hardware puede desarrollar múltiples funciones, los robots y arreglos utilizados para el ensamblado de lotes recientes pueden también reprocesar.

Desventajas

- Se requiere de un controlador adicional para el direccionamiento y localización del material.
- La programación del controlador para un sistema complejo puede ser costoso y requerir de mucho tiempo.
- El costo de los lectores de barras es alto y al requerirse muchos puede incrementar el costo del sistema considerablemente.
- La complejidad del sistema debe ser respaldado por fuentes ininterrumpidas de energía.

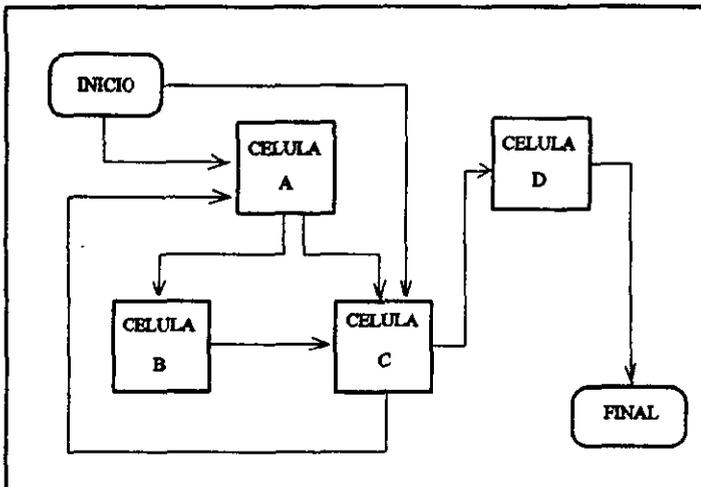


FIG. IV. III. 8 DIAGRAMA DE FLUJO PARA SISTEMAS DE CICLO INDEPENDIENTE

Bandas de ciclo independiente

Esta configuración utiliza contenedores en un sistema de bandas para transportar las partes a ser procesadas y las partes individuales que serán agregadas al ensamblaje. Un palet destinado al traslado de ensambles los lleva a cada célula de trabajo adecuada donde el robot toma las partes y las ensambla en el producto.

En la figura IV.III.8. A se muestra como opera una estación de trabajo con base en bandas de ciclo independiente.

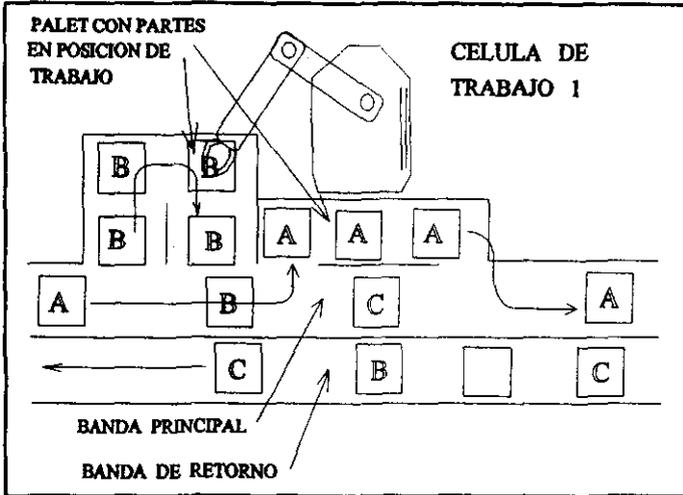


FIG. IV. III. 8. A BANDAS DE CICLO INDEPENDIENTE

Ventajas

- * La banda de ciclo independiente puede hacer varias transferencias de palets rápidamente y en forma simultánea.
- * La banda es un sistema fiable, simple y de la más alta capacidad.

Desventajas

- El sistema de bandas de ciclo independiente es difícil de mover una vez que se ha instalado.
- Las bandas suelen bloquear el paso a otros dispositivos o equipos.
- Si por cualquier motivo llegara a detenerse la banda el sistema entero se detendría.

Ciclo independiente mediante vehículos guiados automáticamente (AGV)

Un vehículo guiado automáticamente (Fig IV.III.8. B) es un vehículo inteligente con conducción automática. Es capaz de seguir rutas descritas y puede ser programado para hacer funciones como rotar, detener, descargar, y cargar material en él. El AGV puede ser utilizado para cargar tanto los ensambles a ser procesados, í como las partes individuales añadidas al ensamblaje. El sistema AGV es idéntico en funcionamiento a un sistema de banda.

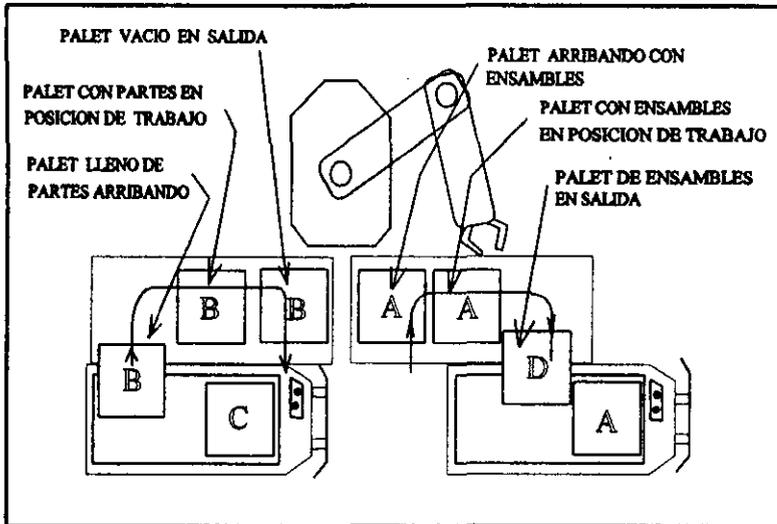


FIG. IV. III. 8. B VEHICULOS GUIADOS AUTOMATICAMENTE

Ventajas

- * Es el sistema que ofrece la mayor flexibilidad.
- * Es muy fácil adherir, cambiar o remover células de trabajo, dado que no necesitan estar en un orden secuencial o estar en línea, como con un sistema de banda.
- * El AGV no ocupa espacio permanentemente por lo que no bloquea el acceso de otros equipos como lo haría una banda.
- * La instalación del sistema es rápida.
- * En caso de que un AGV se dañara, puede ser sustituido rápidamente por otro carro de reserva.

Desventajas

- Un AGV no puede transferir partes tan rápidamente como una banda transportadora.
- La acumulación o cola de material en los sistemas AGV es costosa, dado que un típico muelle puede contener tres palets, si la cola de material es grande deben instalarse muelles adicionales para contener las colas o éstas deben ser almacenadas por el vehículo mismo.
- La reparación y mantenimiento de los AGV es complejo comparado con las bandas transportadoras.
- El espacio necesario para que un AGV dé un giro de 180° es mayor que el que ocuparía una banda transportadora para hacer el mismo giro.

IV. 4 EL CONTROL DE LA CELULA DE MANUFACTURA

En esta sección se presentan los métodos más comunes para controlar y coordinar las actividades desempeñadas simultáneamente por el robot, los sistemas para el manejo de materiales y otros dispositivos de campo, también se incluyen los diferentes niveles de control que se pueden generar dependiendo del número de robots, dispositivos de campo, sistemas para el manejo de materiales y número de células de manufactura que se requieran controlar.

Un sistema de control debe cumplir con las siguientes funciones:

1. Supervisar los dispositivos de operación.
2. Proveer las interfaces necesarias para la entrada y salida de datos.
3. Proveer un diagnóstico.

1. Supervisar operaciones. El sistema de control supervisa y coordina el trabajo de uno o más dispositivos de tal manera que puedan trabajar juntos. La operación debe ocurrir en la secuencia correcta y no debe haber interferencias o colisiones entre los dispositivos, para esto el sistema de control lee las entradas, determina la condición de los dispositivos, los prende o apaga y comanda al robot para ejecutar subrutinas.

