



D-10203



T
629.892
D259

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA



BIBLIOTECA

“Estudio de la Robótica Industrial y Análisis de la Implantación de Sistemas Robotizados en la Ciudad de Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: **ELECTRONICA**

Presentada por:

VICENTE TOMAS DAVILA GARCIA

Guayaquil - Ecuador

1990

AGRADECIMIENTO

Al ING. JAIME SANTORO DONOSO,
como profesor: por la excelente
formación que me dió, y como
director de esta tesis: por su
valiosa ayuda.

Al SR. JORGE VAZQUEZ DONOSO y
a su padre: por su colaboración
invalorable y sobre todo muy
sacrificada en la elaboración de
esta tesis.

A la familia SILVA TAYO: por la
confianza que me brindaron y en
especial a JACKSON: sin su
inmensa cooperación no hubiese
sido posible realizar este
trabajo.

DEDICATORIA

Al LCDO. TOMAS DAVILA FREIRE y a la
SRA. MARIA ELENA GARCIA DE DAVILA:
mis padres.



Ing. Jorge Flores Macías

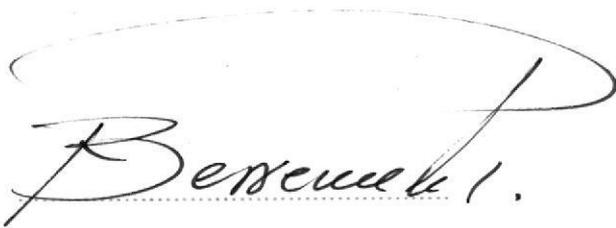
SUBDECANO

Facultad de Ingeniería Eléctrica



Ing. Jaime Santoro Donoso

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Rodrigo Berrezueta P.

MIEMBRO PRINCIPAL



Ing. Hugo Villavicencio V.

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



VICENTE TOMAS DAVILA GARCIA

RESUMEN

En primer lugar, este trabajo comienza con una teoría consistente que abarca el estudio de los fundamentos de la Robótica industrial y de las aplicaciones de los robots en diversas áreas industriales.

Luego se dan los pasos que deben seguirse para hacer un análisis económico en Robótica. El objetivo de esto, es el de ayudar al futuro usuario de robots, para que pueda evaluar un proyecto, de una forma rápida y simple sobre una base financiera aproximada. Este estudio es de suma importancia debido a que su resultado nos indicará que tan bueno es el proyecto, en lo que se refiere a la ventaja del mismo, en relación con la situación actual.

Pero cabe indicar, que no sólo se hacen consideraciones de tipo económico, sino que además se consideran los aspectos técnicos implicados en una instalación robotizada. Es por este motivo, que se incluye un capítulo dedicado al estudio de la implantación de robots. Este capítulo presenta los diversos problemas que se encuentran antes, durante y después de la instalación de un proyecto robotizado

El último capítulo trata acerca de una investigación en dos industrias de la ciudad de Guayaquil, acerca de la posibilidad de instalar uno o varios robots en sus plantas. La información obtenida

en dichas industrias será la base para seleccionar a una de ellas. Es importante anotar, que este capítulo hace énfasis fundamentalmente a los factores que deben ser tomados en cuenta a fin de que el proyecto en la industria elegida, tenga éxito. La elección del mejor robot, usando un proceso sistemático; la planificación de la instalación del robot y las medidas de seguridad que se deben de tomar, son algunos de los principales temas que se enfocan en el capítulo final.



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCION	17
CAPITULO I	
LA ROBOTICA INDUSTRIAL: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIA Y	
APLICACIONES	19
1.1. ESTRUCTURA MECANICA DE LOS ROBOTS	19
1.2. METODOS DE CONTROL Y ELEMENTOS MOTRICES DE LOS ROBOTS	32
1.3. ELEMENTOS TERMINALES DEL ROBOT	41
1.3.1. TIPOS DE ELEMENTOS TERMINALES	42
1.3.2. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS DE OPERACION	43
1.3.3. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS EN MANIPULACION	44
1.3.4. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS DE MONTAJE	46
1.4. ELEMENTOS SENSORES EN ROBOTS	52
1.5. SOFTWARE EN ROBOTICA	57
1.6. APLICACIONES DE LOS ROBOTS	62
1.6.1. PROCESADO	62
1.6.1.1. SOLDADURA	63
1.6.1.2. TRATAMIENTO DE SUPERFICIES	65

	Pág.
1.6.1.3. MECANIZADO	69
1.6.2. MANIPULACION	72
1.6.2.1. ENSAMBLAJE	72
1.6.2.2. ALIMENTACION DE MAQUINARIAS	77
1.6.2.3. TRANSPORTE DE PIEZAS	81
1.6.2.4. PALETIZACION	82
1.6.2.5. EMBALAJE	83
1.6.2.6. FABRICACION	85
1.6.3. SECTORES INDUSTRIALES DE APLICACION	87
 CAPITULO II	
ANALISIS ECONOMICO EN ROBOTICA	90
2.1. CONSIDERACIONES IMPORTANTES	90
2.2. METODOS DE ANALISIS ECONOMICO	92
2.2.1. JUSTIFICACION ECONOMICA	101
2.2.2. ANALISIS ECONOMICO DETALLADO	101
 CAPITULO III	
IMPLANTACION DE SISTEMAS ROBOTIZADOS	121
3.1. INVESTIGACION	121
3.2. PLANIFICACION Y EVALUACION	131
3.3. DETERMINACION DEL SISTEMA	134
3.3.1. SELECCION DEL ROBOT	137
3.4. PLANIFICACION DE LA INSTALACION DEL ROBOT	162
3.5. INSTALACION Y ACOPLAMIENTO DEL ROBOT EN UNA INDUSTRIA	168
3.5.1. DISTRIBUCION EN PLANTA	169

	Pág.
3.5.2. UTILIZACION Y CONFIGURACION DE TRABAJO	171
3.5.3. MODIFICACIONES EN LA TAREA	172
3.6. CONSIDERACIONES FINALES	173
CAPITULO IV	
INVESTIGACION EN INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL ACERCA DE LOS CAMPOS DE UTILIZACION QUE PODRIAN TENER LOS ROBOTS, HACIENDO UN ANALISIS DE LA POSIBILIDAD DE IMPLANTACION DE ELLOS	
	186
4.1. SELECCION DE UNA INDUSTRIA POR LA CONSIDERACION DE CIERTOS FACTORES	193
4.1.1. ANALISIS ECONOMICO	213
4.1.2. IMPLANTACION DE ROBOTS EN LA INDUSTRIA SELECCIONADA	226
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	231
APENDICE	233
BIBLIOGRAFIA	238

INDICE DE FIGURAS

Nº		Pág.
1	DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESTRUCTURA GENERAL DE UN ROBOT	20
2	ROBOT INDUSTRIAL CON SEIS GRADOS DE LIBERTAD	23
3	LAS CUATRO ANATOMIAS BASICAS DE UN ROBOT	24
4	TIPOS DE ARTICULACIONES	25
5	ESPACIO DE TRABAJO DE UN ROBOT. (a) ESPACIOS DE TRABAJO PARA DIFERENTES ANATOMIAS DE UN ROBOT: (a.1) POLAR, (a.2) CILINDRICA y (a.3) CARTESIANA; (b) ESPACIO DE TRABAJO DE UN ROBOT FABRICADO POR CINCINNATI MILACRON	28
6	LAZOS DE CONTROL PARA UN ROBOT QUE USA MOTORES DC: (a) CON AMPLIFICADOR DE CORRIENTE, (b) CON AMPLIFICADOR DE VOLTAJE	33
7	UTILES USADOS EN ROBOTS ASEA: (a) PARA SOLDADURA POR PUNTOS, (b) PARA SOLDADURA POR ARCO Y (c) PARA ACABADOS	45
8	HERRAMIENTAS PARA ROBOTS EN MANIPULACION: (a) MANO DE SUJECION USADA EN FORJA, (b) MANO DE TRES DEDOS	47
9	DIAGRAMAS QUE MUESTRAN LAS CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN UNA TAREA DE MONTAJE: (a) ACHAFLANADOS PARA FACILITAR EL INICIO DE LA INSERCIÓN, (b) CORRECCION DE LA POSICION SEGUN EL	

Nº		Pág.
	ERROR DE POSICIONADO	48
10	ELEMENTO TERMINAL CON ELEMENTO ELASTICO	50
11	DISPOSITIVO DE ACOMODACION DEL CENTRO REMOTO (RCC): (a) GRAFICA DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, (b) FOTO DE UN RCC	51
12	ROBOTS DE SOLDADURA: (a) ROBOT DE SOLDADURA POR PUNTOS MONTADO PARA OPERAR SOBRE LA CARROCERIA DE UN AUTOMOVIL (ASEA), (b) ROBOT DE SOLDADURA POR ARCO (CINCINNATI MILACRON)	66
13	ROBOTS DE PINTURA: (a) ROBOT EJECUTANDO UNA OPERACION DE REVESTIMIENTO DE PINTURA, (b) ROBOT CON "TROMPA DE ELEFANTE".	68
14	ROBOT INDUSTRIAL IRB 60/2 DE ASEA	71
15	ESTACION DE ENSAMBLAJE CON DOS ROBOTS	74
16	ROBOT TIPO SCARA: (a) ILUSTRACION DEL ROBOT, (b) PROGRAMACION DEL ROBOT CON LA AYUDA DE UNA IBM PC	76
17	EJEMPLO DE CONFIGURACION DE UNA CELULA DE TRABAJO.	79
18	ROBOT REALIZANDO OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA	80
19	ROBOT REALIZANDO TAREAS DE DEPALETIZACION	84
20	CELULA DE TRABAJO APLICADA PARA ESCRIBIR DISKETTES	88
21	GRAFICA QUE SIRVE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE NIVELACION DE UNA INDUSTRIA	111

Nº		Pág.
22	GRAFICA DEL VAN VS. LA TASA DE DESCUENTO USADA PARA OBTENER LA TIR DEL PROYECTO	117
23	TIPOS DE CELULAS ROBOTIZADAS: (a) CON ROBOT EN LINEA, (b) CON ROBOT MOVIL	164
24	FOTO DE UNA BARRERA HECHA CON MALLAS METALICAS	178
25	UTILIZACION DEL ROBOT EN LAS TAREAS ELEGIDAS: (a) EN MONTAJE/DESMONTAJE DE UN MOLDE, (b) EN LA DESCARGA DE UNA MAQUINA	204
26	DISTRIBUCION DE LAS MAQUINAS DE INYECCION Y SOPLADO EN LAS PLANTAS DE INCAMEP S.A.: (a) ACTUAL, (b) CON ROBOT	214
27	GRAFICA QUE SIRVE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE NIVELACION DE INCAMEP S.A. AL IMPLANTAR UN ROBOT	223
28	ROBOTS IRB L6/G6 DE ABB: (a) FOTO DE LOS ROBOTS, (b) ESPACIOS DE TRABAJO	234
29	ROBOT IRB 90 DE ABB: (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO	235
30	ROBOT IRB 2000 DE ABB: (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO	236
31	ROBOT IRB 3000 DE ABB: (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO	237

INDICE DE TABLAS

Nº		Pág.
I	LENGUAJES MAS COMUNES USADOS EN ROBOTICA	61
II	PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS ROBOTS POR SECTORES INDUSTRIALES	89
III	FORMATO QUE CONTIENE LOS DATOS ESTIMADOS DEL PROYECTO PARA APLICAR EL METODO DEL VAN	108
IV	VALORES DEL VAN EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENTO t	115
V	VALORES DE t (CON SUS VAN) CALCULADOS POR EL METODO DE APROXIMACIONES SUCESIVAS PARA ENCONTRAR LA TIR	119
VI	CUESTIONARIO QUE INVESTIGA LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL	128
VII	INTERPRETACION DEL PUNTAJE NETO DEL CUESTIONARIO DE ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO	130
VIII	HOJA DE INFORMACION DE UNA ESTACION DE TRABAJO USADA EN LA REVISION DE LAS INSTALACIONES DE UNA INDUSTRIA	139

Nº		Pág.
IX	CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES	152
X	CARACTERISTICAS TECNICAS REQUERIDAS DE LOS ROBOTS PARA APLICACIONES SELECCIONADAS	159
XI	FORMATO USADO PARA COMPARAR LAS CARACTERISTICAS DE UNA APLICACION DE SOLDADURA POR ARCO CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CUATRO ROBOTS DIFERENTES	161
XII	CUESTIONARIO QUE INVESTIGO LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE DUREX C.A.	189
XIII	CUESTIONARIO QUE INVESTIGO LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE INCAMEP S.A.	194
XIV	CUESTIONARIO QUE SIRVIO PARA SELECCIONAR A UNA DE LAS DOS INDUSTRIAS INVESTIGADAS	196
XV	HOJA DE INFORMACION DE LA ESTACION DE TRABAJO USADA EN LA REVISION DE LAS INSTALACIONES DE INCAMEP S.A.	198
XVI	ROBOTS CANDIDATOS PARA LAS APLICACIONES SELECCIONADAS	207
XVII	FORMATO USADO PARA COMPARAR LAS CARACTERISTICAS DE LAS APLICACIONES	

Nº	Pág.
SELECCIONADAS CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS TRES ROBOTS CANDIDATOS QUE PERMANECIERON	211
XVIII COSTOS IMPLICADOS EN LA INVERSION FIJA DEL PROYECTO ROBOTIZADO A IMPLANTARSE EN INCAMEP S.A.	217
XIX FORMATO EMPLEADO PARA COMPARAR LA SITUACION ECONOMICA ACTUAL ESTIMADA DE INCAMEP CON LA QUE SE TENDRIA SI SE LLEGARA A IMPLANTAR UN ROBOT EN SUS PLANTAS	220
XX FORMATO QUE CONTIENE DATOS COMO COSTOS Y VALORES PROBABLES DE LOS INGRESOS QUE SE TENDRIAN AL IMPLANTAR UN ROBOT EN INCAMEP S.A.	221
XXI VALORES DEL VAN EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENTO t DEL PROYECTO	224
XXII VALORES DE t (CON SUS VAN) CALCULADOS POR EL METODO DE APROXIMACIONES SUCESIVAS PARA ENCONTRAR LA TIR DEL PROYECTO	225
XXIII CARACTERISTICAS DE ROBOTS FABRICADOS POR ABB (ASEA BROWN BOVERI)	233

INTRODUCCION

Hace muchos años aparecieron máquinas capaces de automatizar un proceso determinado, las cuales se usaron y se usan aún en nuestros días. Dichas máquinas eran diseñadas tomando en cuenta la labor que debían realizar, luego, se las construía con el fin de que ejecutaran después una función determinada.

Ante la falta de flexibilidad y muchas otras desventajas de una máquina que caiga dentro de las que previamente se mencionaron, hace algún tiempo, surgió la pregunta: ¿es posible diseñar y construir máquinas de uso general con varios grados de libertad en sus movimientos y que sean capaces de adaptarse a la automatización de un número muy variado de procesos?. Esta pregunta fue respondiéndose afirmativamente a través de los años, a tal punto, que hoy en día, existen robots que pueden "ver".

Por tanto, el diseño de un robot se lo hace tomando en cuenta, no la tarea o tareas que va a realizar, sino los diversos movimientos que debe poder efectuar; esto último se lo logra por medio de la programación.

La capacidad que tienen los robots para cambiar su ciclo de trabajo y la versatilidad que ellos presentan (que dependen del programa ejecutado y de los elementos terminales, respectivamente)

permiten que los mismos se adapten fácilmente a posibles cambios de los procesos de producción en una industria.

La Robótica es una materia interdisciplinaria, ya que en ella se unen conocimientos de: Ingeniería Mecánica (Estática, Dinámica, etc.), Ingeniería Electrónica (Electrónica, Microprocesadores, Control Automático, etc.) e Ingeniería de Sistemas.

Por otro lado, dejo constancia de que no es, ni ha sido mi intención en ningún momento favorecer o perjudicar a algún fabricante en particular, al haber elegido el robot modelo G6 de ABB. Por lo contrario, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a ABB, MITSUBISHI y TOSHIBA, que sin ninguna excusa ni egoísmo, prestaron una valiosa información para poder culminar esta tesis.

Espero y deseo que esta Tesis alcance el más noble objetivo: que nuestro país crezca tecnológicamente.

CAPITULO I

LA ROBOTICA INDUSTRIAL: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIA Y APLICACIONES

1.1. ESTRUCTURA MECANICA DE LOS ROBOTS

Un robot industrial es un manipulador mecánico reprogramable capaz de moverse en varias direcciones, el cual está equipado en su extremo con un dispositivo de trabajo llamado útil o herramienta y que es capaz de ejecutar trabajos que son monótonos, agotadores o peligrosos para el hombre. Lo último implica que un robot es multifuncional, es decir, que es capaz de realizar más de una tarea.