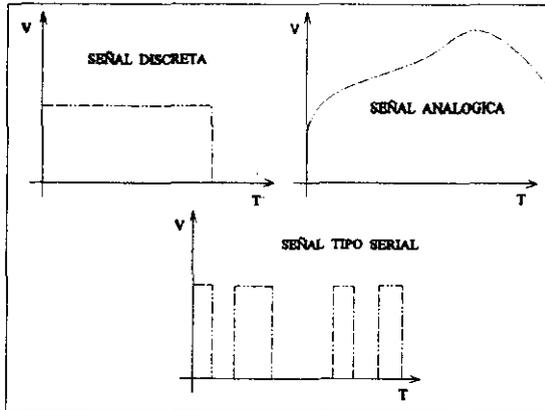
2. Proporcionar interfaces de entrada y salida (I/O). Las interfaces I/O permiten al controlador comunicarse con los dispositivos, así como, a los operadores comunicarse con el controlador. Las entradas (Input) son usadas para recibir mensajes mientras que las salidas (Output) se emplean para dar comandos. Las señales pueden ser del tipo discretas, analógicas o seriales. Cada una con sus ventajas y desventajas.

Señales discretas. Estas señales se caracterizan por manejar sólo dos estados en las señales prendido o apagado. Con estas señales pueden comunicar un estatus como: proximidad, límites, etc. Las señales discretas manejan usualmente 24 en CD o 110 CA. Las señales discretas tienen la más rápida respuesta y una alta fiabilidad, sus desventajas radican en que pueden comunicar sólo un evento (prendido o apagado), de tal manera que requieren un numeroso cableado para hacer funcional a este tipo de señales.

Señales analógicas. Para transmitir este tipo de señales es necesario variar su voltaje en forma proporcional al fenómeno leído por los sensores. Por ejemplo, un sensor de temperaturas transmitirá altos voltajes para altas temperaturas y bajos voltajes para bajas temperaturas. Las señales analógicas son empleadas para medir y controlar valores como fuerza, temperatura, posición y velocidad.

Señales de tipo serial. La comunicación serial emplea un conjunto de señales de tipo prendido o apagado (bits) transmitidas en unintervalos específicos de tiempo que una computadora lee e interpreta. Estas señales pueden ser transmitidas en varios tipo de cables, fibras ópticas, líneas telefónicas y cable coaxial. En general, el medio más costoso provee

mayores rangos de transmisión. La comunicación serial es ideal para la transmisión de datos como archivos, resultados paramétricos, códigos de barras y comunicación entre otras computadoras. Una desventaja de esta tecnología de transmisión de datos es la baja velocidad con la cual son transmitidos.



IV.4 EJEMPLO DE GRAFICAS PARA LOS TRES TIPOS DE SEÑALES

3. Proporcionar diagnósticos. Al proporcionar una serie de diagnósticos el sistema de control auxilia al personal en la reparación y mantenimiento del sistema robotizado. No todos los sistemas de diagnósticos son capaces de reportar cada una de las fallas que se presenten en la célula de manufactura.

Algunos mensajes típicos de diagnósticos, son:

- El efector del robot no está transportando pieza alguna.
- El robot no ubica al torno.
- El efector del robot tiene una parte errónea.
- No hay más partes que procesar.
- Falla en el torno de control numérico.

IV. 4. 1 Niveles de control en los sistemas automatizados

Los sistemas robotizados pueden tener de uno hasta cuatro o más niveles de control, dependiendo de la complejidad del sistema. El más bajo nivel de control provee un tiempo real de control de movimiento para dispositivos como el robot o máquinas herramientas por control numérico. Las computadoras personales o microcomputadoras son ideales para altos niveles de control ya que proveen un rápido procesamiento de datos, el plan de producción y una lista de requerimientos para la fabricación. En el siguiente cuadro, se presentan los principales niveles de control con sus respectivos tiempos de respuestas y número de usuarios.

NIVEL DE CONTROL	TIEMPO DE RESPUESTA POR EVENTOS	NUMERO DE USUARIOS
A. Controlador de Dispositivo.	Milisegundos.	1 - 2
B. Controlador de Célula de Trabajo	Milisegundos a segundos	1 - 10
C. Controlador de Area.	Segundos a minutos.	10 - 100
D. Controlador de Planta	Segundos a horas.	10 - 1000

A. Controlador de Dispositivo. El controlador de dispositivo es el nivel más simple de control, estos tipos de controladores proveen usualmente un control de tiempo real; una respuesta con un tiempo bastante corto, por ejemplo, 3 milisegundos son necesarios para prevenir al dispositivo de un probable error. Los sistemas de control delegan la mayoría del control de las tareas a los controladores de bajo nivel para evitar así una sobre carga de trabajo a las computadoras de alto nivel. Un ejemplo de controlador es el de una banda o el de una mesa rotatoria.

B. Controlador de una Célula de Trabajo. El controlador de una célula de trabajo comanda varios dispositivos que llevan a cabo sus respectivas tareas. Puede controlar dispositivos como el mismo robot, herramientas de control numérico, instrumentos de prueba que tengan sus propios controladores, o puede controlar directamente algunos dispositivos como bandas y mesas rotatorias que no cuenten con sus propios controladores.

Control de Dispositivos Inteligentes. Un dispositivo inteligente, dentro de éste contexto, son dispositivos que cuentan con sus propios controladores; de tal manera que no requieren de otros controladores que les indiquen como desempeñar sus respectivos movimientos. Por ejemplo, el controlador de un robot sabe como mover el brazo de un punto a otro, el de un torno de control numérico sabe controlar su velocidad angular y los movimientos requeridos para la herramienta cortante.

El controlador de la célula de trabajo *coordina* y supervisa a los dispositivos inteligentes. En términos generales, el controlador de la célula de trabajo les dice a los otros dispositivos :

- * que programas ejecutar;
- * cuando iniciar y detener el programa;
- * que máquinas están listas;
- * que fallas se han detectado.

Se ha delegado la mayor cantidad de decisiones posibles a los controladores de los dispositivos, para que de esta manera, se prevenga una sobrecarga al controlador de la célula de trabajo.

Control de Dispositivos sin Inteligencia. Los dispositivos sin inteligencia, como es de suponerse, son dispositivos que no cuentan con su propio controlador. Estos son controlados completamente por el controlador de la célula de trabajo. Todas las entradas y salidas de los dispositivos sensoriales como válvulas solenoides o arrancadores de motores son cableados directamente al controlador de la célula de trabajo. Algunos dispositivos que pueden ser controlados de esta forma son bandas, mesas rotatorias y vallas de seguridad.

C. Controlador de área. El controlador de área provee un control central y coordinación entre las células de manufactura. Desempeña tareas como:

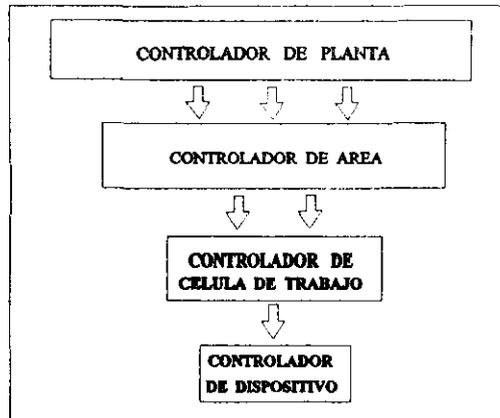
- a) monitoreo de procesos;
- b) flujo de materiales entre las células de manufactura.
- c) recolección de datos.

a) Monitoreo de procesos. El controlador de área muestra y almacena el estatus del sistema así como aquellos eventos significantes. También puede realizar trabajos de control de calidad para el sistema. El controlador de área es capaz de controlar la secuencia de operaciones para producir o armar un producto lo que implica que pueda iniciar o detener procesos específicos o descargar programas del controlador de una célula de trabajo.

b) Flujo de materiales. El controlador de área también direcciona el flujo de materiales entre las células de trabajo. Cuando las células de trabajo están sin partes que procesar o listas para enviar material a la siguiente célula de manufactura éstas son notificadas al controlador de área, de esta forma, el controlador de área decide hacia donde enviar el producto o donde obtener el material requerido.