La Figura 1 muestra en diagrama de bloques, los elementos que conforman la estructura general de un robot. Dichos elementos son:

1. El sistema mecánico articulado o SMA, el cual comprende a los miembros del robot: brazos, articulaciones y elementos terminales.
2. Los elementos motrices, los cuales proveen la energía al

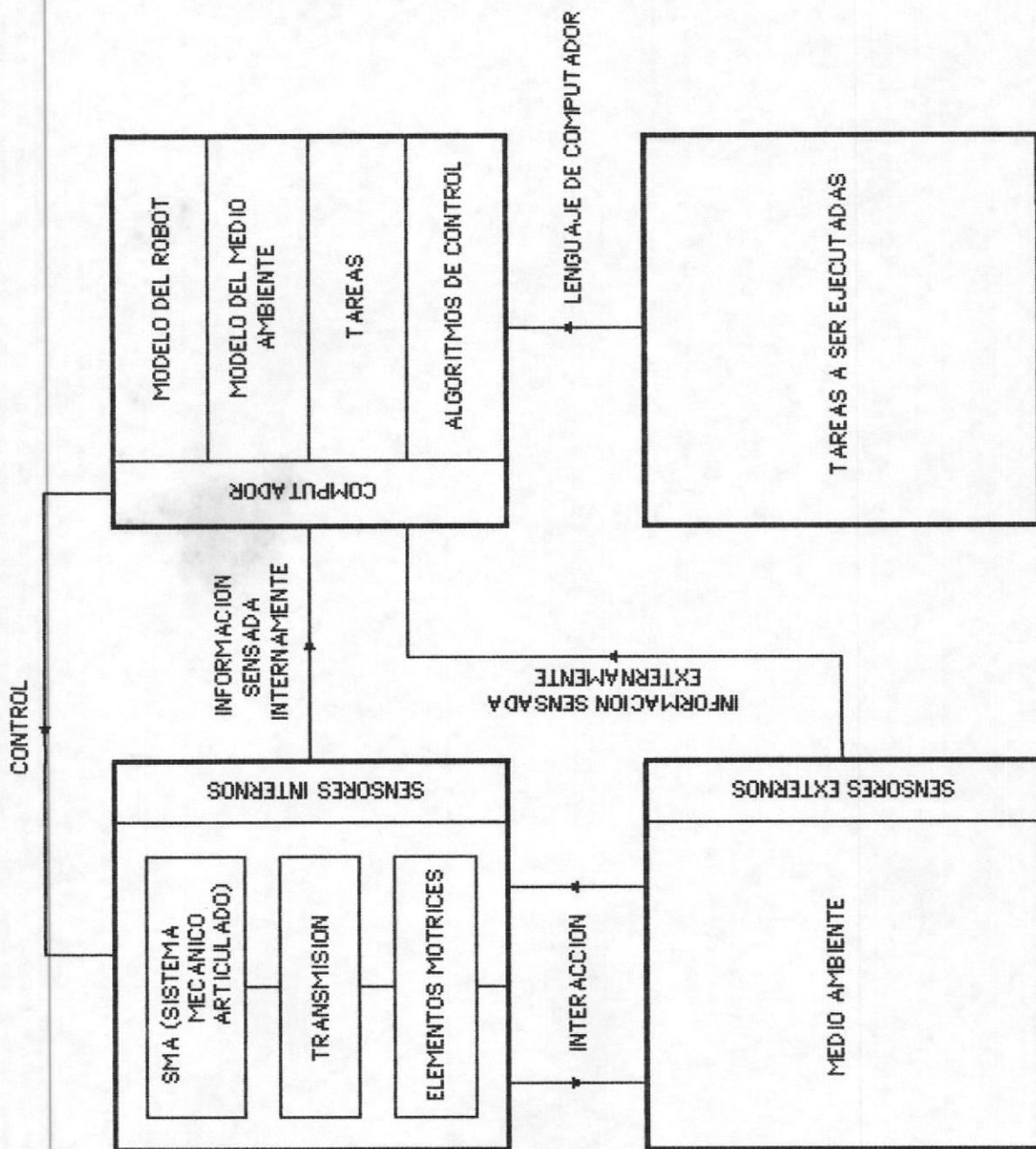


Fig. 1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESTRUCTURA GENERAL DE UN ROBOT

SMA. Dicha energía puede ser eléctrica, hidráulica o neumática.

3. Los dispositivos de transmisión, los cuales enlazan a los elementos motrices con el SMA. Tales dispositivos pueden ser: cables, bandas, correas, etc.
4. El sistema de percepción, el cual proporciona al robot la posibilidad de obtener e interpretar la información de su entorno.
5. El "cerebro" o computadora, el cual procesa los datos recibidos por el robot a través de sus sensores.

Los movimientos relativos entre los varios componentes del cuerpo, brazo y muñeca (parte final del brazo) están dados por un conjunto de articulaciones.

Esos movimientos de las articulaciones normalmente son de rotación o deslizamiento. Las articulaciones del brazo y del cuerpo del manipulador son usadas para posicionar el elemento terminal y las articulaciones de la muñeca son usadas para orientar el elemento terminal. Se necesita entonces, un total de seis coordenadas (tres para el posicionamiento y otras tres para la orientación del elemento terminal) o seis grados de libertad, es decir, la posibilidad de seis movimientos independientes entre sí.

En la Figura 2 se muestra el esquema de un robot tipo PUMA de UNIMATION, indicando sus elementos y los seis movimientos posibles entre ellos.

CONFIGURACIONES COMUNES PARA UN ROBOT

La inmensa variedad de robots que pueden encontrarse hoy en día posee una de las cuatro configuraciones que pueden considerarse de referencia: polar, cilíndrica, cartesiana y angular. Dichas configuraciones están ilustradas en los diagramas esquemáticos de la Figura 3.

Como se puede apreciar en dicha figura, los nombres de las configuraciones vienen dados de acuerdo al sistema de coordenadas que se ajusta a los diferentes tipos de movimientos que puede realizar el robot.

Las articulaciones, que como se dijo, permiten dichos movimientos entre los elementos del manipulador, pueden pertenecer a uno de los siguientes tipos: de rotación, prismática, cilíndrica, esférica y planar (Figura 4), siendo las más utilizadas en los robots industriales actuales las dos primeras. Fácilmente se puede ver que el número de grados de libertad del manipulador viene determinado por la suma de los grados de libertad de cada una de las articulaciones.

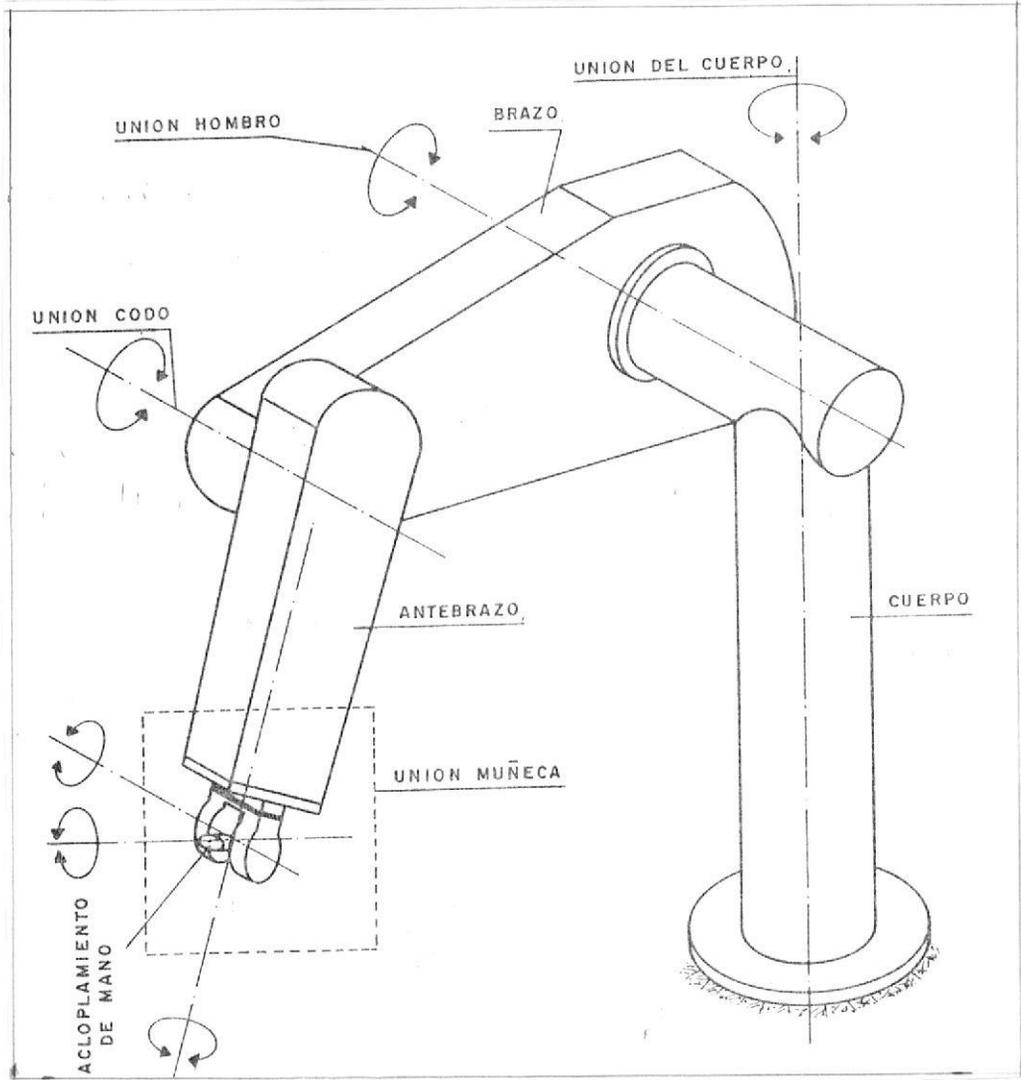


Fig. 2 ROBOT INDUSTRIAL CON SEIS GRADOS DE LIBERTAD

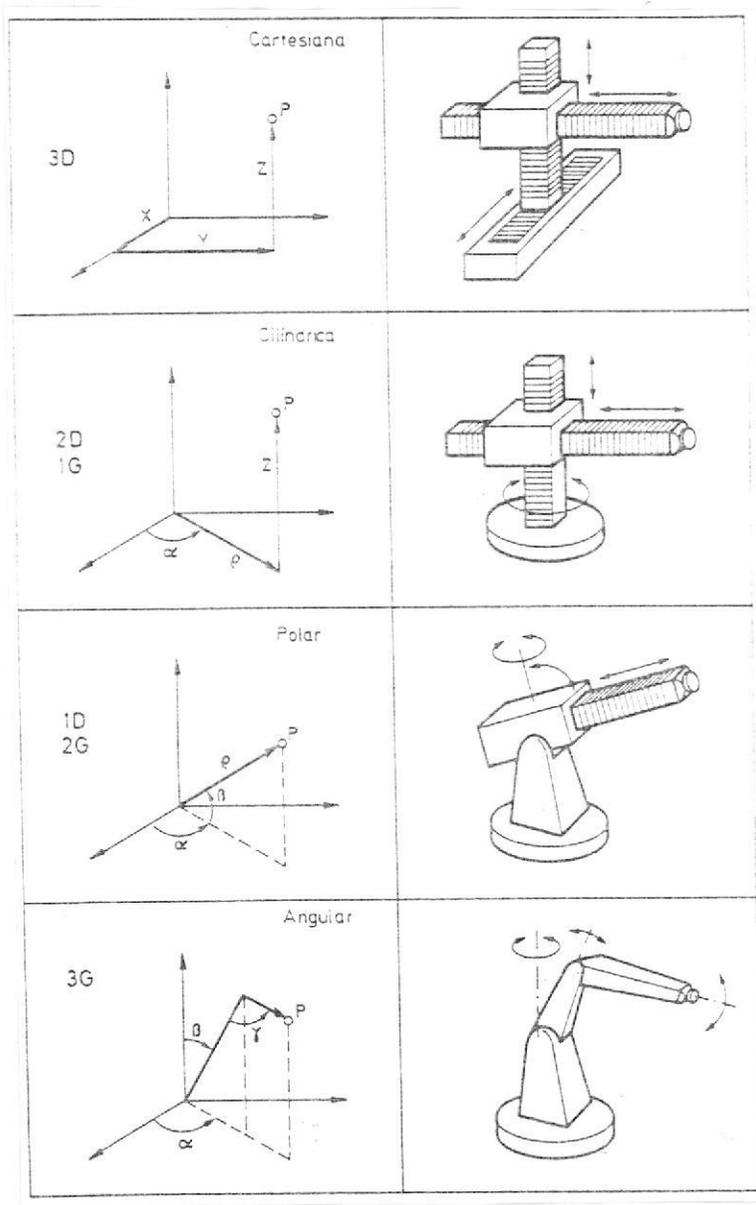


Fig. 3 LAS CUATRO ANATOMIAS BASICAS DE UN ROBOT

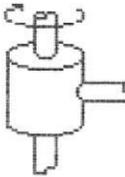
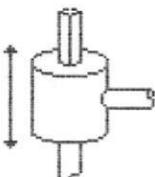
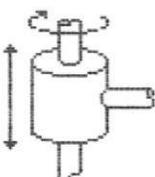
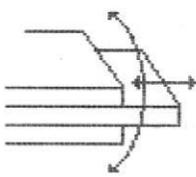
ESQUEMA	ARTICULACION	GRADOS LIBERTAD
	ROTACION	1
	PRISMATICA	1
	CILINDRICA	2
	PLANAR	2
	ESFERICA (ROTULA)	3

Fig. 4 TIPOS DE ARTICULACIONES

CARACTERISTICAS GENERALES DE UN ROBOT INDUSTRIAL

Se enuncian a continuación las características más relevantes de los robots comercialmente disponibles :

- Grados de libertad.
- Zonas de trabajo.
- Dimensiones del manipulador.
- Capacidad de carga.
- Exactitud de movimiento: resolución espacial, precisión, repetibilidad.
- Velocidad.
- Sistema de coordenadas.
- Tipo de actuadores.
- Programabilidad.



Se pasará ahora a describir brevemente algunas de esas características:

ZONAS DE TRABAJO

Zonas o espacio de trabajo es el término que se refiere al espacio dentro del cual el robot puede mover su muñeca. Se ha

convenido en usar la muñeca para definir el espacio de trabajo con el fin de evitar la complicación que surge de los diferentes tamaños de los elementos de trabajo.

El espacio de trabajo está determinado por las siguientes características físicas del robot:

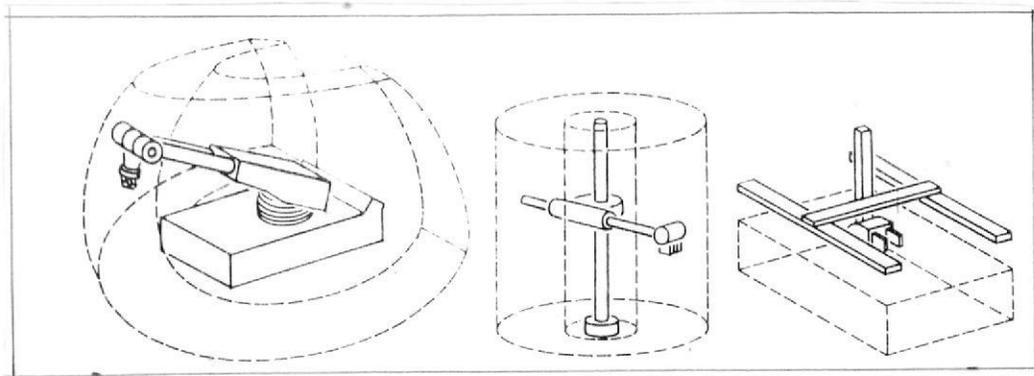
- La configuración física del robot.
- Las dimensiones de los elementos del manipulador.
- Los límites de los movimientos de las articulaciones del robot.

La influencia de la configuración física en el espacio de trabajo está ilustrada en la Figura 5(a). En la Figura 5(b) se muestran las zonas de trabajo de un robot industrial fabricado por Cincinnati Milacron.

Finalmente, cabe anotar que el espacio de trabajo de un robot es una característica fundamental en las fases de selección e implantación del modelo adecuado.

CAPACIDAD DE CARGA

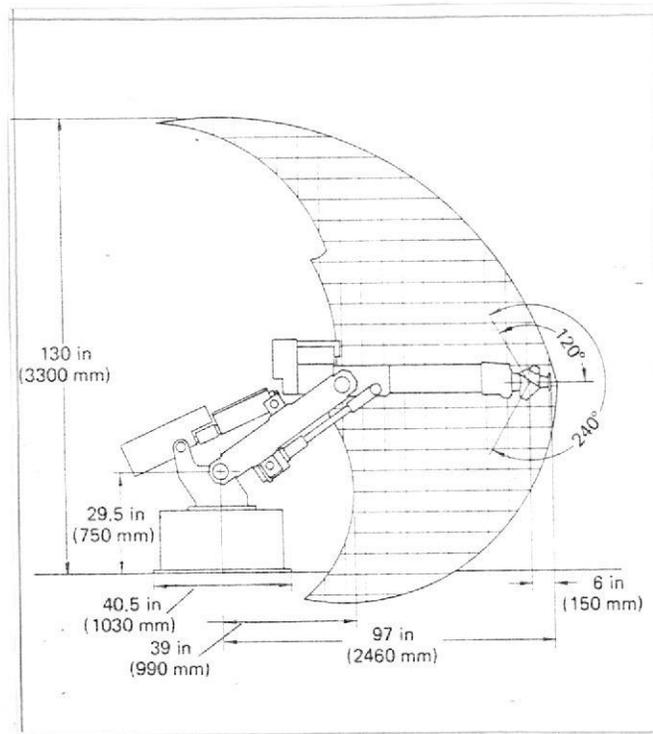
Es el peso que puede transportar el elemento de trabajo del manipulador. Esta característica viene determinada por el



(a.1)

(a.2)

(a.3)



(b)

Fig. 5 ESPACIO DE TRABAJO DE UN ROBOT. (a) ESPACIOS DE TRABAJO PARA DIFERENTES ANATOMIAS DE UN ROBOT: (a.1) POLAR, (a.2) CILINDRICA y (a.3) CARTESIANA; (b) ESPACIO DE TRABAJO DE UN ROBOT FABRICADO POR CINCINNATI MILACRON

tamaño, la configuración, la construcción y el sistema motriz del robot.

La capacidad de carga es una de las características que más se tiene en cuenta en la selección del robot, según la tarea que éste tenga que realizar. Finalmente, cabe anotar que para usar esta especificación, el usuario debe considerar el peso del elemento terminal. Por ejemplo, si la capacidad de carga especificada para un robot es de 5 libras y el peso del elemento terminal es de 2 libras, la capacidad de carga neta vendrá dada por la diferencia entre los dos pesos anteriores, así, para este caso será de 3 libras.

EXACTITUD DE MOVIMIENTO

En Robótica, se define exactitud como una función de tres características:

- Resolución espacial.
- Precisión.
- Repetibilidad.

A continuación se definirá brevemente cada una de ellas:

RESOLUCION ESPACIAL

La resolución espacial de un robot es el incremento más pequeño de movimiento dentro del cual el robot puede dividir su espacio de trabajo.

PRECISION

Es la habilidad que tiene el robot para posicionar su muñeca en un punto deseado dentro del espacio de trabajo.

REPETIBILIDAD

Es la habilidad que tiene el robot para posicionar su muñeca o un elemento terminal fijado a ésta, en un punto del espacio que ha sido previamente "memorizado" por el robot.