Colección de Datos. El controlador de área es capaz de generar una base de datos para la colección de información como resultado de pruebas, números de series, números de lotes, entre otros.

D. Controlador de Planta. El controlador de planta conecta a los controladores de área hacia las computadoras de los Sistemas de Información para la Manufactura (MIS). El controlador de planta comunica a la programación de alto nivel, así como a las tareas de requerimientos de materiales hacia y de los controladores de área. El controlador de planta puede estar comunicado con otras áreas de la compañía por medio del sistema de red local con lo que es posible que determine los productos que serán manufacturados, las cantidades de producción, y las fechas de terminación de los productos. Otras tareas como control de almacenes, requerimientos de materiales, etc. pueden ser desempeñadas por el controlador de planta.



IV.4.1 NIVELES DE CONTROL EN LA PLANTA

IV. 4. 2. Sistemas de control

A. El robot como controlador de la célula de trabajo

Varios controladores de robots pueden ser empleados como controladores de las células de trabajo. En este tipo de configuración todos los dispositivos de campo como bandas, alimentadores de partes, paneles de control y máquinas de control numérico actúan como "esclavos" del controlador del robot (Fig. IV.4.2.A). Varios robots pueden trabajar en serie para formar un "sistema de robots". Cada robot controla los dispositivos y sistemas para el manejo de materiales que se encuentran en su vecindad inmediata. Cuando un robot ha finalizado sus tareas transfiere el material a la siguiente célula de manufactura para la operación subsecuente. Los robots no tienen que comunicarse unos con otros ya que cada robot controla su propia área de trabajo como una entidad independiente.

Equipo Eléctrico. Todos los dispositivos están conectados directamente a las entradas y salidas del controlador del robot. El controlador lee y analiza la información para tomar las decisiones correctas encaminadas al control de todos los dispositivos de la célula de manufactura. El controlador emplea una combinación de conectores e interfaces para la entrada y salida de cables. El controlador del robot también consta de varias ranuras donde se conectan las tarjetas de entrada y salida de cables, los cables de los dispositivos son conducidos y conectados a las tarjetas terminales del controlador del robot.

El operador se comunica con el controlador del robot mediante un monitor y un teclado conectado al controlador, o a través de la caja de enseñanza "Teach Pendant". Los anteriores dispositivos permiten al operador iniciar un ciclo, seleccionar programas, verificar estatus y desempeñar otras tareas necesarias para la operación del equipo.

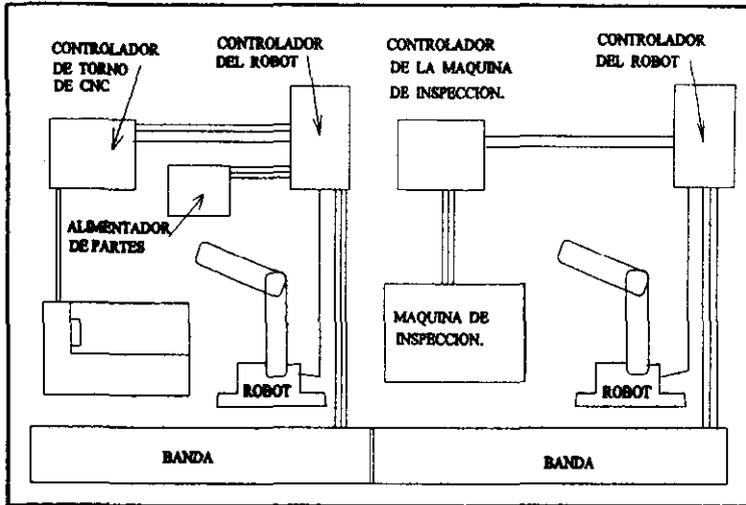


FIG. IV. 4. 2. A. EL ROBOT COMO CONTROLADOR DE LA CELULA DE TRABAJO

Lenguajes de programación. Los lenguajes son generalmente de alto nivel similares al BASIC o FORTRAN. Cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación. Algunas afirmaciones y funciones soportadas por la mayoría de los lenguajes para robots son:

- * IF.....THEN.....ELSE
- * DO.....WHILE
- * DO.....UNTIL
- * GO TO
- * Operaciones matemáticas
- * Operaciones trigonométricas
- * Operadores de relación

Ventajas de emplear al controlador del robot como controlador de la célula

- * Bajos costos ya que se emplean pocos componentes de hardware. No se requieren controladores adicionales.
- * Fácil de limpiar errores ya que cada célula de trabajo puede ser operada independientemente de otros.

Desventajas de utilizar el controlador del robot como controlador de la célula

- * Cada controlador de robot debe tener el programa manualmente seleccionado e iniciado para operar la célula de manufactura.
- * El controlador del robot debe tener suficiente poder de programación, software y una capacidad de entrada y salida para arrancar a los dispositivos sin excesivos tiempos muertos.

B. Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC, fig.IV.4.2) puede utilizar señales de entrada y salida de tipo discretas o analógicas para el control de una célula de manufactura o sistema. El PLC es una computadora especialmente diseñada para controlar cientos de señales (I/O) con extrema rapidez y cortos tiempos de respuesta.

Equipo Eléctrico. Los PLC utilizan cables como medio de comunicación con los diferentes dispositivos, utilizan también tarjetas de comunicación de entrada y salida de datos a las cuales se conectan los cables. Los operadores se pueden comunicar con el PLC a través de interruptores, pantallas y teclados. El panel de control del operador puede contener varios botones e interruptores de selección destinados a funciones específicas como inicio de ciclos, funciones simples, reinicio de ciclo, o enseñanza manual de los dispositivos. Para los sistemas complejos el costo de las pantallas con teclados es menor que los paneles de control con varios interruptores y botones. Computadoras personales pueden ser conectadas a los PLC para el manejo de información como la salida de los sistemas y datos estadísticos.

Lenguajes de Programación. El PLC utiliza "lenguajes lógicos escalonados" que se derivan de los lenguajes usados con relevadores lógicos. Algunos PLC pueden ser programados en lenguaje BASIC.

Ventajas de utilizar un PLC como controlador de una célula de trabajo

- * Tiempo de exploración para la actualización de salidas y entradas 10 veces más rápido que con las computadoras personales o minicomputadoras.
- * Habilidad de manejar muchas salidas y entradas con un rápido tiempo de respuesta.
- * Múltiples robots pueden estar interconectados a un PLC central que selecciona el programa del robot y automáticamente lo arranca.
- * La mayoría del personal de mantenimiento está familiarizado con este tipo de equipo ya que los PLC son ampliamente usados en la industria.

Desventajas del uso de PLC como controlador de una célula de manufactura

- * Las señales discretas I/O del sistema requieren un extenso cableado entre los dispositivos. Una aplicación podría requerir miles de cables para conectar todos los dispositivos. El cableado extenso cuesta más, requiere más tiempo para su instalación así como para su mantenimiento.
- * Los PLC tienen menos memoria que los sistemas controlados por minicomputadoras o computadoras personales.

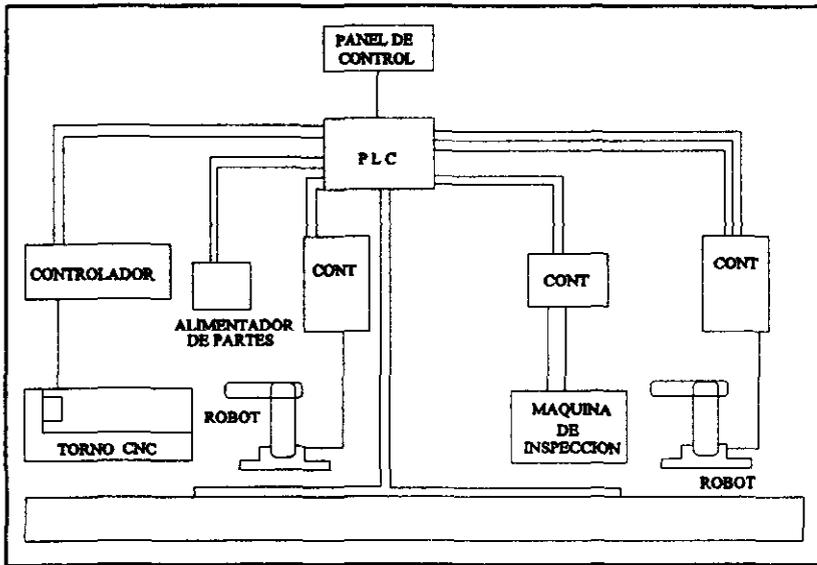


FIG. IV. 4. 2. B EL PLC COMO CONTROLADOR DE LA CELULA DE MANUFACTURA

C. Control de una célula de trabajo con red de área local (LAN)

Todas las señales I/O de los dispositivos pueden ser conectadas hacia el controlador de una célula de trabajo a través de una red de área local (LAN). En las LAN's toda la comunicación entre los dispositivos se transmite como una señal de comunicación serial en bus (dispositivos en serie) o token ring (dispositivos en estrella). Todos los dispositivos son conectados a un nodo (Fig. IV.4.2.C)

Un nodo es un "aparato inteligente" que permite a los dispositivos como robots, PLC's, impresoras y controladores comunicarse a través del bus. El nodo tiene la

función de filtrar los mensajes del bus que interesen sólo al dispositivo conectado a éste. En lugar de utilizar cientos de cables para comunicar cada señal (I/O) discreta al dispositivo, un simple cable serial mantiene a los nodos comunicados.

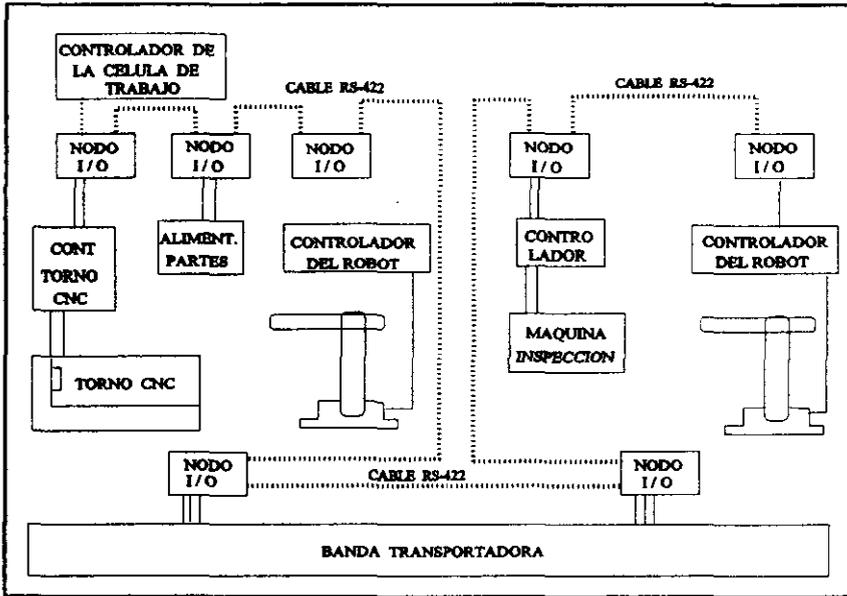


FIG. IV. 4. 2. C CELULA DE TRABAJO CONTROLADA MEDIANTE LAN

Un nodo (I/O) es utilizado para comunicar información (I/O) del tipo discreta o analógica en el bus. El nodo transforma la información en señales del tipo serial y las conduce hacia el controlador de la célula de trabajo. El controlador de la célula de trabajo busca constantemente cualquier mensaje de todos los nodos (I/O) uno a la vez. Cuando el controlador lee un mensaje de algún nodo (I/O) envía un nuevo comando para controlar las salidas discretas o analógicas que se generen.

Equipo Eléctrico. Una minicomputadora, computadora personal o controlador puede servir como controlador de la estación de trabajo. Las señales (I/O) discretas o analógicas son cableadas hacia una caja o tarjeta llamada *nodo* (I/O). Un cable serial conecta el nodo con el controlador. Un cable RS-422 es usualmente empleado para mantener los nodos (I/O) juntos, el cable RS-422 consiste en un par trenzado de cables con una protección aterrizada. Este cable es permeable al ruido eléctrico y puede extenderse a grandes distancias.

Lenguajes de programación. Es posible emplear lenguajes de alto nivel como el lenguaje C para el control del sistema. Múltiples paquetes de software estandar están disponibles para el control de señales (I/O), generar pantallas, y comunicarse con otros dispositivos [10].

Cuando un controlador programable es empleado como controlador de la estación de trabajo la programación se efectúa en Basic.

Ventajas del empleo de las LAN

- * Disminución considerable de cables entre los dispositivos por lo que el tiempo de instalación y costos también se reducen en este aspecto.
- * El tiempo de reparaciones también se reduce ya que la probabilidad de fallas por falsos contactos en los cables se aminora considerablemente.

Desventajas del empleo de las LAN

- * El costo del hardware eléctrico es mucho mayor por la adquisición de los nodos (I/O).
- * El tiempo de respuesta puede ser mucho mayor que en los sistemas de cableado directo.

D. Control de una célula de manufactura mediante múltiples niveles de redes.

Se puede proveer un alto nivel de control de un sistema robotizado mediante varios niveles de LAN's. Una LAN conecta los controladores de la célula de trabajo hacia el controlador de área. Una segunda LAN por encima de los controladores de área conecta a dichos controladores con un servidor (Fig. IV.4.2.D), donde los comandos del servidor rigen en última instancia a los sistemas robotizados. El servidor descarga los programas de producción al controlador de área, y se enlaza con otra LAN la cual contiene las computadoras con el Sistema de Información de Manufactura (MIS).

Los controladores de las células de manufactura pueden ser controladores de robots, controladores programables, minicomputadoras o computadoras personales. Todos los controladores de las células de manufactura deben tener comunicación serial a nivel hardware y software para que de esta manera se puedan comunicar en la LAN con el controlador de área que los supervisa.

El sistema de redes debidamente comunicadas, funcionando bajo el mismo protocolo y con el software indicado llegan a conformar una poderosa herramienta de producción que integra cada departamento de la empresa.

Ventajas del empleo de múltiples niveles de redes

- * Es posible una integración total de la mayoría de los sistemas de la empresa como las áreas de negocios y manufactura.
- * El flujo de información es instantáneo por lo que los últimos diseños en ingeniería, como archivos en CAD, pueden ser descargados dentro de la máquina de control numérico.
- * El sistema puede ser controlado desde una computadora central. Los operadores no tienen que desplazarse hasta los dispositivos para su control o selección de programas.
- * Parámetros críticos del proceso y varianzas en la producción, pueden ser documentados exactamente.