VELOCIDAD

La velocidad con la que trabaja un robot de hoy en día llega a un máximo de 1.7 m/s aproximadamente. Esta velocidad se la mide en la muñeca.

En los trabajos de soldadura y manipulación de piezas, es aconsejable que la velocidad sea elevada, no así en pintura, mecanizado y ensamblaje, donde se recomienda que sea media o baja.

TIPO DE ACTUADORES

Los actuadores o elementos motrices que son los que generan el movimiento de las articulaciones pueden pertenecer a uno de los siguientes tipos: hidráulico, eléctrico o neumático. Cabe anotar, sin embargo, que muchas veces se combinan actuadores de diferentes tipos en un mismo manipulador con el fin de optimizar el control de los movimientos de las articulaciones.

Los actuadores hidráulicos y eléctricos son los elementos motrices principales en los robots más sofisticados. Los primeros se usan generalmente en robots grandes, los últimos en robots más pequeños, mientras que los actuadores neumáticos se usan en robots asimismo pequeños pero que poseen pocos grados de libertad.

PROGRAMABILIDAD

Básicamente, un programa para un robot es un conjunto de instrucciones que define una ruta en el espacio por la cual el manipulador tendrá que moverse.

La programación puede ser manual, de aprendizaje, punto a punto y de trayectoria continua.

1.2. METODOS DE CONTROL Y ELEMENTOS MOTRICES DE LOS ROBOTS

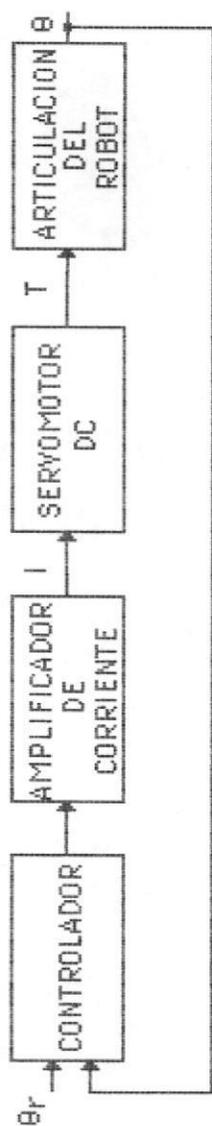
La mayoría de los robots que van desde los pequeños a los medianos utilizan actuadores con servomotores dc. Existen dos métodos para controlar el movimiento del brazo de un robot que usa motores dc, estos métodos son: control del torque del motor del manipulador y control de la velocidad del motor del robot.

El primero de esos métodos es usado por varios fabricantes de robots en Estados Unidos y por investigadores de Universidades del mismo País. El segundo es comúnmente usado por los fabricantes de robots tanto europeos como japoneses.

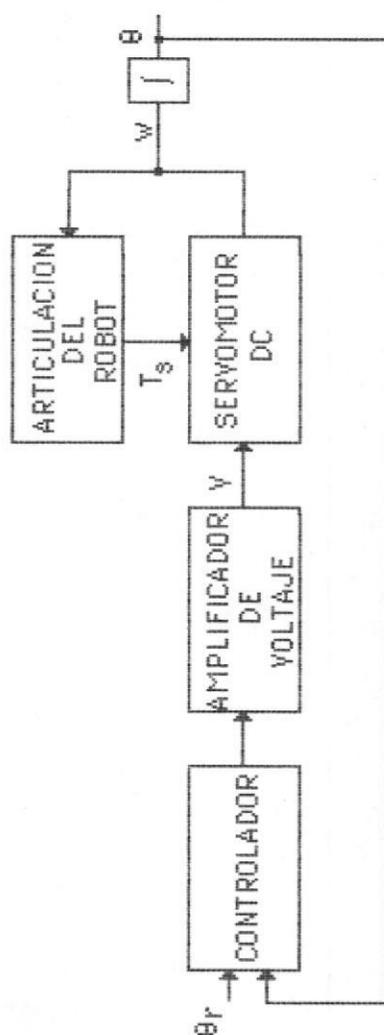
El método del torque trata al mismo como una entrada a la articulación del robot (ver Figura 6(a)).

El segundo método considera al brazo del robot como una carga perturbadora que actúa en el eje del motor (ver Figura 6(b)).

La selección del método de control depende de la aplicación y del medio ambiente en el cual el robot va a operar. Por ejemplo, si el brazo tiene libertad de moverse a lo largo de alguna coordenada, como en los robots de pintura, es apropiado el control de velocidad; en cambio si el elemento terminal va a estar en contacto con un objeto, de tal modo que no se permita



(a)



(b)

Fig. 6 LAZOS DE CONTROL PARA UN ROBOT QUE USA MOTORES DC: (a) CON AMPLIFICADOR DE CORRIENTE,
(b) CON AMPLIFICADOR DE VOLTAJE

movimiento a lo largo de una coordenada, como en la aplicación de ensamblaje, es conveniente el control por torque.

De acuerdo al tipo de control, los robots pueden ser clasificados en:

- Robots punto a punto.
- Robots de trayectoria continua.

Muchas personas sin ninguna experiencia en Robótica podrían pensar que un robot de soldadura por puntos y otro de soldadura por arco son los mismos, pero con diferentes equipos de soldar. Esto no es así, esos robots son sistemas diferentes; el control de un robot de soldadura por puntos está basado en un sistema punto a punto, mientras que el robot de soldadura por arco requiere un sistema de trayectoria continua. A continuación se describirán brevemente las características de ambos tipos de sistemas.

ROBOTS PUNTO A PUNTO

Un sistema típico punto a punto (P-P) se lo encuentra en un robot de soldadura por puntos. En una operación de soldadura por puntos, el robot se mueve hasta que el punto que va a ser soldado esté exactamente entre los dos electrodos de la herramienta de soldar, luego es aplicada la soldadura. Después

de esto, el robot se mueve a una nueva posición, donde otro punto de soldadura es aplicado. Este proceso se repite hasta que todos los puntos requeridos de la pieza sean soldados. Finalmente, la herramienta de soldar es llevada al punto de origen, con lo que el sistema está listo para una nueva pieza.

Un robot P-P se mueve a un punto determinado, al llegar a dicho punto, el robot se detiene, de esta manera, el elemento terminal ejecuta la tarea requerida con el robot estacionario. Una vez que se termina la tarea en ese punto, el robot se mueve a un próximo punto y el ciclo se repite. Cabe anotar que estos robots pueden moverse de un punto especificado a otro, pero no pueden detenerse en puntos arbitrarios que no hayan sido establecidos previamente. Además, no hay un control en la trayectoria que toma el robot para ir de un punto al próximo.

Este tipo de robots son los más simples y los menos costosos y se los usa típicamente en aplicaciones de soldadura por puntos, manipulación de materiales, carga y descarga de máquinas y en tareas sencillas de ensamblaje.

ROBOTS DE TRAYECTORIA CONTINUA

Como se anotó anteriormente, los robots de soldadura por arco pertenecen a esta categoría, siendo la tarea del robot guiar la

herramienta de soldar a lo largo de la trayectoria preprogramada.

Los robots de trayectoria continua son capaces de ejecutar ciclos de movimiento, en los que la ruta o trayectoria seguida por el robot está controlada. Esto se lo logra haciendo que el robot se mueva a través de puntos estrechamente espaciados, los mismos que describen la ruta deseada. El movimiento en línea recta es una forma común de trayectoria para los robots industriales. El programador especifica el punto inicial y el punto final de la trayectoria y la unidad de control calcula la secuencia de los puntos individuales que permitirán al robot seguir una trayectoria en línea recta.

Algunos robots tienen la capacidad de seguir una ruta que describe una curva suave, la cual ha sido definida previamente por un programador, quien manualmente mueve el brazo del robot a lo largo de la ruta deseada. Si se quiere realizar un control de trayectoria continua de una curva "más complicada", se requiere que la unidad de control sea capaz de almacenar un gran número de puntos individuales que definan dicha curva.

Los robots de trayectoria continua son usados en soldadura por arco, pintura, desbarbado de piezas metálicas, operaciones de ensamblaje e inspección.

En el numeral 1.6.1.1. se explicará con un poco más de detalle

acerca de los dos tipos de soldadura discutidos anteriormente.

ELEMENTOS MOTRICES DE LOS ROBOTS

A continuación se estudiarán brevemente cada uno de los diferentes tipos de actuadores.

ACTUADORES NEUMATICOS

Un sistema neumático para un robot está formado por los siguientes componentes:

1. El pistón.
2. El distribuidor.

Hay varios tipos de pistones, a saber: el lineal y los giratorios.

El pistón lineal se mueve de un límite de su carrera al otro, dependiendo de la dirección del movimiento del aire.

Los pistones giratorios son esencialmente pistones lineales en los cuales el eje de los mismos lleva una cremallera que se acopla con un piñón.

El distribuidor es el que controla al pistón en los intervalos apropiados. Hay varios tipos de distribuidores, pero los más

usados son los de válvulas y los de carretes.

En el distribuidor de válvula, la válvula es movida por una membrana, la cual está sujeta a la acción de una señal de control; dicha válvula regresa a su posición original por medio de un resorte.

En el distribuidor de carrete, el carrete se mueve a través de puertos, cubriéndolos y descubriéndolos de modo que el aire se dirige por diferentes aberturas.

ACTUADORES HIDRAULICOS

Los sistemas controlados hidráulicamente están formados del actuador propiamente dicho y del distribuidor. La mayor diferencia de estos actuadores con los neumáticos, radica en el hecho de que en los hidráulicos, el distribuidor puede ser controlado en forma proporcional, permitiendo de esta forma el uso de servo-sistemas hidráulicos, mientras que en los sistemas neumáticos el distribuidor opera en el modo encendido-apagado (modo on-off).

Uno de los componentes principales del sistema hidráulico es la bomba, la misma que eleva la presión del fluido. Otro elemento importante lo constituye el depósito de fluido, el cual se encarga de regular la cantidad del mismo y evitar la creación de turbulencia en su seno.

Las válvulas hidráulicas que son las que se encargan de regular la presión, dirección y flujo del fluido, actúan sobre los elementos motrices y los gobiernan directamente. Cuando el estado de dichas válvulas es controlado mediante señales eléctricas, éstas toman el nombre de electroválvulas.

ACTUADORES ELECTRICOS

El control eléctrico no tiene las desventajas de los sistemas neumáticos e hidráulicos. Por ejemplo, las servoválvulas y los distribuidores requieren precisión mecánica para asegurar una operación adecuada. Por otra parte, con los tubos gruesos e inflexibles que se emplean, se corre el riesgo de que haya fuga en las juntas.

Ante esas ventajas, debe ser considerada la mayor desventaja de los sistemas eléctricos: la baja relación potencia a carga.

Dentro de la variedad de motores eléctricos, únicamente dos tipos son usados en robots: los de corriente continua (c.c.) y los de paso a paso (PAP).

Los motores c.c. producen una extraordinaria relación par/velocidad, lo que les confiere una regulación precisa y por tanto los hacen muy apropiados en muchas aplicaciones. Por otro lado, la sencillez del control y su fácil adaptación a los circuitos electrónicos basados en microprocesadores, ha sido

otro de los motivos que ha hecho de este tipo de motores los más usados en robots.

Los motores PAP transforman pulsos digitales en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada. No precisan detectores sobre el posicionamiento de su eje, ya que el conteo de los impulsos aplicados determina el ángulo girado.

Por su sencillez, bajo costo y la eliminación de la realimentación para la determinación de la posición del eje, los motores PAP son también muy interesantes. Cabe anotar sin embargo, que a opinión de muchos investigadores de la Robótica, los motores PAP no son actuadores apropiados para robots por las siguientes razones:

- La velocidad permisible de un motor PAP es función de su torque de carga, pero éste depende fuertemente de la posición del brazo y de la carga del elemento terminal. Una carga excesiva en este tipo de motor puede ocasionar una subsecuente pérdida de pasos.
- Estos motores están limitados en su resolución y tienden a ser ruidosos.
- El eje de un motor PAP recorre sólo posiciones discretas, por tanto, no cubren por completo el área de trabajo.

- La mayoría presentan una potencia limitada.

SISTEMAS DE TRANSMISION

Entre el eje del motor y la articulación que va a ser movida están los sistemas de transmisión. Estos sistemas pueden ejecutar las siguientes tres funciones:

1. Cambiar la dirección del movimiento.
2. Transformar un movimiento rotacional en un movimiento lineal o viceversa.
3. Reducir la velocidad y amplificar el torque.

La elección de los sistemas de transmisión está determinada por la naturaleza de los actuadores y por la estructura del robot. Hay muchos sistemas disponibles, por ejemplo, cadenas, correas dentadas, cables, bandas metálicas, tornillos sin fin, etc. El material usado es de gran importancia, ya que el objetivo es maximizar el esfuerzo y al mismo tiempo minimizar el peso, la inercia y la flexibilidad.

1.3. ELEMENTOS TERMINALES DEL ROBOT

El elemento terminal es el órgano de aprehensión adecuado para realizar la manipulación o el soporte de la herramienta

necesaria que permite ejecutar la labor deseada. Normalmente estos dispositivos son diseñados para una tarea particular, no obstante, pueden encontrarse "manos" de todo propósito, construídas para hacer muchos tipos de trabajos.

Los elementos terminales de un robot tienen grandes ventajas sobre nuestras manos, en lo que se refiere a la manipulación de objetos pesados, sustancias corrosivas, objetos calientes y peligrosos.

1.3.1. TIPOS DE ELEMENTOS TERMINALES

La forma de aprehensión de los elementos terminales da lugar a una clasificación según el tipo de sujeción, a saber:

- sujeción a presión: los elementos de este tipo suelen tener varios dedos (dos o tres), que giran o se deslizan para sujetar el objeto.
- sujeción por enganche: en este caso el elemento adopta la forma adecuada para transportar un objeto, sin ejercer sobre el mismo ninguna presión.
- sujeción por acción auxiliar: los elementos de este

tipo tienen uno de los tres componentes:

- a) Electroimanes.
 - b) Ventosas.
 - c) Elementos adhesivos.
- sujeción por presión: los elementos utilizan materiales elásticos con el fin de adaptarse sobre diversos objetos.
 - sujeción fija: en algunas aplicaciones el elemento terminal es una herramienta que no debe ser removible, como ocurre con los robots de pintura o de soldadura.

1.3.2. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS DE OPERACION

En muchas aplicaciones, el robot manipula una herramienta en vez del objeto de trabajo. En un número limitado de esas aplicaciones, el elemento terminal es una "garra", la cual es diseñada para agarrar y manipular la herramienta. La razón de usar una garra en esas aplicaciones se debe a que el robot tiene que usar más de una herramienta en su ciclo de trabajo y la garra permite hacer esos intercambios de herramientas.

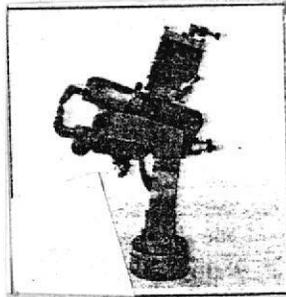
En la mayoría de las aplicaciones de los robots en las cuales se usa una herramienta, ésta es colocada directamente a la muñeca del robot. En esos casos, la herramienta es el elemento terminal.

Algunos ejemplos de herramientas usadas como elementos terminales en aplicaciones de robots de operación incluyen: útiles para soldadura por puntos, útil para soldadura al arco, terminales en forma "trompa de elefante" para pintura, herramientas para mecanizados. En la Figura 7 se presentan algunas de estas herramientas propuestas por ASEA.

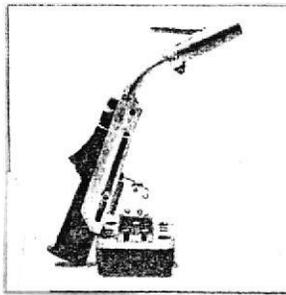
1.3.3. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS EN MANIPULACION

Hay muchas aplicaciones de los robots en lo que se refiere al traslado de un objeto de un lugar a otro. La más elemental de esas aplicaciones es aquella en la cual el robot recoge dicho objeto en una posición y lo transfiere a otra posición. En otras aplicaciones, el robot es usado para cargar y/o descargar una maquinaria de algún tipo. Por tanto, las aplicaciones de manipulación de materiales se podrían dividir en dos categorías específicas:

1. Aplicaciones de transferencia de materiales.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 UTILES USADOS EN ROBOTS ASEA: (a) PARA SOLDADURA POR PUNTOS, (b) PARA SOLDADURA POR ARCO Y (c) PARA ACABADOS

2. Aplicaciones de carga/descarga de maquinarias.

Para la manipulación de objetos se utilizan garras de uso general o diseñadas especialmente para el tipo de pieza que se va a manipular. En la Figura 8(a) se muestra una mano de sujeción usada en labores de forja. Pueden encontrarse además, manos de tres o más dedos, de accionamiento generalmente neumático (Figura 8(b)).

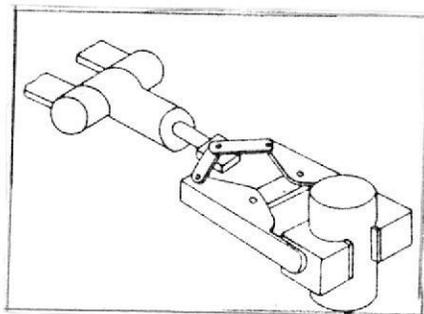
1.3.4. HERRAMIENTAS PARA ROBOTS DE MONTAJE

Los robots utilizados en el montaje requieren una gran precisión en los movimientos, ayudas sensoriales e inteligencia artificial.

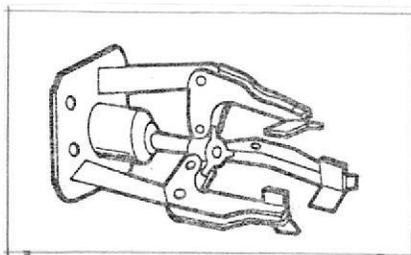
La inserción de piezas es una de las tareas más frecuentes que se realiza en el montaje. Dicha tarea requiere una alta precisión de posicionado.

En vista de que la precisión de posicionado de un robot es menor que el huelgo, es conveniente que la clavija (pieza a insertarse) y el hueco tengan los achaflanados que hagan posible el inicio de la inserción (Figura 9(a)).

Una vez iniciada la inserción, es necesario modificar la posición inicial en función del error producido para poder terminar la inserción (Figura 9(b)). Para conseguir

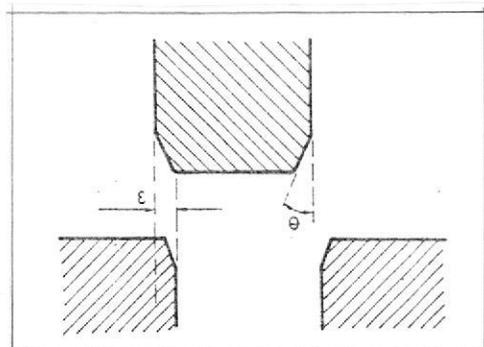


(a)

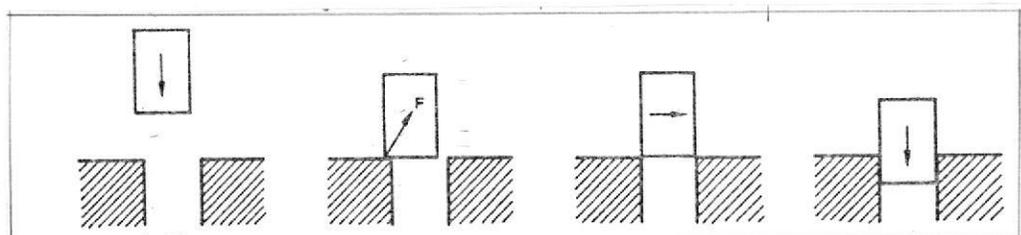


(b)

Fig. 8 HERRAMIENTAS PARA ROBOTS EN MANIPULACION: (a) MANO DE SUJECION USADA EN FORJA, (b) MANO DE TRES DEDOS



(a)



(b)

Fig. 9 DIAGRAMAS QUE MUESTRAN LAS CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN UNA TAREA DE MONTAJE: (a) ACHAFLANADOS PARA FACILITAR EL INICIO DE LA INSERCIÓN, (b) CORRECCIÓN DE LA POSICIÓN SEGUN EL ERROR DE POSICIONADO

esto, es necesario una acomodación (compliance) del elemento terminal a la posición necesaria que permita efectuar la inserción. La acomodación puede ser pasiva o activa.

En la acomodación pasiva no interviene el control del robot y se la consigue colocando un elemento elástico entre la muñeca del robot y el elemento terminal(Figura10).

Para la realización de una inserción, es más conveniente una elasticidad del eje del elemento terminal alrededor de un punto tal como se muestra en la Figura 11(a). Cuando dicho punto, denominado centro remoto de acomodación, coincide con el extremo de la pieza que debe insertarse en un hueco, el comienzo de la inserción resulta fácil. Para tal fin se utiliza el dispositivo de acomodación del centro remoto (RCC). Uno de tales dispositivos está ilustrado en la Figura 11(b).

El dispositivo RCC es capaz de ajustar los errores laterales y angulares comúnmente encontrados en una operación de inserción.

Finalmente, la acomodación activa puede conseguirse por la propia unidad de control del robot, efectuando las correcciones necesarias, las mismas que son calculadas

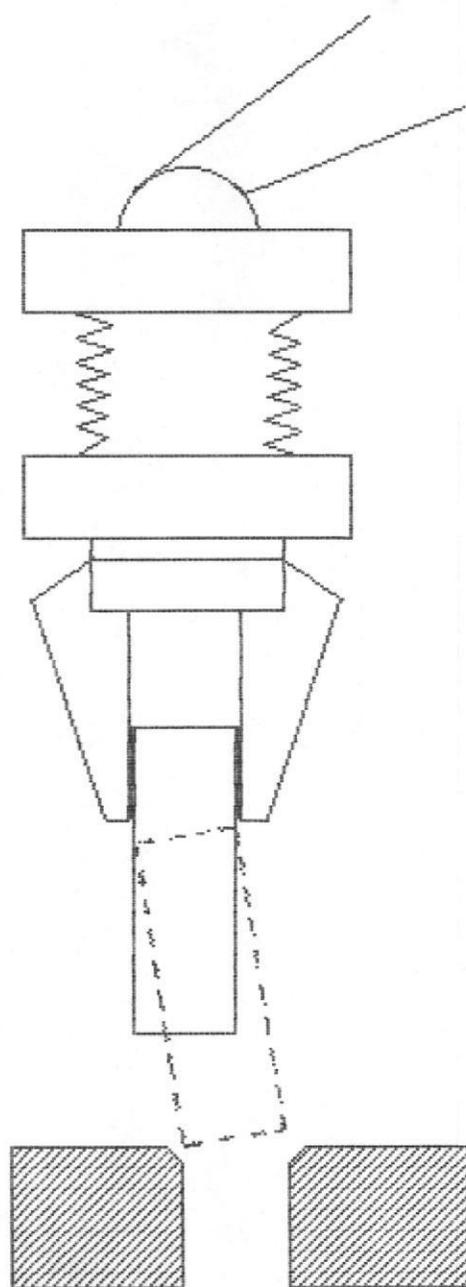
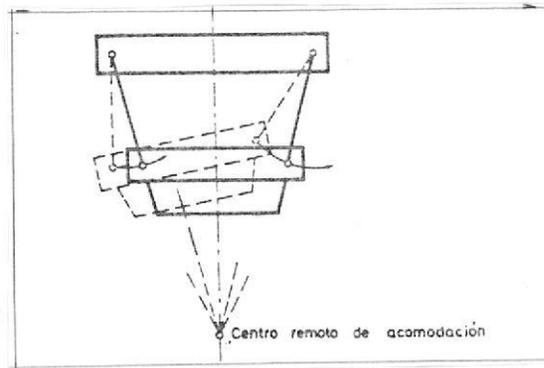
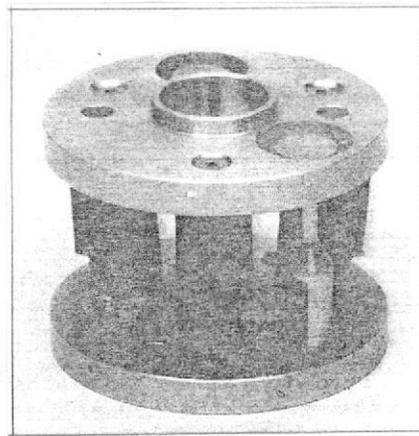


Fig. 10 ELEMENTO TERMINAL CON ELEMENTO ELASTICO



(a)



(b)

Fig. 11 DISPOSITIVO DE ACOMODACION DEL CENTRO REMOTO (RCC): (a) GRAFICA DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, (b) FOTO DE UN RCC

a partir de la medición de las fuerzas efectuadas por el elemento terminal durante la operación del insertado.

1.4. ELEMENTOS SENSORES EN ROBOTS

La característica común de todos los robots es su capacidad para repetir una secuencia preprogramada de operaciones, tantas veces como sea necesario. Sin embargo, sin un sistema apropiado, esos robots son incapaces de sensor y responder a algún cambio en su alrededor. Por ejemplo, si un robot fue programado para coger un objeto en un cierto punto, el robot siempre cerrará sus dedos en ese punto, aún si no hubiese ningún objeto allí. Por otro lado, si se coloca un obstáculo dentro de la ruta de trabajo del robot, éste colisionará de manera inevitable.

Con el fin de que los robots operen eficientemente en un "ambiente cambiante", éstos deben ser equipados con sensores y tener algún grado de inteligencia artificial (IA).

Con los datos recibidos de los sensores, el algoritmo IA toma decisiones en tiempo real que pueden cambiar la secuencia programada de operación del robot. Esos robots son clasificados como "robots inteligentes".

Entre los dispositivos sensores usados como componentes del sistema de control del robot se tienen: el tacómetro (sensor de

velocidad) y el codificador angular (sensor de posición).

Los sensores usados en Robótica forman un gran rango de dispositivos, los mismos que pueden dividirse en las siguientes categorías:

1. Sensores táctiles.
2. Sensores de rango y de proximidad.
3. Sensores diversos y sistemas basados en sensores.
4. Sistemas de visión de máquina.

A continuación se discutirán brevemente cada una de esas categorías.

SENSORES TACTILES

Son dispositivos que indican si hay contacto con algún objeto sólido. Dichos dispositivos pueden ser divididos en: sensores de tacto y sensores de fuerza. Los sensores de tacto dan una señal de salida binaria, la cual indica si ha habido o no contacto. Los sensores de fuerza indican no solamente el contacto que ha habido con el objeto sino también la magnitud de la fuerza de contacto. Como ejemplos de estos dispositivos se tienen: galga extensométrica (sensor de fuerza), interruptor

de contacto eléctrico (sensor de tacto), interruptor de límite (sensor de tacto).

SENSORES DE PROXIMIDAD Y DE RANGO

Los sensores de proximidad son dispositivos que indican cuando un objeto está cerca de otro. La distancia a la que debe estar el objeto para activar el sensor depende del dispositivo en particular. Las distancias pueden estar comprendidas entre varios milímetros y varios pies.

Cuando esos dispositivos son usados para medir la distancia que hay entre éstos y un objeto, dichos dispositivos toman el nombre de sensores de rango.

Los sensores tanto de rango como de proximidad se localizan en las partes móviles del robot que tienen que ver con la orientación del mismo, es decir, en la muñeca o en el elemento terminal.

Uno de los principales usos de un sensor de proximidad en Robótica es el de detectar la presencia de una pieza de trabajo u otro objeto. Otra aplicación importante es la detectar a personas que están dentro de la celda de trabajo del robot. Por otro lado, los sensores de rango son usados para determinar la posición de un objeto en relación a la posición del robot.

Para el diseño de los dos tipos de sensores se emplea una variedad de tecnologías, las mismas que incluyen dispositivos ópticos, acústicos, de técnicas de campo eléctrico, etc.

Algunos sensores que están dentro de la categoría que se estudia son: sensor infrarrojo, pirómetro óptico, sensor fotométrico.

SENSORES DIVERSOS Y SISTEMAS BASADOS EN SENSORES

La categoría de sensores diversos cubre otros tipos de sensores que no están incluidos en las categorías anteriores. Estos sensores pueden ser usados con fines de interconexiones y otros propósitos en celdas de trabajo de robots.

Esta categoría incluye dispositivos con la capacidad de sensar variables tales como temperatura, presión, flujo y propiedades eléctricas. Entre estos sensores se pueden citar los siguientes: acelerómetro piezoeléctrico, pirómetro de radiación, termistor, termocupla.

Por otro lado, dentro de esta categoría puede ser incluido el sistema de síntesis de voz, el cual hará posible el gobierno de los robots mediante la comunicación oral.

SISTEMAS DE VISION DE MAQUINA

La mayoría de sistemas de visión están equipados con una o más cámaras de video junto con un procesador de visión.

Hay tres tipos de cámaras que son usadas típicamente en sistemas de visión: la de arreglos lineales, la vidicon y las de estado sólido.

Por otra parte, las funciones del procesador de visión es la de digitalizar la imagen captada por la cámara y analizar dicha imagen para definir el objeto.

Las aplicaciones principales de estos sistemas están en manipulación, ensamblaje, clasificación de partes e inspección.

En manipulación y ensamblaje, los sistemas de visión son usados para reconocer la posición y orientación de objetos que van a ser manipulados o ensamblados. Esos sistemas pueden determinar además la presencia o ausencia de partes y detectar características particulares del objeto (como el diámetro en piezas circulares) con el fin de separar partes que no cumplan las especificaciones. Una aplicación más amplia que esta última, es la de identificación de piezas con el fin de clasificarlas, donde en la mayoría de los casos pasan por una cinta transportadora.

Los sistemas de visión se usan con o sin robots en una variedad de tareas de inspección. El empleo de estos sistemas para inspección en la fabricación, asegura un incremento significativo en la productividad. Además, esos sistemas proveen un mejor control de calidad que el que pueden ofrecer los humanos.

1.5. SOFTWARE EN ROBOTICA

El término "programación del robot" se refiere a la enseñanza del ciclo de trabajo que hay que darle al robot.

Una gran parte del programa involucra la ruta de movimiento que el robot debe recorrer al mover partes o herramientas de un lugar del espacio de trabajo a otro.

Esos movimientos a menudo son enseñados "mostrando" al robot el movimiento y grabándolo en la memoria del robot. Sin embargo, hay otras porciones del programa que no se refieren al movimiento del brazo. Dichas porciones incluyen la interpretación de los datos enviados por los sensores, movimiento del elemento terminal, envío de señales a otras partes del equipo en la celda, recepción de datos de otros dispositivos, hacer cálculos y tomar decisiones acerca del ciclo de trabajo.

En vista de que los lenguajes de programación clásicos

empleados en Informática, como el FORTRAN, BASIC, PASCAL, no disponen de las instrucciones y comandos específicos que necesitan los robots para aproximarse a su configuración y a las tareas que han de realizar, los investigadores se han visto obligados a diseñar lenguajes propios para Robótica. Sin embargo, los lenguajes desarrollados hasta hoy en día son específicos en cuanto al modelo del robot y a la tarea a realizar, por lo que no existe un lenguaje común para todos los robots.

La programación de una tarea necesita la siguiente información:

1. Coordenadas de puntos significantes. Esos puntos pueden dividirse en tres categorías: puntos finales, que son los puntos a los que el elemento terminal debe alcanzar exactamente al final de cada trayectoria; puntos intermedios, que son los que definen una ruta a través de la cual tendrá que pasar el elemento terminal; y puntos de referencia, que determinan la ruta que deberá seguir el brazo bajo condiciones específicas.
2. Estado de la garra en cada punto, es decir, abierta o cerrada.
3. Valores de la velocidad para cada movimiento.

4. Definición de la secuencia de operaciones.

CLASIFICACION DE LA PROGRAMACION USADA EN ROBOTICA

La programación en Robótica puede tener un carácter explícito o estar basada en la modelación del mundo exterior. En el primer caso, el programador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones adecuadas que las implementan. En el segundo caso se describe ampliamente tanto la tarea como el entorno y el propio sistema toma las decisiones.

La programación usada en aplicaciones industriales es la explícita y consta de dos técnicas:

1. Programación gestual.
2. Programación textual.

En la programación gestual se guía el brazo del robot a través de un conjunto de puntos o de una ruta en el espacio. Los puntos del camino se graban en memoria y luego se repiten. Este tipo de programación exige el empleo del robot en la fase de enseñanza, es decir, trabaja en línea (on line). Existen dos tipos de programación gestual:

- Por aprendizaje directo.

- Mediante un dispositivo de enseñanza.

En el aprendizaje directo, el extremo del brazo del robot se traslada con ayuda de un agarre manual situado en su muñeca; si esto presenta dificultad debido a los elementos de transmisión que impiden el libre movimiento, se utiliza un maniquí que es una reproducción del verdadero robot de trabajo con el que se efectúan los movimientos que luego de ser memorizados, serán repetidos por el manipulador. El maniquí es conocido como simulador de robot o brazo de enseñanza.

En la programación usando un dispositivo de enseñanza los movimientos del robot se determinan por medio de botones, un control manual o una palanca de accionamiento (joystick).

En la programación textual, las acciones que ha de realizar el robot se especifican mediante las instrucciones de un lenguaje. En esta técnica no participa el robot por lo que es llamada fuera de línea (off-line). Las trayectorias del brazo se calculan matemáticamente con gran precisión con lo que se evita el posicionamiento "a ojo", común en la programación gestual.

En la Tabla I se indican algunos de los lenguajes usados en Robótica.

LENGUAJE	DESARROLLADO POR
AL (Assembly Language)	Laboratorio de Inteligencia Artificial de Stanford, USA
AML (A Manufacturing Language)	IBM
AUTOPASS (AUTOMated Parts ASSEMBly)	IBM
HELP	General Electric, USA
LAMA (Language for Automatic Mechanical Assembly)	MIT (Massachussets Institute of Technology), USA
MCL (Manufacturing Control Language)	McDonnell Douglas Corp.
RAIL	Automatix Inc., USA
RPL (Robot Programming Language)	SRI (Stanford Research Institute), USA
VAL (Vicarm Assembly Language)	Unimation Inc., USA

TABLA I LENGUAJES MAS COMUNES USADOS EN ROBOTICA

1.6. APLICACIONES DE LOS ROBOTS

Las aplicaciones de los robots industriales se pueden agrupar en dos grandes apartados: procesado y manipulación. En el procesado, el robot realiza algún tipo de trabajo sobre los materiales objetos del proceso; en cambio en manipulación se incluyen aquellas otras aplicaciones en las que el robot toma parte activa del proceso, manipulando materiales. Aquí se encuentran las aplicaciones que involucran transporte de objetos de un lugar a otro.

A continuación se discutirá brevemente acerca de las aplicaciones que se encuentran dentro de los dos apartados mencionados.

1.6.1. PROCESADO

En el procesado casi siempre se requiere que el elemento terminal del robot actúe como una herramienta y no como una garra. El tipo de herramienta depende de la operación particular de procesado.

Las operaciones de procesado se pueden dividir en las siguientes categorías: soldadura, tratamiento de superficies y mecanizado.

1.6.1.1. SOLDADURA

Existen varias modalidades de soldadura, pero las que se usan en los robots de soldadura son: la soldadura por puntos y la de arco.

La soldadura por puntos es un proceso autógeno (ningún material extra es añadido a la junta) en el cual las dos piezas metálicas son unidas únicamente en ciertos puntos. El calor requerido es generado por el paso de una alta corriente eléctrica a través de las dos piezas en cada punto de unión.

Este tipo de soldadura se usa frecuentemente en la industria automovilística para unir planchas metálicas.

La soldadura por arco eléctrico es un proceso homogéneo (se necesita el aporte de un electrodo) en el cual los dos metales son unidos a lo largo de un camino continuo. El calor requerido lo suministra un arco eléctrico generado entre un electrodo y los metales.

Este tipo de soldadura se utiliza por ejemplo para sellar contenedores y así evitar fugas.