Desventajas del empleo de los múltiples niveles de redes

- Un gran capital debe ser invertido para implementar un sistema de éstas características.
- La falla en alguna computadora crítica puede causar largas demoras en algunas o varias áreas de la planta

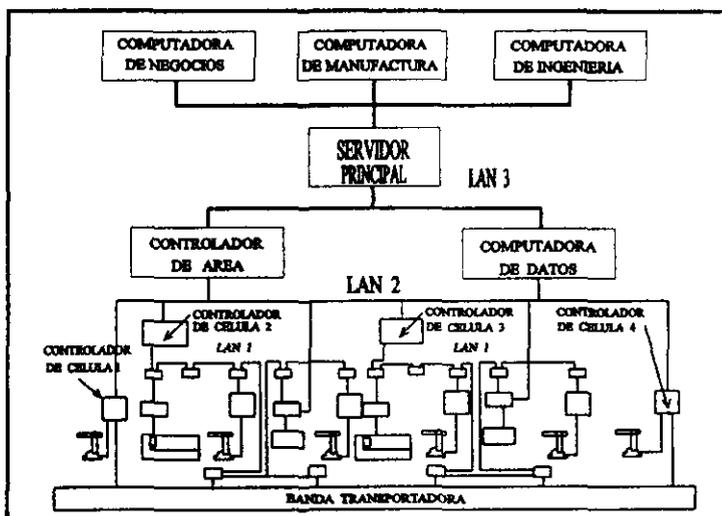


FIG. IV. 4. 2. D CONTROL DE UNA CELULA MEDIANTE MULTIPLES NIVELES DE REDES

V. EL TIEMPO CICLO DEL ROBOT

El tiempo ciclo de un sistema está determinado por la operación más tardada, misma que determina la tasa de producción. Por lo tanto la cantidad de tiempo necesario para cumplir el ciclo de trabajo es un parámetro que debe considerarse como un factor significativo en el éxito económico de la célula de manufactura robotizada, automatizada por otros medios o aquella que sea realizada manualmente.

Para optimizar el tiempo ciclo de una célula de manufactura robotizada es necesario proceder a un análisis de tiempos de movimientos y operaciones similar a la que se realiza en los operadores humanos y que en la ingeniería industrial se conoce como *Métodos de Tiempo de Medidas*, MTM. Esta técnica de análisis consiste en dividir el ciclo de trabajo del operador en sus elementos de movimientos básicos para asignar los valores de tiempo estándar a cada elemento, y luego obtener el tiempo de ciclo total. Los valores de tiempo estándar han sido tabulados previamente por otra gente, como resultado de varias observaciones hechas en otros sistemas similares, considerando también aquellos factores que influyen en la ejecución de las tareas.

Aplicando el mismo criterio del MTM, se ha desarrollado un método llamado *Robot Tiempo y Movimiento* RTM. Este método tiene por objetivo conocer la cantidad de tiempo requerida para cubrir un cierto ciclo de trabajo antes de programar e inclusive, seleccionar y adquirir al robot que habrá de desempeñar la tarea..

Los elementos de ciclo de trabajo se han clasificado en diez categorías generales con el fin de simplificar el análisis. Las diez categorías están a su vez integradas en cuatro grupos:

1. *Elementos de movimiento.* Estos son los movimientos referidos al manipulador o brazo del robot, realizados con carga o sin ella. Ejemplo: rotación del brazo, extensión del brazo y elevación del brazo.

2. *Elementos sensoriales.* Son las actividades sensoriales realizadas por los dispositivos con capacidades sensoriales que auxilian al robot en sus actividades. Ejemplo: captar la presencia de la pieza de trabajo, medir el nivel de la fuerza aplicada y leer la temperatura de la pieza de trabajo.

3. *Elementos de efectores finales.* Este grupo integra todas las acciones de pinzas o herramientas unidas a la muñeca del robot como efector final. Ejemplo: cerrar pinza o activar herramienta.

4. *Elementos de retardo.* Estos retardos son inherentes al procesamiento del ciclo de trabajo y condiciones de espera en las que el robot se encuentra inactivo. Ejemplo: torno CNC trabajando y controlador procesando información.

En la siguiente tabla se desglosa a detalle cada elemento del ciclo de trabajo, especificando cada parámetro asociado (distancia, velocidad, fuerza etc):

ELEMENTO	SIMBOLO	DEFINICION DEL ELEMENTO	PARAMETRO
1	Rn	Alcanzar segmento-n: mover el manipulador descargado a lo largo de un camino constituido por n segundos	Desplazamiento y velocidad
2	Mn	Mover segmento-n: mover el objeto a lo largo del camino constituido por n segundos	Desplazamiento y velocidad
3	ORn	Orientación del segmento- n: mover el manipulador para reorientar	Desplazamiento y velocidad
4	SEi	Parar en error de posición, llevar el manipulador a su posición de reposo sin anular errores de articulación	Acotación de error
5	SFi	Parar en fuerza o momento, parar manipulador cuando se cumplan condiciones de par o cuando se verifiquen las condiciones de contacto	Fuerza, par y contacto
6	VI	Operación de visión	Función de tiempo
7	GRi	Tomar un objeto, tomar objeto cerrando los dedos y tomar objeto centrandolo sobre la mano	Función de tiempo, distancia para abrir- cerrar
8	RE	Soltar objeto abriendo los dedos	
9	T	Retardar el proceso cuando el robot es parte del proceso	Función del tiempo
10	D	Retardar cuando el robot está esperando para la finalización de un proceso	Función del tiempo

Ciclo de trabajo del robot, CTR

$CTR = \text{Elementos de Movimiento} + \text{Elementos Sensoriales} + \text{Elementos de Efectores Finales} + \text{Elementos de Retardo}$

El ciclo de trabajo del robot quedará de esta forma dividido en sus elementos mínimos. El siguiente paso para optimizar el tiempo ciclo del robot consistirá en eliminar aquellos elementos innecesarios y/o condensar un conjunto de elementos en uno solo, con el fin de alcanzar el tiempo ciclo óptimo.

Estas mejoras podrían ir acompañadas con una serie de modificaciones en la distribución de la célula de manufactura, al igual que como se haría con una célula operada por un humano.

V.1 METODOS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO CICLO

Los autores contemplan cuatro métodos para determinar los tiempos de cada elemento y analizar un ciclo de robot con RTM.

1. *Uso de Tablas de Elementos.* Este tipo de análisis se apoya en el uso de tablas de elementos certificadas, las cuales contienen valores estandarizados similares a las tablas empleadas para el análisis del trabajo humano con MTM.

2. *Desarrollo de Ecuaciones de Regresión.* El desarrollo de ecuaciones de regresión está destinado a evaluar los elementos más complicados, cuyos valores están relacionados funcionalmente a algunos factores. Después de desarrolladas las ecuaciones o modelos matemáticos para un elemento dado, el usuario se limitará a sustituir los valores del factor en el modelo para obtener el tiempo del elemento. Este método ha sido aplicado en la medida del trabajo de operarios humanos.

3. *Control de Movimiento.* Este método es ideal para el análisis de los *elementos de movimiento* del robot. El control de movimiento se basa en el análisis cinemático y dinámico del movimiento del manipulador. Determina los valores de tiempo del elemento considerado, las distancias recorridas, la aceleración y velocidades necesarias para realizar el movimiento. Posteriormente se abundará sobre este tema.

4. *Geometría de la trayectoria.* Método similar al control de movimiento y requiere la especificación de la trayectoria que va a seguir el manipulador junto con las velocidades del brazo y las articulaciones del robot. La mayoría de los robots ejecutan sus movimientos por la actuación simultánea de sus articulaciones, predominando alguna de éstas ya que su movimiento relativo es mayor.