Las condiciones de trabajo debidas a temperatura, humo y radiación que son fatigantes y peligrosas para un operador humano y considerando además que la soldadura por arco requiere un control continuo de la posición y de la velocidad, hacen a esta modalidad de la soldadura ideal para ser robotizada.

Los dos tipos de sistemas robotizados de soldadura, como se anotó anteriormente, no son similares. Cada uno de ellos requiere equipo de soldadura diferente así como sistema de control diferente. El robot de soldadura por puntos está diseñado para soportar una herramienta de soldar pesada y su sistema motriz es, por tanto, hidráulico. El robot de soldadura por arco, por el contrario, lleva una herramienta mucho menos pesada a una velocidad constante y emplea usualmente un sistema motriz eléctrico.

Un robot de soldadura por puntos requiere por lo general de seis grados de libertad, mientras que el de soldadura por arco normalmente requiere cinco.

En la Figura 12 se aprecian los dos tipos de robots.

Por término medio, del costo de inversión de un robot de soldadura, el 55% corresponde al robot base, el 30% a los accesorios (herramientas, etc.) y el 15% a gastos de instalación.

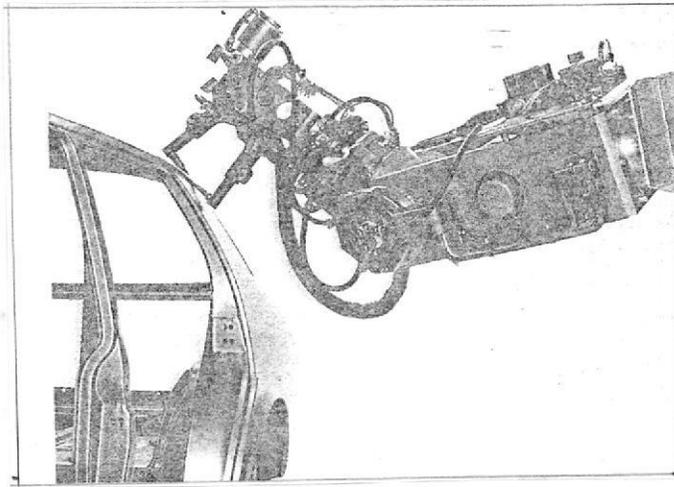
1.6.1.2. TRATAMIENTO DE SUPERFICIES

En el tratamiento de superficies se encuentran dos aplicaciones: pintado con pulverizador y el metalizado.

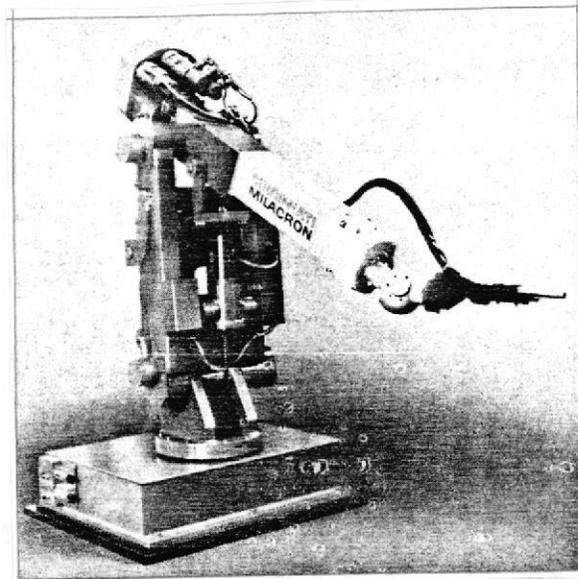
LA PINTURA POR PULVERIZADOR

El medio ambiente nocivo y desagradable que se tiene en el área de trabajo de las industrias dedicadas a esta tarea ha motivado que este proceso sea un candidato ideal para ser robotizado.

Los materiales que son usados en este tipo de pintado son tóxicos, y en consecuencia, los operadores deben estar protegidos con máscaras y estar provistos de ventilación.



(a)



(b)

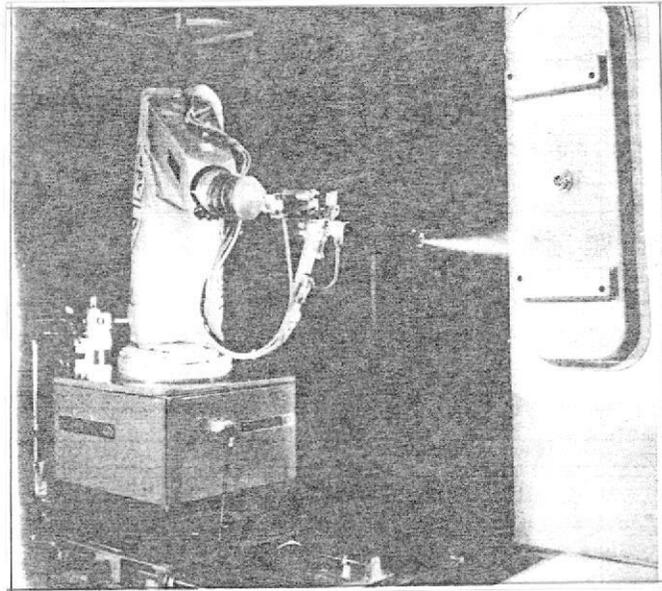
Fig.12 ROBOTS DE SOLDADURA: (a) ROBOT DE SOLDADURA POR PUNTOS MONTADO PARA OPERAR SOBRE LA CARROCERIA DE UN AUTOMOVIL (ASEA), (b) ROBOT DE SOLDADURA POR ARCO (CINCINNATI MILACRON)

Debido a que el área de pintado debe estar libre de polvo y tener temperatura controlada, la sección de pintura en una industria es pequeña, y por tanto, incómoda para los operadores. Además, el ruido que se produce por la descarga del aire a través de las herramientas de pintura, puede causar daños irremediables a los oídos de los operadores. Por todas estas razones, la pintura por pulverizador llegó a ser una de las primeras aplicaciones de los robots.

Los robots usados en pintura tienen actuadores hidráulicos o neumáticos. Con el fin de conseguir la flexibilidad, velocidad y exactitud necesarias, se usan robots cuyos grados de libertad van desde cinco hasta siete.

Por otro lado, la capacidad de carga a máxima velocidad oscila entre 18 y 20 libras. La repetibilidad de unas 0.125 pulgadas es común.

La Figura 13(a) ilustra a un robot pintando una pieza y en la Figura 13(b) se aprecia a un robot que usa una "trompa de elefante", la misma que se utiliza con el fin de alcanzar lugares difíciles e incómodos.



(a)



(b)

Fig.13 ROBOTS DE PINTURA: (a) ROBOT EJECUTANDO UNA OPERACION DE REVESTIMIENTO DE PINTURA, (b) ROBOT CON "TROMPA DE ELEFANTE"

Por otra parte, el metalizado presenta problemas similares al de la pintura, pero requiere una precisión superior debido a que el chorro de fluido con las partículas metálicas tiene unos 45 mm de diámetro, la cual debe incidir directamente sobre la superficie a tratar. Además, el peso del elemento terminal es mayor que en aplicaciones de pintura.

Del gasto total para la aplicación de un robot de pintura, aproximadamente el 70% corresponde al costo del robot base, el 24% al elemento terminal y accesorios y el 6% a gastos de instalación.

MECANIZADO

De todas las operaciones de mecanizado que realizan las máquinas-herramienta, la única realizada con éxito por robots es el taladrado, principalmente en la industria aeronáutica. Otra de las aplicaciones relacionadas al mecanizado que es ejecutada por robots es el desbarbado de piezas metálicas.

Robots para taladrar se utilizan por ejemplo en procesos de fabricación en los cuales se

necesita hacer varios agujeros a un objeto que podría estar en movimiento. Para llevar a cabo esta tarea, el robot debe tener cinco grados de libertad o más.

En algunas labores es más conveniente tener un robot que se desplace mientras la pieza está fija en alguna plataforma. En este caso, el robot debe poseer una alta precisión en el posicionamiento y orientación de su elemento terminal.

El desbarbado es una operación muy común en el acabado de piezas. Dicha labor se realiza con el fin de eliminar las irregularidades que son casi siempre generadas cuando se ejecutan operaciones de mecanizado en piezas metálicas. La eliminación de esas irregularidades es una operación costosa. La mayoría de los desbarbados es hecha manualmente por operadores equipados con herramientas apropiadas. La Figura 14 muestra una foto del robot IRB 60/2 de ASEA, el mismo que realiza entre otras las siguientes tareas: acabado, desbarbado, pulido, corte de perfiles.

La monotonía y sobre todo el peligro del

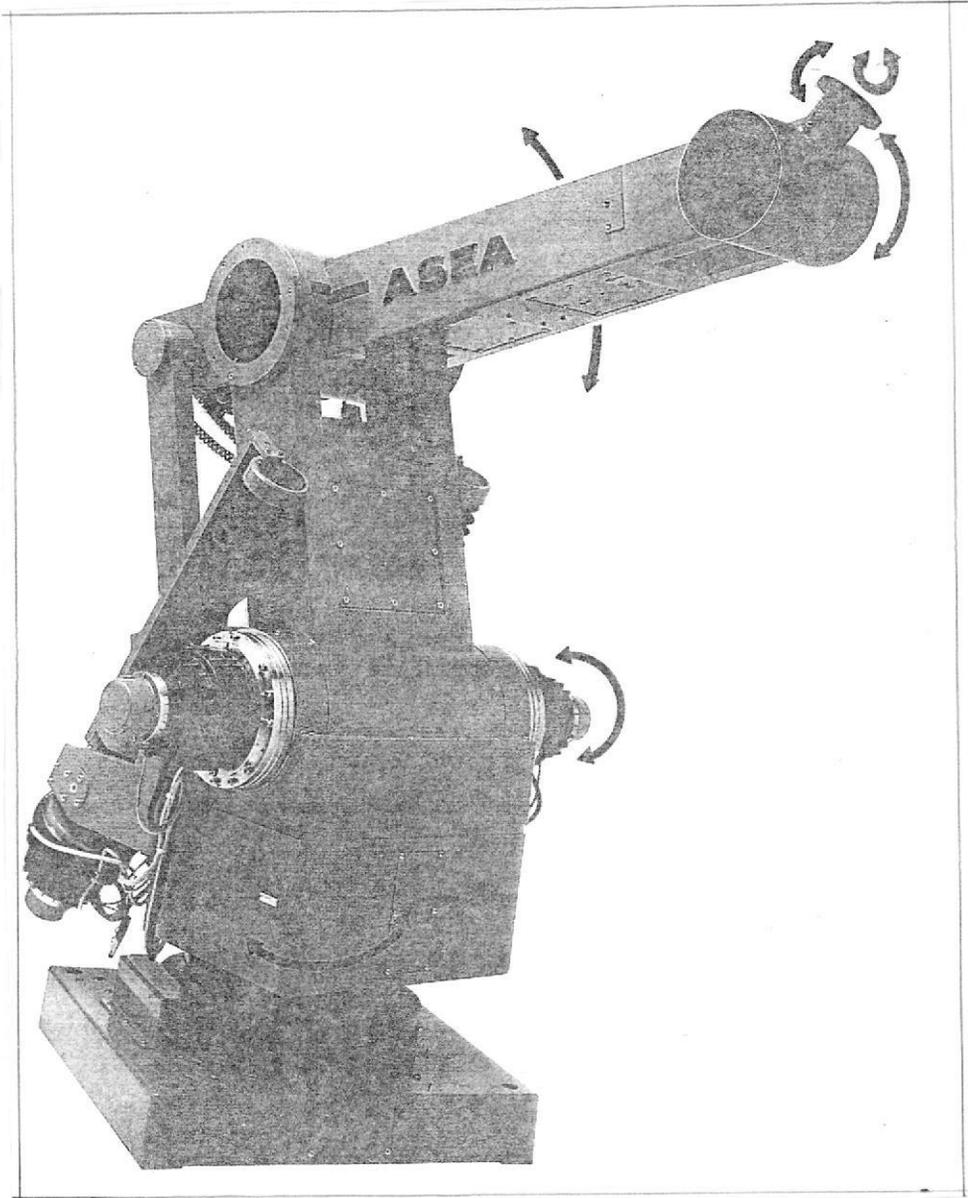


Fig.14 ROBOT INDUSTRIAL IRB 60/2 DE ASEA

desbarbado son las causas para que dicha operación sea bien apropiada para los robots.

Del costo de la inversión en la aplicación de un robot para mecanizado, aproximadamente el 45% corresponde al robot base, el 35% a accesorios y el 20% a gastos de instalación.

1.6.2. MANIPULACION

Se consideran aquí todas aquellas operaciones que exigen el movimiento de una pieza dentro de un proceso, o de proceso a proceso. Las tareas que se consideran dentro de la manipulación son las siguientes: ensamblaje, alimentación de maquinarias, transporte de piezas, paletización, embalaje y fabricación.

1.6.2.1. ENSAMBLAJE

El ensamblaje es una de las aplicaciones de robots que ha tenido un rápido crecimiento. El ensamblaje en la industria electrónica, por ejemplo, es una labor completa y cara, a pesar de que muchas de las operaciones de ensamblaje ejecutadas están dentro de las capacidades de un robot pequeño.

El ensamblaje es una de las tareas que reviste más dificultades, sobre todo cuando las piezas son bien pequeñas o de formas complicadas.

Uno de los principales problemas que se presentan es el de la correcta coordinación entre los movimientos del robot, los de las piezas a ensamblar y las alimentadoras de los componentes.

Los robots empleados hoy en día para este tipo de labores, ensamblan tarjetas de circuitos impresos (dentro de las cuales son insertados automáticamente los componentes) o pequeños sistemas.

Algunas tareas de ensamblaje requieren más de un robot. Con el fin de reducir costos, hay sistemas en los cuales varios brazos en coordenadas cartesianas comparten la misma base y el mismo controlador. En la Figura 15 se observa una estación de ensamblaje que tiene dos robots en coordenadas cartesianas.

Los robots de ensamblaje pueden ser diseñados en cualquier sistema de coordenadas, sin embargo, muchas tareas requieren únicamente

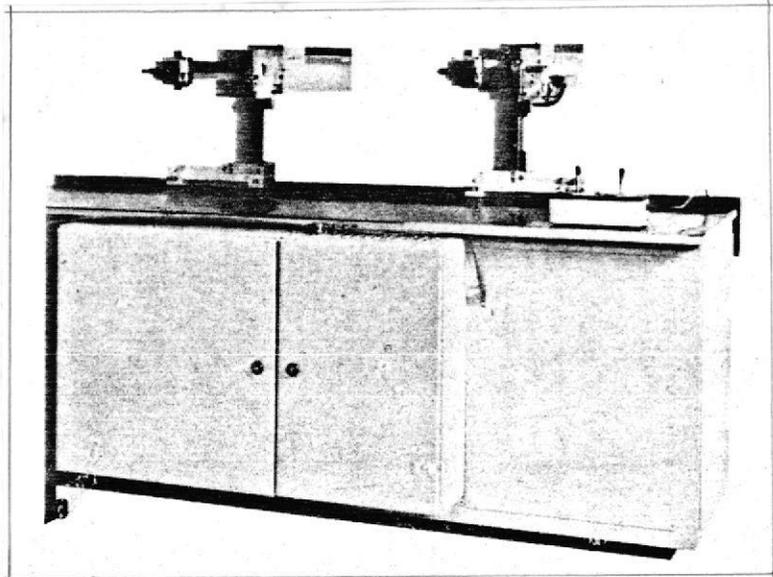
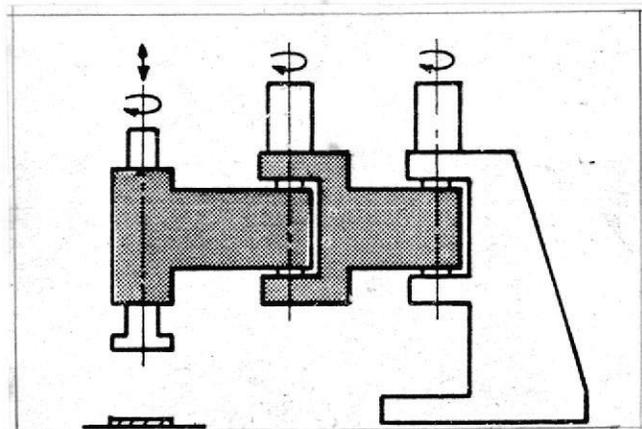


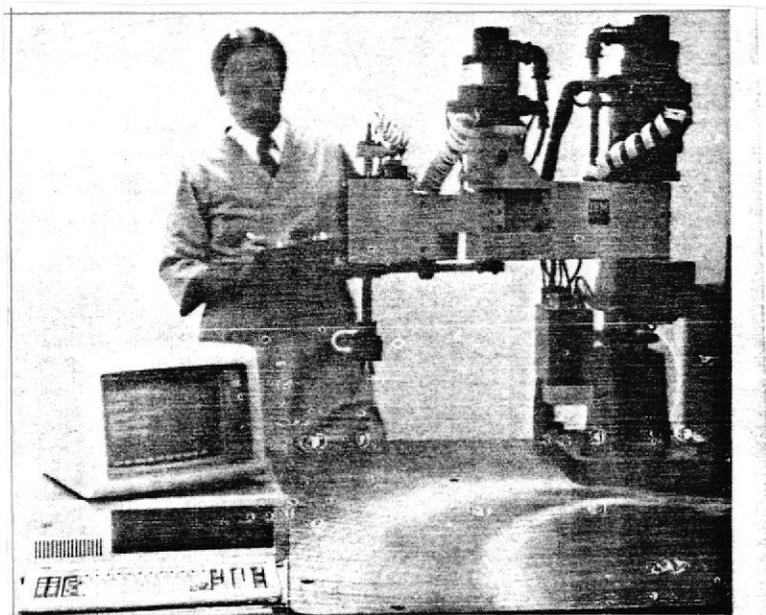
Fig.15 ESTACION DE ENSAMBLAJE CON DOS ROBOTS

movimientos de ensamblaje vertical, tal es el caso del ensamblaje en tarjetas de circuitos impresos, en la que el robot de cuatro ejes mostrado en la Figura 16(a) puede ser el adecuado. Su brazo tiene dos movimientos articulados y la muñeca tiene dos ejes de movimiento: uno de desplazamiento lineal vertical y otro de movimiento giratorio. Este robot puede coger piezas localizadas en un plano horizontal, llevarlas al lugar de ensamblaje, orientarlas con el movimiento giratorio de la muñeca y finalmente, insertarlos con un movimiento vertical.

Esta clase de robot, conocido como SCARA o "brazo de robot de ensamblaje con acomodación selectiva" (Selective Compliance Assembly Robot Arm), fue desarrollado en Japón como un resultado del esfuerzo de cinco Compañías y de la Universidad de Yamamachi. Actualmente, en Japón existen más de diez robots tipo SCARA y unos pocos en los Estados Unidos. Un robot tipo SCARA ofrecido en los Estados Unidos y en Europa está mostrado en la Figura 16(b). Este robot es programado con la ayuda de una computadora personal, usando un subconjunto del lenguaje AML.



(a)



(b)

Fig. 16 ROBOT TIPO SCARA: (a) ILUSTRACION DEL ROBOT, (b) PROGRAMACION DEL ROBOT CON LA AYUDA DE UNA IBM PC

En Japón asimismo se encuentra instalado un sistema de ensamblaje en una fábrica de la firma SONY en Tokio para la producción de su producto "para persona de paseo" conocido como WALKMAN. Dicho sistema puede producir 200.000 unidades al mes.

Finalmente, se puede añadir que del costo total de inversión para la robotización de tareas de ensamblaje, aproximadamente el 40% corresponde al robot propiamente dicho, el 35% al elemento terminal y accesorios y el 25% a gastos propios de instalación.

1.6.2.2. ALIMENTACION DE MAQUINARIAS

En este numeral se encuentran las aplicaciones en las que el robot sirve a una maquinaria especializada, transfiriendo piezas a la misma o llevándolas desde la maquinaria a otra parte o ambas tareas. En otras palabras, los robots son utilizados para cargar y descargar máquinas-herramienta. Estas operaciones pueden ser realizadas con una de las configuraciones básicas siguientes: (1) el robot atiende a una sola máquina, (2) el robot sirve a varias

máquinas. La primera es utilizada cuando los tiempos de mecanizado típicos por pieza son cortos y la segunda cuando debe ser ejecutada una serie de operaciones para completar una pieza.

De la unión del robot con las máquinas de producción nace el concepto de celda o célula de trabajo. Cada célula consiste básicamente de varias máquinas-herramienta de control numérico (o maquinaria especializada) dispuestas en forma de círculo alrededor de un sólo robot, tal como se muestra en la Figura 17.

Los robots han sido utilizados con éxito para ejecutar tareas con máquinas-herramienta en las siguientes operaciones de producción: vertido de metal fundido, moldeado plástico, forja, mecanizado y prensa.

En la Figura 18 se muestra la foto de un robot T3 de Cincinnati Milacron, ejecutando una operación de carga y descarga.

Finalmente, de la inversión para la robotización de tareas de carga/descarga puede considerarse que alrededor del 55% corresponde al robot, un

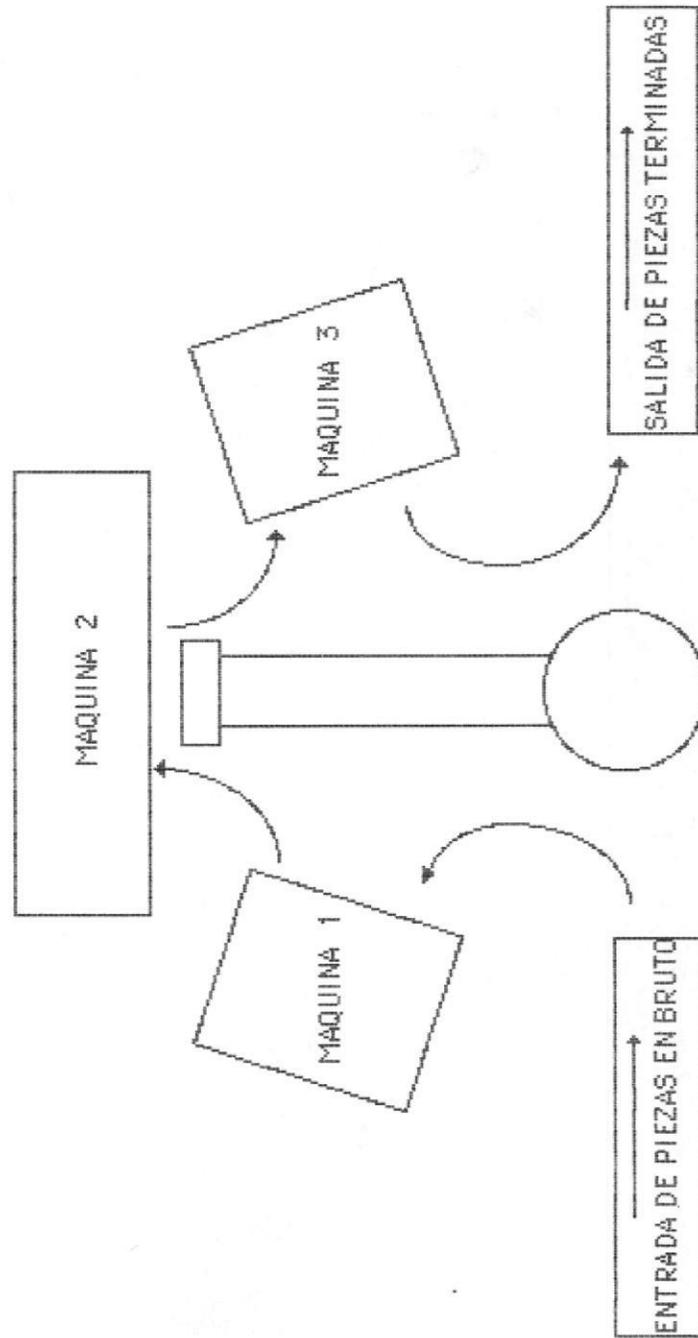


Fig. 17 EJEMPLO DE CONFIGURACION DE UNA CELULA DE TRABAJO

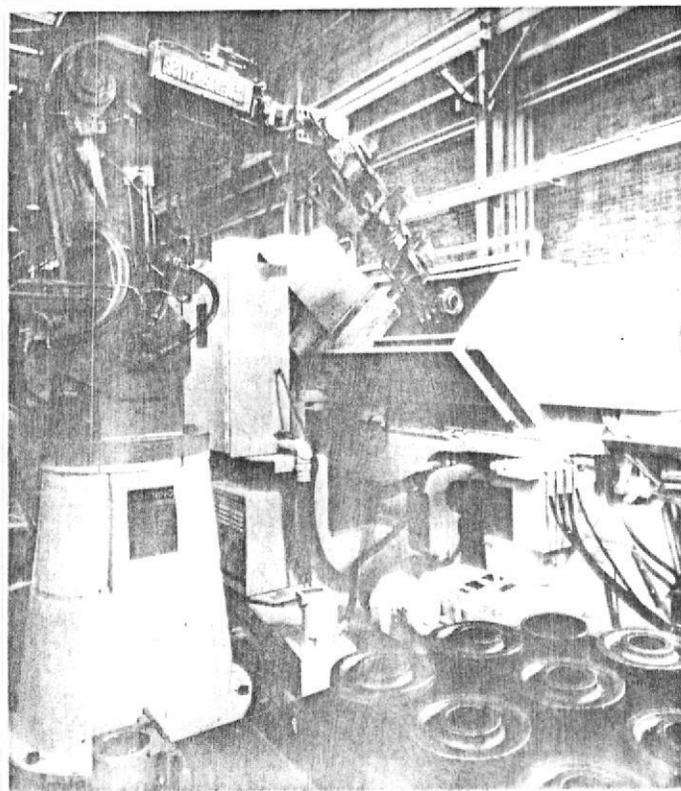


Fig.18 ROBOT REALIZANDO OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA

20% al elemento terminal y accesorios y el 25% restante a gastos de instalación.

1.6.2.3. TRANSPORTE DE PIEZAS

Dentro de las aplicaciones de transporte de piezas están las operaciones en las cuales el objetivo principal es mover una pieza de un lugar a otro. Estas aplicaciones usualmente necesitan de un robot relativamente sencillo y los requerimientos de interconexión con otros equipos no son complicados. Sin embargo, hay ciertas aplicaciones de transporte de materiales que tienen patrones de movimiento que cambian de ciclo a ciclo por lo que se requiere un robot más sofisticado.

Las aplicaciones de transporte de piezas a menudo son llamadas operaciones tipo recoger-colocar debido a que el robot simplemente recoge la parte de un sitio y la coloca en otro.

En el caso más simple, la pieza es presentada al robot por algún dispositivo de alimentación mecánica o cinta transportadora en un lugar y orientación conocidos.

En ambientes hostiles como los que se encuentran en industrias de fundición o forja, los robots son usados a menudo para manipular objetos a altas temperaturas, particularmente en operaciones de acuñado.

Cabe anotar finalmente que las características de los robots para transporte son similares a las de los robots utilizados para alimentación de maquinarias.

1.6.2.4. PALETIZACION

La operación de colocar productos elaborados sobre plataformas con el fin de almacenarlos, es común en una fábrica. Dicha operación es conocida como paletización y lo contrario, es decir, la acción de recoger productos de una plataforma se la denomina depaletización.

Los robots usados para la paletización pueden tener cualquiera de las cuatro configuraciones comunes para robots. Cada configuración opera en forma diferente y tiene sus ventajas particulares. Los robots de configuración angular, por ejemplo, pierden alcance horizontal en el fondo y en la parte superior de

su carrera. Una buena solución a este inconveniente se la consigue elevando sobre el nivel del piso la plataforma junto con los productos que están normalmente en cajas para así colocar al conjunto plataforma-productos en el centro del espacio de trabajo del robot. No ocurre lo mismo con los robots que tienen una configuración rectangular que pueden cubrir un gran espacio de trabajo y en consecuencia pueden realizar tareas de paletización más grandes. En la Figura 19 se observa a un robot T-566 de Cincinnati Milacron recogiendo una caja de cartón de una carga paletizada.

1.6.2.5. EMBALAJE

El embalaje o empaquetamiento de piezas para embarque es una tarea tediosa, monótona y requiere de una atención cuidadosa para asegurar que todos los artículos pedidos estén incluidos y protegidos. Los robots pueden usarse en este tipo de operaciones con el fin de reducir errores, eliminar daños por manipulación de los trabajadores y asegurar los etiquetados apropiados.

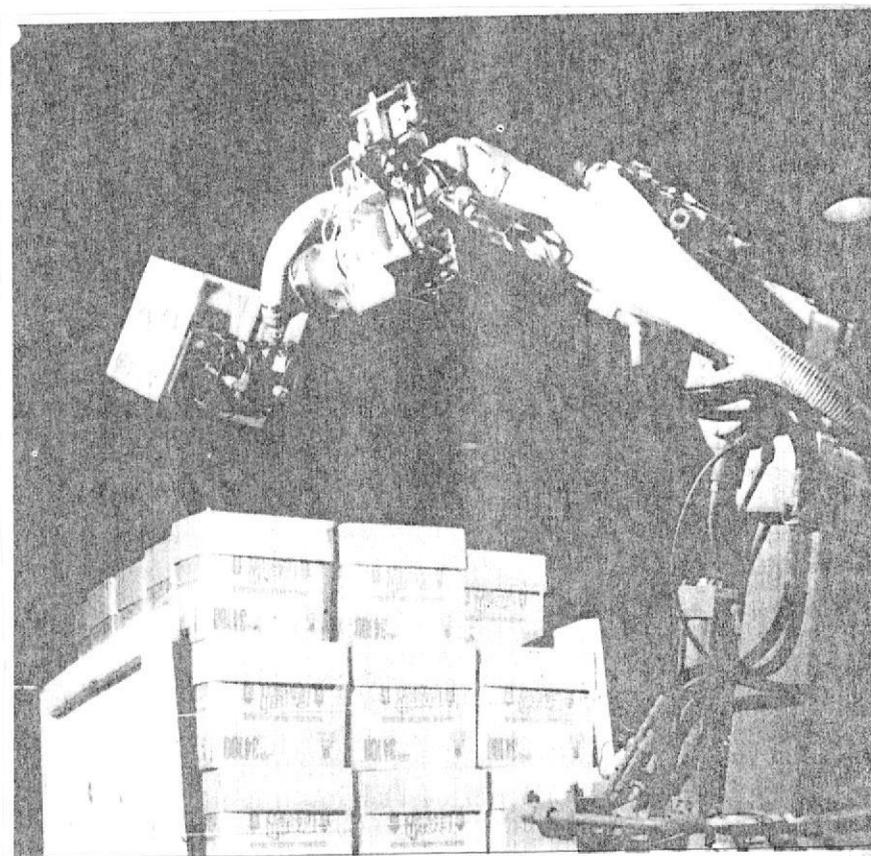


FIG. 19 ROBOT REALIZANDO TAREAS DE DEPALETIZACION

Otra ventaja con el uso de robots en estas tareas está en la flexibilidad que brindan, de tal manera que se puede tratar con diferentes tipos de embalaje.

1.6.2.6. FABRICACION

En este numeral se estudiará brevemente a los sistemas de fabricación flexible o FMS (flexible manufacturing systems), entendiéndose por fabricación flexible a la capacidad de un sistema automático para adaptarse a la fabricación de versiones diferentes de una misma pieza o de distintas piezas que siguen prácticamente un mismo proceso.

En términos generales, un sistema de fabricación flexible está conformado por los siguientes elementos: un conjunto de células de trabajo, un sistema de manutención y transporte y un computador.

El objetivo fundamental del sistema de manutención y transporte es el de ubicar todas las piezas que van a ser manipuladas. Por lo general, estos equipos están relacionados con dispositivos de almacenaje tales como cintas

transportadoras, rampas, etc.

La supervisión y la coordinación entre las diversas operaciones las realiza el computador.

Este tipo de sistemas podría trabajar 24 horas en forma continua y requiere únicamente la participación de trabajadores en el turno del día. En este turno de trabajo se podrían llevar a cabo las siguientes actividades: preparar los programas para el computador, realizar la planificación de la producción, disponer las piezas en las plataformas, etc.

Un buen ejemplo de una aplicación de una célula robotizada se encuentra en una planta de IBM localizada en Poughkeepsie (New York), la cual se dedica a grabar y embalar diskettes con el fin de suministrar información acerca de sus grandes sistemas de computación. Esos diskettes contienen información corregida y características de los sistemas para usar en las operaciones de los mismos. La grabación de los diskettes y su embalaje para el embarque fue una tarea tediosa y desagradable cuando se las hacía manualmente. Los errores de etiquetado fueron muy frecuentes. Después de

hacer un minucioso estudio de alternativas se decidió que una célula robotizada era la mejor solución. La Figura 20 muestra a esa célula de trabajo que incluye al robot PUMA 560 de Unimation.

Es preciso anotar, sin embargo, que en la actualidad los sistemas de fabricación flexible se encuentran aún en una fase experimental debido principalmente a la gran complejidad que supone una eficiente programación de su funcionamiento. En el numeral 3.4. se estudiará algo más acerca de las células robotizadas.

1.6.3. SECTORES INDUSTRIALES DE APLICACION

En la Tabla II se presentan las principales aplicaciones de los robots por sectores industriales a título indicativo de posibilidades.

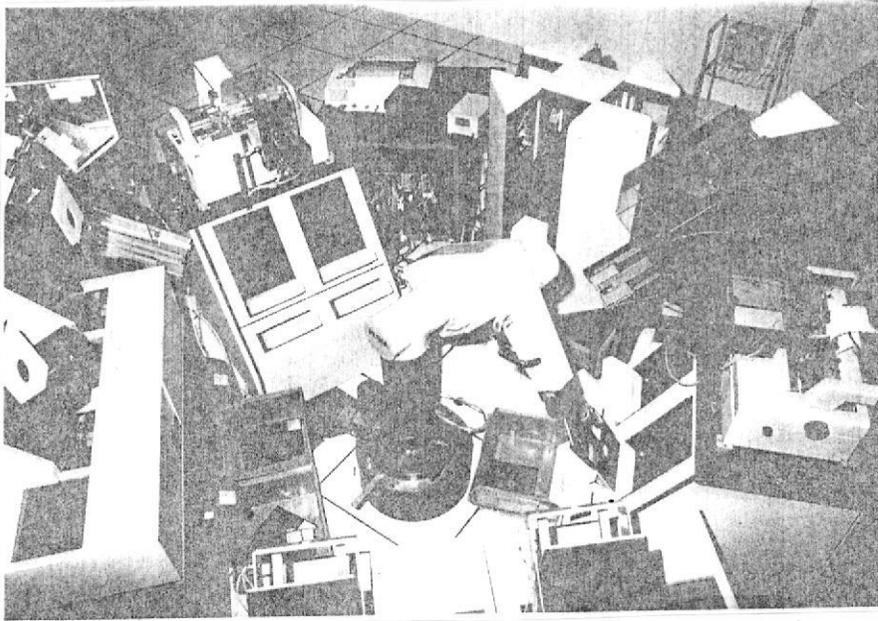


Fig. 20 CELULA DE TRABAJO APLICADA PARA ESCRIBIR DISKETTES

TIPO DE APLICACION SECTOR INDUSTRIAL	Soldadura	Tratamiento de superficies	Mecanizado	Ensamblaje	Alimentación	Transporte	Paletización	Embalaje
Agro-alimentario		X			X	X	X	X
Automóvil	X	X	X	X	X			
Construcción eléctrica		X	X	X	X	X		X
Electrodomésticos		X	X	X				
Electrónica				X	X			
Madera y muebles		X	X	X	X	X	X	
Manutención					X	X	X	X
Material agrícola	X	X	X					
Materiales construcción y vidrio		X			X	X	X	
Mecánica general	X	X	X	X	X	X		
Metalúrgico	X		X	X	X	X	X	
Obras públicas	X	X	X		X			
Químico-plásticos				X	X	X	X	X
Textil y moda		X					X	X

TABLA II PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS ROBOTS POR SECTORES INDUSTRIALES

CAPITULO II

ANALISIS ECONOMICO EN ROBOTICA

2.1. CONSIDERACIONES IMPORTANTES

Ya que el costo de los robots y sus servicios de soporte son demasiados costosos, la implantación de un robot en una industria puede hacerse después de probarse su factibilidad económica. La decisión de invertir en un robot en muchos casos puede estar basada sólo en el factor económico. Así, una de las razones principales que han favorecido la gran demanda de robots industriales en estos últimos años ha sido la económica.