El tiempo ciclo del robot está en función directa de la velocidad. La velocidad óptima que el manipulador debe desarrollar es aquella que no rebase más del 80% de la velocidad máxima posible, ni aquella que sea tan leve que no logre alcanzar el tiempo ciclo del proceso. No es recomendable que el robot trabaje a más de un 80% de su velocidad máxima ya que la confiabilidad de los componentes mecánicos y eléctricos disminuye. La misma restricción se aplica para la carga que el robot maneje. La velocidad del robot en un tiempo dado está controlada por el programa o por la caja de enseñanza. Esto nos permite establecer una velocidad de operación óptima en el manipulador, en un movimiento o tarea dada [10].

Determinación del tiempo ciclo por control de movimiento

Durante el tiempo ciclo, el robot en cuestión se acelerará y desacelerará varias veces para alcanzar una velocidad determinada, por lo tanto la aceleración que pueda lograr el robot será determinante para que pueda desempeñar su tarea dentro del tiempo ciclo especificado. En algunos casos una gran velocidad será inútil si el robot es pobre en aceleración como se verá en el próximo análisis.

Si dos robots han sido diseñados o programados para alcanzar la misma velocidad, el robot más rápido será aquel que tenga una mayor aceleración. En algunos casos, el robot con una velocidad menor pero una mayor aceleración, puede alcanzar tiempos ciclos más rápido que un segundo robot que tenga una velocidad superior pero menor aceleración. Entonces, el tiempo ciclo del robot es función de la aceleración, velocidad máxima y tiempos de retardo de los servocontroladores.

Consideraciones:

- * La aceleración es la razón de cambio de la velocidad del robot con respecto al tiempo y determina el tiempo en el que alcanzará la velocidad máxima programada. La mayoría de los controladores proporcionan una aceleración constante a los actuadores. El monto de aceleración del robot es comúnmente proporcionado por el fabricante.
- * La máxima velocidad del robot es la más alta velocidad programada que el eje del robot debe alcanzar.
- * Los retardos de los servosistemas es la cantidad de tiempo que le toma a los servomotores iniciar su movimiento después de que reciben la señal de arranque del controlador. Dicho dato debe ser también proporcionado por el fabricante.
- * El retardo del controlador lógico es la cantidad de tiempo que pierde el robot en hacer decisiones lógicas. En la actualidad, dicho tiempo es prácticamente 0 (cero) gracias a procesadores cada vez más rápidos.

Análisis del tiempo ciclo basado en la velocidad y aceleración

En la figura V.1 se dan las gráficas de velocidad y aceleración de dos diferentes robots

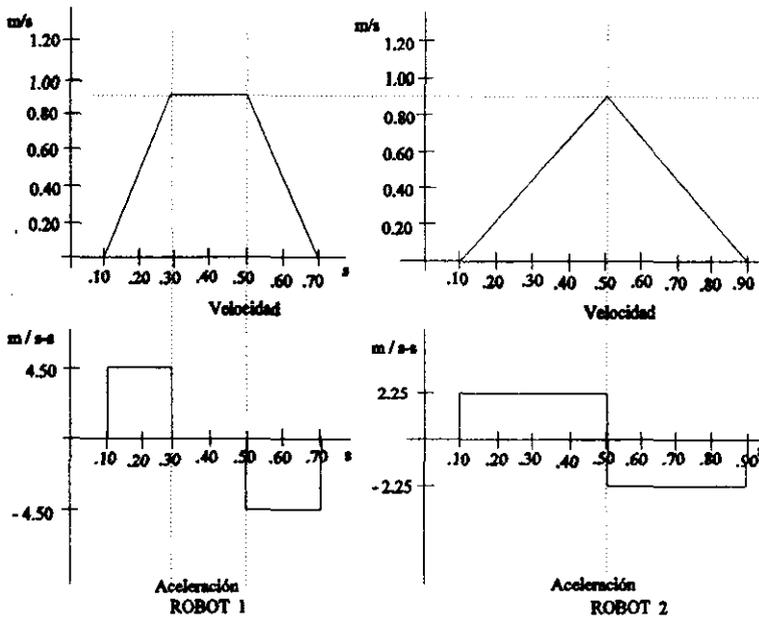


FIG. V. 1 Gráficas de aceleración y velocidad de dos diferentes robots

Como se puede observar, hay un servo-retardo de 0.10 s en ambos robots el cual está indicado en las cuatro gráficas. Para cuestiones prácticas la aceleración se considera como constante. El tiempo en el que el robot se acelera es el mismo que emplea para su desaceleración en ambos robots.

Analizando la gráfica del robot 2 se puede observar que no alcanza su máxima velocidad ya que la distancia que tiene que desplazarse es corta. En cambio, el robot 1 si logra alcanzar su máxima velocidad desplazándose así por 0.20 s antes de empezar a desacelerar. El tiempo ciclo del robot puede aproximarse empleando las siguientes fórmulas, que difieren para los dos casos. En el caso 1, el robot sí logra alcanzar su máxima velocidad, en el caso 2, no lo logra.

$$D_{V_m} = V_m T_a \quad \text{Ec.1}$$

Caso 1. $D > D_{V_m}$

$$T = D/V_m + T_a + T_s \quad \text{Ec.2}$$

Caso 2. $D \leq D_{V_m}$

$$T = 2 \left[\frac{DT_a}{V_m} \right]^{1/2} + T_s \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

T	Tiempo en segundos en que el robot realiza un movimiento sencillo de eje.
T_s	Tiempo en segundos que le toma al servomotor iniciar el movimiento después de que recibe el comando.
D	Distancia viajada por el robot en metros o grados.
D_{V_m}	Dos veces la distancia mínima que el robot tiene que viajar en metros o grados para alcanzar su velocidad máxima; este valor determina si se utiliza el caso 1 o caso 2 o determina el tiempo del ciclo.
V_m	Velocidad máxima que el robot puede alcanzar en m/s o grados/s.
T_a	Tiempo que toma en segundos al robot para acelerar hasta la máxima velocidad.

Con base a los parámetros disponibles del fabricante del robot, como son aceleración, velocidad máxima y servo-retardos, generaremos una tabla de valores para determinar el tiempo ciclo del *robot 1* y del *robot 2*.

Ambos robots tendrán que desplazar su efector 0.360 m

Parámetros de los ejes lineales para cada robot

	Tiempo de Servo-retardos (Ts) (ms)	Tiempo de aceleración (Ta) (ms)	Tiempo de desaceleración (Td) (ms)	Velocidad Máxima (Vm) m/s
Robot 1	100	200	200	0.9
Robot 2	100	400	400	0.9

Tiempo Ciclo del Robot 1 (T)

En primer término calcularemos DV_m con la ecuación 1

$$D = 0.36 \text{ m}$$

$$DV_m = V_m T_a$$

Sustituyendo:

$$DV_m = 0.90 \text{ m/s} * 0.200 \text{ s} = 0.180 \text{ m}$$

Como $D > DV_m$ aplicaremos el *caso 1*

Sustituyendo en la ecuación 2

$$T = D/V_m + T_a + T_s$$

$$T = 0.360 \text{ m} / 0.90 \text{ m/s} + 0.200 \text{ s} + 0.100 \text{ s}$$

$T = 0.70 \text{ s}$

Por lo tanto, tomará 0.70 s al *robot 1* desplazar su efector 0.360 m en forma lineal. Es posible observar dicho valor en la anterior gráfica.

Tiempo Ciclo del Robot 2 (T)

De la misma manera calcularemos DV_m para el robot 2

$$D = 0.36 \text{ m}$$

$$DV_m = V_m T_a$$

Sustituyendo:

$$DV_m = 0.90 \text{ m/s} * 0.400 \text{ s} = 0.360 \text{ m}$$

Como $D = DV_m$ aplicaremos el *caso 2*

Sustituyendo en la ecuación 3.

$$T = 2 \left[\frac{DT_a}{V_m} \right]^{1/2} + T_s$$

$$T = 2 * \left((0.360 \text{ m} * 0.400 \text{ s}) / 0.90 \text{ m/s} \right)^{1/2} + 0.100 \text{ s}$$

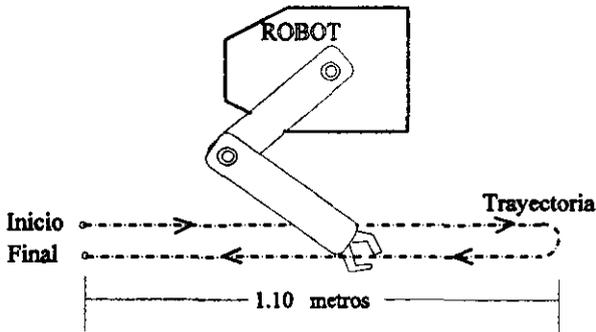
$$\boxed{T = 0.90 \text{ s}}$$

El robot 2 requerirá 0.90 s en desplazar su efector, la misma distancia que el robot 1, un 30 % más tardado que el robot 1. Esto resulta obvio si vemos que el robot 1 alcanza en tan solo 0.200 s su velocidad máxima, un 100% más rápido que el robot 2. No importando que ambos robots trabajen a la misma velocidad máxima de 0.90 m/s. De la misma forma se irán calculando los tiempos ciclos de cada elemento del movimiento del robot, el tiempo ciclo total será la suma del tiempo ciclo de cada elemento.

V.3 Un Método Directo Para Evaluar la Velocidad del Robot

Este método está basado en el registro directo del tiempo que requiere el robot en cuestión para completar un movimiento estándar. Para esto, se tiene que definir la trayectoria que seguirá el efector del robot, el punto de inicio y el punto final. Esta técnica considera implícitamente parámetros como servo-retardos y toda la dinámica de los servosistemas, lo que la hace más significativa que otros métodos.

En la siguiente figura se muestra el brazo de un robot ejecutando un movimiento simple, indicando también la trayectoria y los puntos de inicio y de salida.



Algunos robots comerciales de alta velocidad, podrían realizar este movimiento en menos de 3.5 segundos. Una desventaja de este método para calcular el tiempo ciclo del robot es que tiene que disponerse propiamente del robot para llevar a cabo dichas pruebas, situación que no siempre es posible sobre todo si los robots están en proceso de evaluación para determinar su adquisición.

Las variantes que se deben de tomar en cuenta al aplicar el método directo para determinar el tiempo ciclo del robot son:

- a) La carga de trabajo que transportará el efector que va desde la carga máxima hasta una carga prácticamente nula.

b) El tipo de movimiento que efectuará el brazo del robot que puede ser en línea recta, circular. "ruta continua" o " punto a punto ".

Caso práctico:

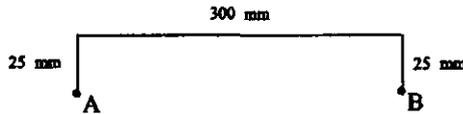
La empresa *ESHED ROBOTEC* desarrolló el modelo *PERFORMER-MK3* de guiado manual o enseñanza directa. Este robot tiene las siguientes características:

- Configuración:* Brazo articulado de 5 ejes
- Carga de trabajo:* 2 kg (3 kg a baja velocidad)
- Peso:* 32 kg.
- Alcance:* 700 mm
- Repetibilidad:* ± 0.04 mm

El fabricante muestra también un diagrama de la trayectoria que sigue el robot para determinar su *tiempo ciclo* a carga máxima el cual se muestra enseguida:

Tiempo Ciclo del PERFORMER MK 3

Tiempo Ciclo a carga total: 0.86 seg.



La ruta para el ciclo consiste de una línea recta en trayectoria continua del punto A al punto B y del punto B retornar nuevamente al punto A

En este caso particular el fabricante está mostrando mediante un folleto técnico publicitario las características de su robot comercial *PERFORMER-MK3*, este informe incluye un ciclo de trabajo real ejecutado por el robot.

CONCLUSIONES

Existen infinidad de barreras que superar antes de aprobar un proyecto de automatización vía robots, en las empresas de México y de muchos otros países. Inestabilidad e incertidumbre económica, sistemas administrativos burocratizados, ignorancia, escaso compromiso con la calidad, rechazo obrero a las máquinas automatizadas, miedo al cambio, en fin, siempre habrá razones que inhiban el crecimiento tecnológico en las plantas de producción, inclinándose éstas por lo seguro y tradicional.

En esta investigación de tesis, como podrá percibir el lector, se ha buscado proponer una metodología que conlleve al lector a desarrollar exitosamente un proyecto de robotización. Se ha eludido el análisis económico y financiero correspondiente a la gran inversión que generaría la robotización de una planta; no por menos importante, sino que se concentra en el aspecto tecnológico para poder de esta manera resaltar en una forma sencilla y convincente las bondades de los robots y demás equipo de automatización.

¿ Dónde se reflejan las ventajas de los robots ?, ¿ son éstas cuantificables ?. Si el empresario tuviera objetivos meramente financieros sus respuestas a las anteriores preguntas serían poco halagadoras, ya que el costo de inversión en equipo de automatización es relativamente alto pero debe tomar en cuenta que los robots son una herramienta, un medio para construir un sistema productivo regido por una política de *calidad*, de cero defectos permitiendo así que la empresa llegue a los más altos niveles competitivos.

Este documento puede ser una guía para estudiantes y académicos que pretendan de alguna manera visualizar los diferentes campos de la robótica desde un aspecto operativo y práctico; generándoles así, un mayor interés en los robots y un criterio más creativo e innovador sobre los potenciales de esta tecnología en aplicaciones industriales y didácticas. Por ende, se espera que esta investigación continúe en una aplicación de campo, que sea transferida de un enfoque general a uno particular y de las suposiciones a los hechos.

Un aspecto técnico que podría convertirse en el principal óbice de un proyecto de robotización es el del *manejo de materiales*, cuya dificultad puede presentarse desde la manera en la que se va a desplazar la pieza en las diferentes células de producción, hasta la forma en que se va a presentar y fijar al efector del robot. La dificultad radica propiamente en la infinidad de tamaños, formas y propiedades mecánicas que llegaría a adquirir la pieza de trabajo en los diferentes procesos de manufactura; dificultades similares podrían obstaculizar y retrasar en un momento dado el calendario de actividades en la robotización de la planta.

Como es bien sabido, los recursos humanos son básicos para dar soluciones rápidas a cualquier problema, por lo que se dedicó una sección de esta tesis a la manera en como las diferentes áreas de la empresa contribuirían a la robotización de la planta.

ANEXO

ALGUNOS ROBOTS DISPONIBLES

La empresa EMAC (Equipo y MAquinas Computarizadas) con dirección en Av. Río San Joaquín, No. 25, C.P. 53390, Naucalpan, Edo. de México es un importante proveedor de equipo para la automatización como máquinas herramientas CNC y robots para fines didácticos e industriales. Dicho equipo lo importa bajo pedido después de que el cliente ha emitido una orden de compra.

Esta empresa me proporcionó información técnica mediante folletos, en los cuales se describen las características de varios modelos de robots que fabrica una de las compañías más importantes de robots industriales en el mundo, *MOTOMAN*.

MOTOMAN ha clasificado sus diferentes modelos en 3 series a las que ha llamado:

K Series. Formada por 10 modelos de robots del tipo "brazo articulado verticalmente". Los modelos son: K3S, K6SB, K10S, K10SB, K10ASB, K30S, K60S, K100S, K120S, K150S y K205SB.

S Series. Está integrada por 3 modelos de robots del tipo SCARA o "brazo articulado horizontalmente". Los modelos son: S50S, S304SB/S604WSB y S304WSB/S604WSB.