Por lo anotado anteriormente, es aconsejable que una industria una vez que haya implantado un robot en sus plantas, lo utilice al máximo, asegurando que pueda operar el mayor tiempo posible cada día. Lo ideal, por tanto, sería que el robot trabaje durante las 24 horas del día, o lo que es lo mismo tres turnos de ocho horas cada uno; pero considerando que en la mayoría de los casos esto podría ser impráctico, debería adoptarse por lo menos una operación a dos turnos.

Toda inversión involucra el uso de recursos escasos para la

consecución de un fin productivo, rentable para el inversionista y provechoso para el país. Con el objetivo de garantizar la inversión de un sistema robotizado que cumpla con estas condiciones, se describirán en este capítulo varios métodos de análisis económico que sirven para determinar los méritos económicos del proyecto.

Debido a que un robot industrial es considerado como un equipo, el análisis económico es por consiguiente, el mismo que se haría para cualquier equipo o máquina que una industria pretenda adquirir. Hay dos situaciones donde se usa el análisis económico y las mismas dependen del tipo de instalación robotizada. La primera situación implica la inversión en un equipo para una nueva aplicación y la segunda, el reemplazo de un método existente en la planta.

El análisis económico de un proyecto de ingeniería tiene una gran importancia ya que en base a ése, la administración de la industria decide si se debe o no instalar el proyecto.

Es fundamental incluir en el estudio del proyecto a la localización de la industria, la misma que se refiere a la ubicación de ésa en un lugar determinado de una zona geográfica. Dicha localización dependerá fundamentalmente de varios factores como son: disponibilidad de recursos productivos, existencia de servicios de apoyo, facilidades de acceso a los mercados y costos de transporte tanto de insumos

como de los productos a ser vendidos.

Por último, puede anotarse que no es la intención de este capítulo hacer del lector un especialista en economía, sino el de dar a conocer los pasos a seguir en un análisis económico, haciendo mención de los diversos factores que deben ser considerados cuando se presenta una propuesta de inversión.

2.2. METODOS DE ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico de un sistema robotizado debe incluir su costo total. Además del costo del robot base tienen que considerarse los costos de:

1. Elemento terminal.
2. Sensores
3. Cambios necesarios en la planta.
4. Alimentadoras y otros dispositivos necesarios para presentar las piezas en una orientación predeterminada.
5. Mantenimiento (en los EE.UU. puede estimarse que el costo de mantenimiento anual es el 10% del costo del robot).

En el numeral 2.2.2. se ampliará algo más acerca de los costos implicados en un proyecto de Robótica.

Los beneficios económicos que se tienen cuando se usa un robot en una aplicación particular en una industria están estrechamente relacionados con los ahorros obtenidos. Los factores que inciden en el ahorro obtenido al introducir un robot en una planta son los siguientes:

- Ahorros salariales. Son debidos al trabajo en 2 o 3 turnos.
- Por el aumento en la calidad de producción. Registrado en forma de series más homogéneas y con menos probabilidad de rechazo.
- Por el incremento en la productividad. Que se consigue cuando un robot tiene un período de trabajo menor que el de la operación manual (antes de robotizar), cuyo período está determinado por la velocidad de trabajo del operador.
- Ahorro en materias primas.
- Ahorro energético. Que puede deberse a la reducción en la iluminación.
- Ahorro en espacio útil.

FORMULAS DE COSTO DE INVERSION TOTAL Y AHORRO

El costo total de inversión de capital es:

$$C = R + G + S + D + F$$

donde: R, G, S, D y F son los costos que corresponden a:

R : Robot base

G : Elemento terminal

S : Sensores

D : Cambios en la planta

F : Alimentadoras

Por otra parte, el ahorro total anual es:

$$A = L + Q + I$$

donde: L, Q e I son los ahorros que corresponden a:

L : Sueldos de trabajadores o salariales

Q : Mejoramiento en la calidad

I : Incremento en la producción

Cabe anotar, que tanto Q como I son difíciles de cuantificar.

Hay tres métodos comunes de análisis económico para Robótica usados en la industria, a saber:

1. El período de amortización.
2. Valor actual neto (VAN).
3. Retorno sobre la inversión o tasa interna de retorno.

El primero de ellos es el más simple, mientras que los dos últimos son más extensos y serán estudiados en el numeral 2.2.2. (análisis económico detallado).

EL PERIODO DE AMORTIZACION

En este método se desea conocer el tiempo requerido para "recuperar" la inversión inicial. El período de amortización P (en años) puede ser calculado dividiendo la inversión total C para el ahorro neto anual. Por tanto:

$$P = \frac{C}{A - M}$$

donde A - M representa el ahorro neto anual.

EJEMPLO DE APLICACION

Este ejemplo consta de las siguientes dos partes:

1. Cálculo del período de amortización P en los Estados Unidos: aquí se considera el salario y el costo de mantenimiento aproximados en ese País. Los cálculos se harán directamente con dólares norteamericanos (\$ o U.S. dollars).
2. Cálculo del período de amortización P en nuestro País (Ecuador): aquí se considera el salario y el costo de mantenimiento estimados correspondientes. Los cálculos se harán con moneda nacional (Sucres).

Se considerará para ambas partes, el peor de los casos, es decir, supondremos que no habrán cambios en la planta ni incremento en la producción y que el ahorro anual se debe tan sólo al factor salarial. Los resultados de esas dos partes servirán para establecer sus diferencias.

CALCULO DEL PERIODO DE AMORTIZACION EN LOS ESTADOS UNIDOS

Un robot destinado para carga de máquinas cuesta 46.000 dólares y los costos del elemento terminal requerido, de los sensores y de la alimentadora cuestan 5.000, 1.000 y 30.000 dólares respectivamente. El robot reemplazará a un operador que gana 16 dólares por hora y trabaja 8 horas al día, 250 días al año (se incluyen aquí los beneficios de ley). ¿Cuál será el período de amortización para uno y dos turnos?

DATOS Y CALCULOS PREVIOS:

$$R = \$ 46.000$$

$$Q = 0$$

$$G = \$ 5.000$$

$$I = 0$$

$$S = \$ 1.000$$

$$M = 0,1 \times \$ 46.000 =$$

$$D = 0$$

$$= \$ 4.600$$

$$F = \$ 30.000$$

$$L = \$ 16/\text{hora} \times 8 \text{ horas/día} \times 250 \text{ días/año}$$

$$= \$ 32.000/\text{año/turno}$$

$$A = L = \$ 32.000 \text{ para una operación de un turno y}$$

$$\$ 64.000 \text{ para una de dos turnos}$$

CALCULOS FINALES:

El costo total de inversión es por tanto:

$$C = R + G + S + D + F$$

$$C = \$(46.000 + 5.000 + 1.000 + 30.000)$$

$$C = \$ 82.000$$

Sustituyendo los valores calculados en la ecuación del período

P, para una operación de un turno:

$$P = \frac{82.000}{32.000 - 4.600} \text{ años}$$

$$P = 2,99 \text{ años}$$

y en una operación a dos turnos:

$$P = \frac{82.000}{64.000 - 4.600} \text{ años}$$

$$P = 1,38 \text{ años}$$

Tomando en cuenta que un período de amortización inferior a dos años es típico para la mayoría de los robots en una operación de dos turnos, el último resultado obtenido es muy bueno.

CALCULO DEL PERIODO DE AMORTIZACION EN ECUADOR

Se considerará aquí que el robot y demás accesorios son iguales que en el caso anterior, y por ende, el costo total de inversión será el mismo, con la salvedad que dicho costo será

transformado en sucres. Es importante anotar que esta parte del ejemplo difiere de la anterior únicamente en los sueldos y en el costo de mantenimiento.

Considérese que un ingeniero operador en nuestro país gana al mes 150.000 sucres y que el costo de mantenimiento anual es de 600.000 sucres.

Por otra parte, debido a las permanentes fluctuaciones del dólar que traerían como consecuencia alteraciones en los cálculos, se considerará una cotización estable del dólar a 900 sucres.

DATOS Y CALCULOS PREVIOS:

$$C = S/. 82.000 \times 900 = S/. 73'800.000$$

$$L = S/. 150.000 \times 12 \text{ meses} = 1'800.000/\text{año}/\text{turno}$$

$$A = L = S/. 1'800.000 \text{ para una operación de un turno y} \\ S/. 3'600.000 \text{ para una de dos turnos}$$

$$M = S/. 600.000$$

CALCULOS FINALES:

Para una operación de un turno:

$$P = \frac{73'800.000}{1'800.000 - 600.000} \text{ años}$$

$$P = 61,5 \text{ años}$$

Lo que significa que la inversión en la implantación de ese robot se recuperaría a los 61 años y 6 meses, lo cual es absurdo. Este resultado es debido fundamentalmente al sueldo extremadamente bajo con relación a dos factores: al sueldo de un operador en los Estados Unidos y al costo mismo de la inversión. A continuación se calculará P considerando una operación a dos turnos:

$$P = \frac{73'800.000}{3'600.000 - 600.000} \text{ años}$$

$$P = 24,6 \text{ años}$$

A pesar de que este último resultado es muy inferior al período calculado para un sólo turno, sigue siendo demasiado elevado.

2.2.1. JUSTIFICACION ECONOMICA

El resultado del análisis económico realizado por los métodos del VAN y TIR que se verán luego, será el motivo en base al cual puede tomarse la decisión de invertir en un robot, lo que constituye por tanto, su justificación económica.

La justificación se define como el conjunto de circunstancias que motivan una decisión en favor de una acción particular. Por ejemplo, se justifica la compra de un robot de soldadura, porque suelda más rápido, mejor y más seguro que un operador. Si un robot no cumpliera determinados objetivos, no habría justificación y por lo tanto no se lo adquiere.

2.2.2. ANALISIS ECONOMICO DETALLADO

El análisis económico puede ser llevado a cabo en las cuatro partes siguientes:

1. Estudio de mercado
2. Las inversiones
3. Los ingresos y los costos
4. La evaluación del proyecto

EL ESTUDIO DE MERCADO

En una economía de mercado, toda unidad productiva produce con el fin de vender sus productos y servir al mercado, sea éste nacional o internacional.

Cualquier mercado, indistintamente, está compuesto por los productores y por los compradores que conforman la oferta y la demanda, respectivamente.

El ingreso de un nuevo productor al mercado o el incremento de la producción de una industria ya establecida puede justificarse, por ejemplo, si existe una demanda insatisfecha o lo que es lo mismo, si la oferta actual no cubre los requerimientos de la demanda.

Cabe anotar que el estudio de mercado puede involucrar no sólo a la magnitud de la demanda insatisfecha actual sino también a una proyección hacia el futuro que nos indique la tendencia en el comportamiento del mercado. Ese estudio nos dá la base para la determinación del tamaño de la industria, el cual está dado por el volumen de producción anual.

LAS INVERSIONES

Las inversiones son hechas para cumplir los tres

objetivos siguientes: implantación, puesta en marcha y operación del proyecto.

Las inversiones pueden clasificarse en dos tipos: las fijas, que se necesitan para la instalación del proyecto y las de trabajo u operación, que se necesitan para el funcionamiento de la industria.

LAS INVERSIONES FIJAS

La inversión fija se compone de los siguientes costos:

- Costo de las investigaciones y estudios previos.
- Costo de adquisición del robot con todo su equipo (sin elemento terminal).
- Costo de los periféricos como garras y herramientas, alimentadoras, sensores, etc.
- Costo de la instalación de los equipos. Aquí se considera la preparación del lugar, de asentamiento del robot, entrada de energía, instalación de seguridad, etc.
- Costo de organización de la industria.

- Costo de patentes y similares.
- Costo de planificación y de ingeniería.
- Costo de la puesta en marcha.
- Imprevistos.

EL CAPITAL DE OPERACION

El capital de trabajo se compone de los siguientes rubros:

- Insumos
- Energía eléctrica
- Agua potable
- Otros materiales
- Sueldos y salarios

El capital de operación se lo requiere en forma permanente durante la vida de la industria.

Por último, sería muy conveniente para la industria elaborar una tabla que muestre las condiciones económicas (donde se incluyan los rubros del capital de trabajo) actuales, es decir, antes de robotizar, y las que

se tendrían con un robot.

LAS DIVISAS Y EL CALENDARIO DE INVERSIONES

Antes de efectuar las inversiones, es importante conocer los requerimientos de moneda extranjera, con el objetivo de estimar los efectos directos sobre la balanza de pagos del País.

Por otro lado, es aconsejable preparar un calendario de inversiones, tanto en sucres como en dólares que indique acerca de las posibilidades financieras necesarias para dar atención a la implantación, puesta en marcha y funcionamiento de la industria.

LOS INGRESOS Y LOS COSTOS

Con la finalidad de evaluar la conveniencia de la inversión, es necesario estimar los ingresos y los costos que se van a tener anualmente, durante la vida útil del robot.

LOS INGRESOS

Los ingresos quedarán determinados por el volumen de producción y por el precio de venta de las piezas que se produzcan anualmente.

El volumen de producción dependerá del tamaño de la industria y del porcentaje usado de la capacidad instalada. Si los precios no se alteran, los ingresos sufrirán una variación de acuerdo a ese porcentaje, año tras año.

Si las piezas son exportables, los ingresos experimentarán una variación adicional según la cotización de la divisa en que se exprese el precio de venta de esas piezas.

LOS COSTOS

Los rubros principales que comprenden los costos son los siguientes:

- Insumos.
- Otros materiales.
- Mano de obra (Sueldos salarios y beneficios sociales).
- Impuestos prediales y de transacciones mercantiles, seguros y arriendos.
- Energía y combustible.
- Gastos de venta.
- Depreciación y obsolescencia.

- Intereses.
- Imprevistos y varios.

LA EVALUACION DEL PROYECTO

Con todo lo anotado anteriormente, se pueden exponer a continuación algunos criterios de evaluación relacionados con la conveniencia de invertir en el proyecto robotizado.

DETERMINACION DEL PUNTO DE NIVELACION DE LA INDUSTRIA

En la Tabla III se observan datos hipotéticos de una supuesta industria que quiere robotizar una operación de su planta, considerando 10 años de vida útil del robot. En esa tabla se encuentran valores correspondientes a: inversión fija, capital de operación, ingresos, costos, utilidad de operación, depreciación, intereses y flujo de fondos netos. Se muestran además, los costos totales anuales en los que ha de incurrir dicha industria. El costo total implica dos tipos de costos: los costos fijos y los costos variables, por lo que:

$$CT = CF + CV$$

RUBRO	AÑOS											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INVERSION FIJA	-32.000											
CAPITAL DE OPERACION		-8.000										
INGRESO POR VENTA DE LOS PRODUCTOS		22.400	26.800	30.960	30.960	30.960	30.960	30.960	30.960	30.960	30.960	30.960
SEGUROS Y ARRIENDOS		-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
DEPRECIACION		-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200	-3.200
INTERESES		-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
MANTENIMIENTO		-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400
COSTO FIJO TOTAL		-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600	-6.600
INSUMOS		-2.450	-3.000	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600	-3.600
SUELDOS Y SALARIOS		-4.600	-5.000	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400	-5.400
ENERGIA Y COMBUSTIBLES		-375	-750	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500
IMPREVISTOS		-700	-750	-850	-850	-850	-850	-850	-850	-850	-850	-850
COSTO VARIABLE TOTAL		-8.125	-9.500	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350	-11.350
COSTO TOTAL		-14.725	-16.100	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950	-17.950
UTILIDAD DE OPERACION		7.675	10.700	13.010	13.010	13.010	13.010	13.010	13.010	13.010	13.010	13.010
DEPRECIACION		3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200
INTERESES		2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
FLUJO DE FONDOS NETOS	-32.000	4.875	15.900	18.210	18.210	18.210	18.210	18.210	18.210	18.210	18.210	18.210

TABLA III FORMATO QUE CONTIENE DATOS ESTIMADOS DE UN SUPUESTO PROYECTO ROBOTIZADO PARA APLICAR EL METODO DEL VAN
 (*LOS VALORES ESTAN EN MILES DE SUQUES)

Los costos fijos son los que se asumen una vez que se encuentra el proyecto instalado, se produzca o no con el mismo. Entre éstos encontramos los de guardianía, mantenimiento, seguros, arriendos, impuestos prediales y depreciación de equipos e instalaciones.

Los costos variables son aquellos que varían con el volumen de producción y alcanzan su máximo valor cuando se utiliza toda la capacidad instalada de la industria.

Si anualmente se producen 180.000 piezas y el precio de venta de cada una es de S/. 172, el máximo ingreso total alcanzable, al 100% de uso de la capacidad instalada es de S/. 30'960.000.

Ahora, si el costo fijo anual es de S/. 6'600.000 y el costo variable anual, trabajando a máxima capacidad es de S/.11'350.000, el costo total anual será:

$$CT = S/. 6'600.000 + S/.11'350.000$$

$$CT = S/. 17'950.000$$

Si se grafican esos valores del proyecto, se puede relacionar los ingresos y costos totales con el fin de encontrar el nivel de operación mínimo a partir del cual

se comienzan a obtener ganancias (Figura 21).

Como se puede ver en dicha figura, el punto de nivelación nos señala que el nivel mínimo aceptable de operación es una producción anual de 60.000 piezas, lo que representa aproximadamente el 34 % de la capacidad instalada.

El criterio de evaluación de la conveniencia de operar esta industria indica que mientras más bajo es el punto de nivelación, mejor es el proyecto. Esto se debe a que el nivel mínimo de operación aceptable involucra un escaso uso de la capacidad instalada por lo que las perspectivas de ganancias serán mayores.

Generalmente, un proyecto se considera bueno si el punto de nivelación se encuentra en un margen de hasta el 50%.