H Series. Serie integrada sólo por un modelo de robot de coordenadas rectangulares, modelo H100S.

En el siguiente cuadro se sintetizan las características de cada robot por serie

<i>K Series</i>	Modelos				
	<i>K3S</i>	<i>K6SB</i>	<i>K10S</i>	<i>K10ASB</i>	<i>K30SB</i>
Grados de libertad	6	6	6	7	6
Alcance (mm)	859	1322	1555	1555	1787
Carga de trabajo (kg)	3	6	10	2	30
Peso (kg)	52	180	300	310	600
Repetibilidad (mm)	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2

<i>K Series</i>	Modelos (continuación)				
	<i>K60S</i>	<i>K100S</i>	<i>K120S</i>	<i>K150S</i>	<i>K205SB</i>
Grados de libertad	6	6	6	6	5
Alcance (mm)	2003	2387	2387	2387	1670
Carga de trabajo (kg)	60	100	120	150	20
Peso (kg)	980	1600	1630	1600	700
Repetibilidad (mm)	±0.3	±0.5	±0.5	±0.5	±0.3

Otras Características de los robots series K:

- * La mayoría de los robots de la serie K pueden ser montados tanto en el piso como en los muros y/o techos.
- * Los modelos K6SB, K10S y K30SB pueden ampliar su alcance a 1775 mm, 2577 mm y 1971 mm respectivamente mediante versiones mejoradas.

Aplicaciones recomendables

<i>Aplicaciones</i>	<i>K3S</i>	<i>K6SB</i>	<i>K10S</i>	<i>K10ASB</i>	<i>K30S</i>	<i>K60S</i>	<i>K100S</i>	<i>K120S</i>	<i>K150S</i>	<i>K205SB</i>
<i>Soldadura por arco</i>	*	*	*		*					
<i>Ensamblado</i>	*	*	*							
<i>Dispensado de materiales</i>		*	*		*					
<i>Corte de materiales (Láser, agua, plasma)</i>		*	*	*	*					
<i>Manejo de Materiales</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Remoción de materiales</i>			*	*	*	*	*	*	*	
<i>Soldadura por puntos</i>				*		*	*	*	*	
<i>Terminado de materiales</i>			*	*	*	*	*	*	*	
<i>Baño térmico</i>		*	*	*	*					

* Aplicable

<i>S Series</i>	<i>Modelos</i>		
	<i>S50S</i>	<i>S304SB/S604WSB</i>	<i>S304WSB/S604WSB</i>
Grados de libertad	4	4	4
Alcance (mm)	1315	1900	1900
Carga de trabajo (kg)	50	30	30
Peso (kg)	420	800	960
Repetibilidad (mm)	± 0.2	± 0.5	± 0.5

Aplicaciones recomendables:

<i>Aplicaciones</i>	<i>S50S</i>	<i>S304SB/S604WSB</i>	<i>S304WSB/S604WSB</i>
<i>Soldadura por arco</i>			
<i>Ensamblado</i>			
<i>Dispensado de materiales</i>			
<i>Corte de materiales (Láser, agua, plasma)</i>			
<i>Manejo de Materiales</i>	**	**	**
<i>Remoción de materiales</i>	*		
<i>Soldadura por puntos</i>	*		
<i>Terminado de materiales</i>	*		
<i>Baño térmico.</i>			

* Aplicable

Otras características de los robots de la serie S:

- * Arquitectura tipo SCARA (robot articulado horizontalmente), lo que los hace más compactos.
- * Ideales para el manejo de materiales.

<i>H Series</i>	Modelos
	<i>H100S</i>
Grados de libertad	4
Alcance (mm)	2000
Carga de trabajo (kg)	100
Peso (kg)	850
Repetibilidad (mm)	± 0.5

Otras Características de los robots de la serie H:

- * Diseño compacto para el manejo de cargas pesadas.
- * Alcanza hasta 1 m/s en los desplazamiento lineales.

Aplicaciones recomendables:

<i>Aplicaciones</i>	<i>H100S</i>
<i>Soldadura por arco</i>	
<i>Ensamblado</i>	*
<i>Dispensado de materiales</i>	
<i>Corte de materiales (Láser, agua, plasma)</i>	
<i>Manejo de Materiales</i>	*
<i>Remoción de materiales</i>	
<i>Soldadura por puntos</i>	*
<i>Terminado de materiales</i>	
<i>Baño térmico</i>	

* Aplicable

EL CONTROLADOR

Motoman también provee del controlador especialmente diseñado para cualquiera de los robots mostrados anteriormente de las series *K, S y H*. El controlador está denominado *YASNAC ERC* y tiene las siguientes características:

	Dimensiones (mm)
Altura total	1575
Ancho	700
Fondo	580

Características generales del controlador YASNAC ERC	
Sistema de enfriamiento	Indirecto
Temperatura ambiente	Operando: 0 °C a 45 °C Sin Operar: -10°C a 60 °C
Humedad relativa	Máxima 90 % (sin condensar)
Fuente de poder	3 fases 200/220 VAC ±10 % a 50/60 HZ
Resistencia a tierra	100Ω o menos, tierra exclusiva
Sistema de posicionamiento	Encoder absoluto
Unidades actuadoras (drives)	Motores Corriente Alterna
Aceleración	Por software de servo control
Capacidad de programación	2200 pasos y 1200 instrucciones

Funciones para su programación	
Programación	Programación interactiva
Lenguaje	INFORM, simple aun para el personal de la planta
Control del movimiento	Coordenadas por uniones, interpolación lineal y circular.
Instrucciones de control para programas	Salto, llamadas de subrutinas, temporizador, detención del robot, ejecución de algunas instrucciones durante el movimiento del robot.
Instrucciones (I/O)	Control I/O discreto, salida de control análogo, patrón de procesamiento I/O

Características de seguridad	
Modo seguro de enseñanza	Inhíbe la operación del panel mientras se le enseña al robot
Autodiagnóstico	Despliega mensajes de alarma y/o error.
Despliegue de alarmas para usuarios	Despliega mensajes de alarma de dispositivos periféricos.
Alto de seguridad	Detiene el movimiento del robot a la activación de cualquier alarma.

La anterior información expuesta contiene sólo algunas características elementales a considerar para la selección del robot y del controlador.

BIBLIOGRAFIA

1. Norton Harry N. *Sensores y Analizadores*.
Colección Electrónica /Informatica. Ed. Gustavo Gili, S.A.
2. Niebel Benjamin. *Ingeniería Industrial, Métodos, Tiempos y Movimientos*.
Ed. Alfa Omega
3. Oficina Internacional del Trabajo. *Introducción al Estudio del Trabajo*.
Ed. Noriega Limusa
4. A How-To Handbook for Managers. *Cost-Justifying Automation*.
Technical Insights, Inc.
5. Arthur J. Critchlow. *Introduction to Robotics*.
Macmillan Publishing Company N,Y
6. Koren Yoram. *Robotics For Engineers*.
Mc Graw-Hill Publishing Company
7. Zeldman Maurice L. *What Every Engineer Should Know About Robots*.
Editor William H. Middendorf.
8. Groover Mikel P. , Mitchell W., Nagel Roger N. , G. O. Nicolas
Robótica Industrial, Tecnología, Programación y Aplicaciones.
Mc Graw- Hill

9. Schroeder Roger G. *Administración de Operaciones.*
Mc Graw - Hill

10. Hoshizaki Jon and Bopp Emily. *Robot Applications Design Manual.*
A Wiley - Interscience Publication

11. Ulrich Scharer Sauberli, José A. Rico Mora, Joaquín Cruz Sánchez y
Leonides Solares Gerardo. *Ingeniería de Manufactura.*
Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.

12. C. Ray Asfahl. *Robots and Manufacturing Automation.*
John Wiley & Sons, Inc.