El punto de nivelación puede ser encontrado no sólo gráficamente, sino también analíticamente, para ello se usa la siguiente fórmula:

$$n = \frac{CF}{VT - CV}$$

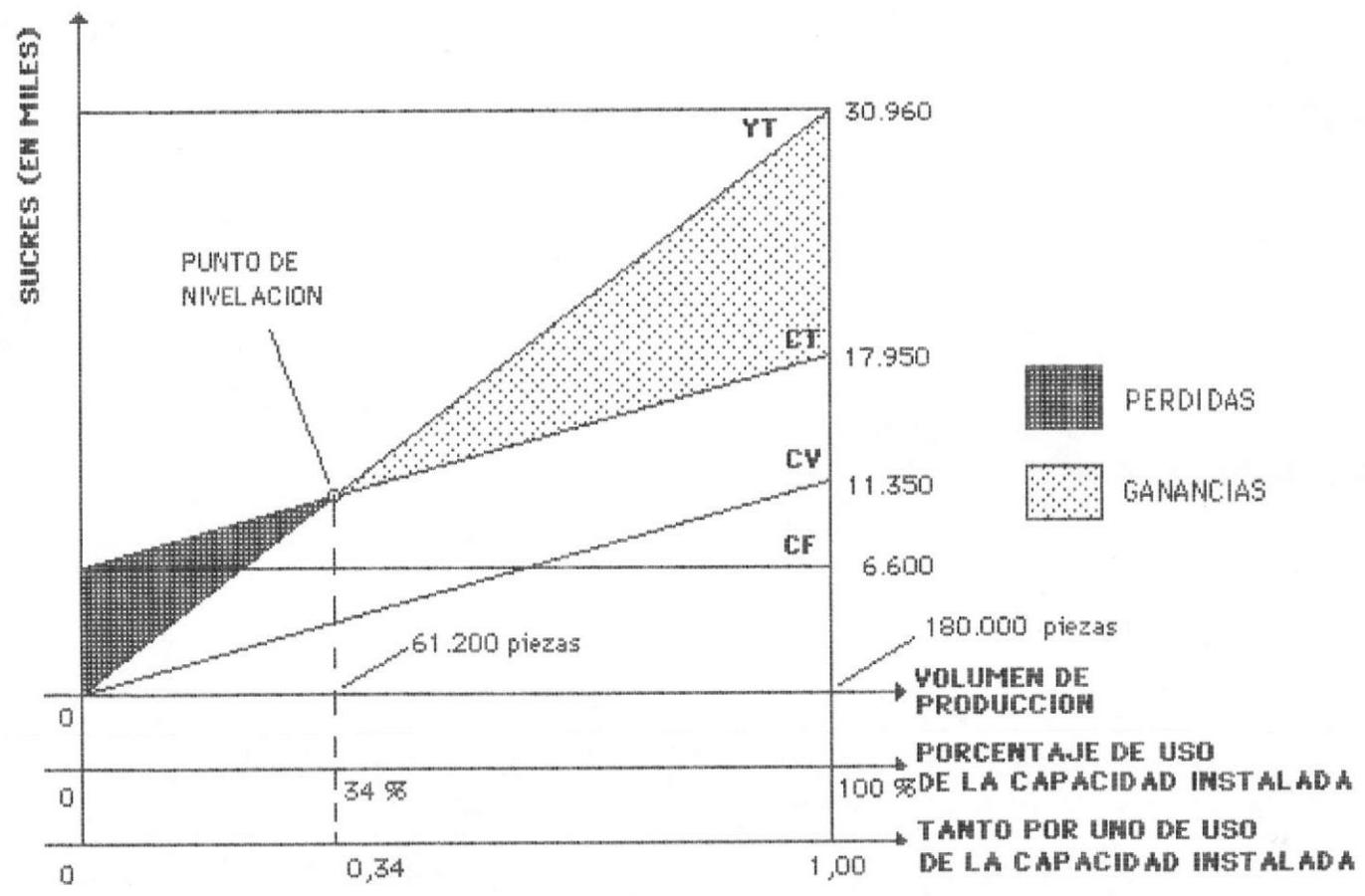


Fig. 21 GRAFICA QUE SIRVE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE NIVELACION DE UNA INDUSTRIA

donde n representa el punto de nivelación.

Para nuestro ejemplo se tiene que:

$$n = \frac{6'600.000}{30'960.000 - 11'350.000}$$

$$n = 0,34$$

Este valor corresponde, como era de esperarse, al 34 % obtenido gráficamente.

CALCULOS DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) DEL PROYECTO

El valor actual neto es la diferencia entre el valor actualizado de los rendimientos probables del proyecto durante su vida útil y la inversión.

Los rendimientos probables del proyecto se los obtiene restando los costos estimados de los ingresos estimados, año a año, para el período de vida útil.

Para poder efectuar la comparación de dichos rendimientos con el costo de la inversión, es necesario

determinar el valor presente de cada uno de los valores estimados de rendimiento futuros.

Toda cantidad de dinero actual puede ser colocada para que gane un interés, es decir que en el futuro, dicha cantidad contendrá el interés que ha ganado a través del tiempo. Tomando en consideración que toda cantidad de dinero futuro contiene un incremento (que depende de la tasa de interés) en relación con el dinero actual, se puede descontar ese incremento con el fin de hacerlo comparable con el dinero presente. En otras palabras, en la medida que el dinero se incrementa a través del tiempo con el interés compuesto, actualizar un dinero futuro no es sino descontar a ese valor el interés compuesto que ha ganado desde ahora.

Para actualizar los valores de los rendimientos probables del proyecto, debe de utilizarse una tasa de descuento de tipo social, es decir la que refleje las condiciones medias del interés que puede alcanzar un dinero invertido en nuestra economía.

La aplicación de este método de actualización trata a la depreciación y a los costos financieros como un resultado y no como un costo, motivo por el cual hay que sumar a la utilidad de operación, la depreciación y los intereses.

Para calcular el VAN se necesita conocer primero el flujo de fondos netos para cada año, los mismos que se determinan obteniendo previamente las utilidades de operación correspondientes. Se tratará con signo negativo al valor de la inversión y a los costos y con signo positivo los ingresos. Con esta consideración, la utilidad de operación se la obtiene sumando los costos y los ingresos, año por año. Vale anotar, que esto equivale a decir: la utilidad de operación se la obtiene restando los costos de los ingresos, siempre y cuando se consideren todos los signos positivos. Por su parte, el flujo de fondos netos se determina sumando a la utilidad, la depreciación, los intereses y la inversión.

El VAN puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$VAN = I + \frac{FN_1}{(1+t)} + \frac{FN_2}{(1+t)^2} + \dots + \frac{FN_6}{(1+t)^6} + \dots + \frac{FN_{10}}{(1+t)^{10}}$$

donde:

FN_n : flujo de fondos netos en el año n

t : tasa de descuento

I : costo de la inversión

De esa ecuación puede notarse claramente que el valor del VAN depende fuertemente de la tasa social de descuento elegida.

Puede apreciarse fácilmente que lo que se está haciendo año a año, es descontar a los valores, el incremento de una tasa de interés t , acumulativa a través del tiempo.

Con diferentes valores de la tasa de descuento se calcularon los respectivos VAN. En la Tabla IV se encuentran dichos resultados.

N	t_N	YAN_N (miles de sucres)
1	0,1000	65.860,75
2	0,1100	61.354,55
3	0,2462	21.588,93
4	0,3175	10.262,44
5	0,3576	5.452,61
6	0,3809	3.043,51
7	0,3945	1.749,36
8	0,4025	1.023,40
9	0,4073	599,76
10	0,4101	356,65

TABLA IV VALORES DEL VAN EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENTO t

Cabe aclarar, que los valores del VAN están en miles de sucres, ya que fueron calculados a partir de los flujos

de fondos netos, que están asimismo, en miles de sucres. Esto quiere decir que el VAN₁ de la Tabla IV, por ejemplo, tiene un valor de 65'860.750 sucres.

De esa tabla puede verse que a menor tasa se obtiene un mayor VAN y viceversa, como era de esperarse.

Finalmente, puede anotarse que si el VAN es positivo significa que el proyecto está recuperando la inversión, por lo que puede concluirse que mientras ese valor positivo sea más grande será mucho mejor.

CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) DEL PROYECTO

La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace el VAN = 0, que por oposición indica a que tasa genera el proyecto, sus propios rendimientos probables, a partir de la inversión realizada. Por tanto, lo que se quiere obtener es la tasa de descuento que haga el VAN igual a cero, en otras palabras, la TIR puede encontrarse hallando la intersección de la curva VAN vs. t con el eje de las t, tal como se aprecia en la Figura 22.

El método tradicional empleado sería el uso de aproximaciones sucesivas a la TIR en el cual se parte de

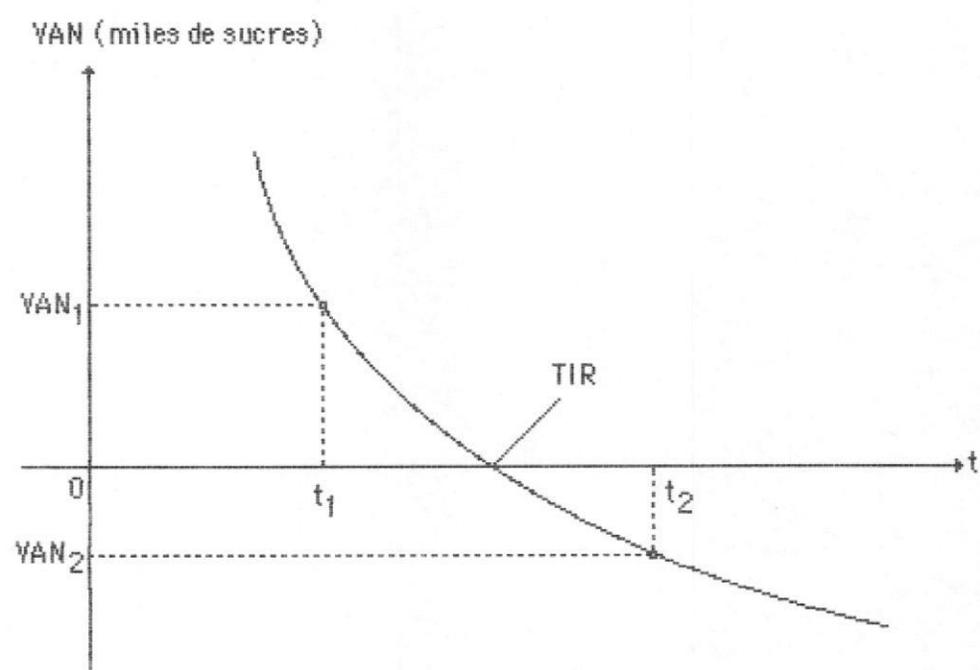


Fig. 22 GRAFICA DEL VAN VS. LA TASA DE DESCUENTO USADA PARA OBTENER LA TIR DEL PROYECTO

una t_1 la que nos conduce a un VAN_1 positivo, se busca ahora una t_2 ligeramente mayor que t_1 la que nos llevará a un VAN_2 negativo. Luego con interpolaciones lineales entre t_1 y t_2 , nos aproximamos a la TIR utilizando la siguiente fórmula:

$$t_3 = t_1 + (t_2 - t_1) \frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2}$$

Planteando una tasa de descuento de 0,20; se obtiene que:

$$VAN_1 = 31.628,25 \text{ (miles de sucres)}$$

Ahora, se busca una tasa que haga al VAN negativo y así con una tasa de 0,45; se tiene:

$$VAN_2 = -2.813,53 \text{ (miles de sucres)}$$

Las dos tasas t_1 y t_2 obtenidas servirán para calcular el valor de t_3 y su correspondiente VAN_3 . Estos valores junto con otras siete tasas más y sus respectivos VAN,

están anotados en la Tabla V.

N	t_N	YAN_N (Miles de sucres)
1	0,2000	31628,25
2	0,4500	-2813,53
3	0,4296	-1258,56
4	0,4208	-546,09
5	0,4171	-238,56
6	0,4155	-104,07
7	0,4148	-44,95
8	0,4145	-19,55
9	0,4144	-11,08
10	0,4143	-2,61

TABLA V VALORES DE t (CON SUS VAN)
CALCULADOS POR EL METODO DE
APROXIMACIONES SUCESIVAS
PARA ENCONTRAR LA TIR

Como puede verse, la variación que hay en las últimas seis tasas, es a efectos prácticos, despreciable, no obstante, el VAN si ha cambiado significativamente y puede considerarse que el VAN_{10} está muy cercano a cero. Con todo esto, puede concluirse, sin ningún temor a equivocación, que la TIR es aproximadamente igual a 41,43 %.

Si se coloca el dinero en un Banco, por ejemplo, en depósitos a plazo y si ese Banco paga un interés anual

menor que 41,43 %, puede llegarse a la conclusión de que el VAN será positivo, lo que significaría que el proyecto está recuperando la inversión.

Puede darse una interpretación del valor de la TIR obtenida, observando los valores de los flujos de fondos netos de la Tabla III y comparándolos con la inversión fija. De ello se deduce que una TIR de 41,43 % significa, en última instancia, que un capital invertido ahora en el proyecto de robotización propuesto, se recuperará íntegramente en tan sólo dos años y cinco meses de operación, aproximadamente.

CAPITULO III

IMPLANTACION DE SISTEMAS ROBOTIZADOS

3.1. INVESTIGACION

Antes de tomar la decisión de comprar un robot, la industria interesada deberá analizar profundamente las razones por las cuales desean hacerlo. Las preguntas que deberían hacerse, por tanto, serían las siguientes: ¿cuál es el tipo de tarea que va a ejecutar el robot?; ¿necesitamos un robot o "simplemente" un equipo de automatización pesada?; ¿cuál será el impacto social que la robotización causaría en la fábrica?.

Cuando se pretende robotizar un proceso es muy importante hacer un estudio detallado que incluya algunos de los siguientes aspectos: la robotizabilidad de dicho proceso y la consideración de que la solución robotizada es considerada la más eficiente cuando se puede lograr uno o más de los siguientes beneficios:

1. Reducir los costos de producción debido a que (a) la tarea ejecutada por el robot es más económica que la realizada por operadores, (b) la flexibilidad del robot, lo que significa



BIBLIOTECA

que puede ser usado en varios procesos.

2. Incremento en la productividad.
3. Mejoramiento de la calidad del producto.
4. Alivio para los trabajadores cuando el robot realiza labores indeseadas o peligrosas.

La implantación exitosa de un sistema robotizado en una industria es un problema enorme tanto a nivel administrativo como a nivel técnico. Para lograr ese éxito en la implantación, ésta se describe en términos de una secuencia lógica de pasos que debe seguir una industria. Esos pasos son los siguientes:

1. Investigación.
2. Planificación y evaluación.
3. Determinación del sistema.
4. Planificación de la instalación del robot.
5. Instalación y acoplamiento del robot en una industria.
6. Consideraciones finales.

El último paso describe varios problemas adicionales que la administración de la industria deberá tratar durante y después de la instalación del sistema, como: seguridad para el operador,

entrenamiento, mantenimiento y mejoramiento de calidad.

Antes de comenzar a estudiar detalladamente cada uno de los pasos deben tomarse en cuenta las tres consideraciones siguientes:

- Un robot es tan sólo "un accesorio" de una máquina-herramienta o de una cadena de producción.
- Es aconsejable que las industrias del sector mecánico interesadas en automatizar operaciones de manipulación, inviertan primero en máquinas de control numérico. Según las estadísticas, las industrias que tienen un gran interés en adquirir ese tipo de máquinas, son precisamente las que ya han adquirido máquinas semiautomáticas o de ciclo programado.
- Antes de pensar en robotizar un proceso en una industria, hay que tener presente primero una máquina automática simple y flexible. Si la aplicación lo amerita, un robot sencillo podría ser la mejor solución, si no se justifica económicamente la adquisición de otro más sofisticado.

Los pasos que hay que seguir para llevar a cabo la investigación acerca de los condicionantes que deben tenerse en cuenta antes de comenzar la elaboración de un proyecto robotizado son dos, a saber:

1. Familiarizar al personal con la nueva tecnología.
2. Identificar oportunidades.

FAMILIARIZAR AL PERSONAL CON LA NUEVA TECNOLOGIA

La mayoría de las personas que trabajan en una industria carecen de experiencia en el área de Robótica, sin embargo, muchos de ellos podrían estar conscientes de que existen aplicaciones potenciales para los robots en sus plantas. Por esta razón hay que dar a todo el personal la instrucción básica necesaria acerca de las capacidades disponibles de un robot. Hay varias formas de hacer esto, siendo el seminario una de las mejores. El seminario deberá tratar en primer lugar acerca de una introducción a la Robótica, incluyéndose aquí por ejemplo, de lo que se vió en el primer capítulo de esta tesis, todo aquello que esté al nivel de todo el personal. Sería de gran beneficio para la industria que dicho seminario sea dictado por algún experto en el campo.

Los ingenieros que forman parte del personal de la industria, deberían estudiar en una forma más amplia los temas que se tratan en Robótica. Para ello, las fuentes de información son entre otras: libros, revistas técnicas, compañías fabricantes de robots, firmas consultoras, conferencias, exposiciones. Las cuatro últimas fuentes, sin embargo, son accesibles en los países investigadores del campo, siendo los libros y las revistas, las fuentes que tienen un acceso "más fácil" en

nuestro país. No obstante, para conocimiento de las industrias interesadas en esta tecnología, existen alrededor de 250 organizaciones que proveen productos y servicios para robots. Estas organizaciones incluyen a fabricantes, proveedores, consultores e institutos de investigación.

Es de gran ayuda conseguir información acerca de la planificación e instalación de sistemas robotizados que se hayan realizado con éxito con el fin de conocer ciertas normas de carácter general basadas en la experiencia de países pioneros en el campo de la Robótica.

La implantación de robots en una industria es usualmente un largo proceso, quizás puedan pasar varios años antes de que el proyecto de la primera aplicación finalice. Es importante que la administración de la industria dé a su personal estímulo y soporte continuo durante el período inicial de la implantación. Algunas industrias han perdido un tiempo valioso debido a que no hubo ese estímulo permanente, mientras se hacían todos los esfuerzos para implantar robots en ellas.

Otro criterio de carácter administrativo involucra el proceso de aprobación requerido para comenzar la instalación del proyecto. Es muy probable que la autorización para implementar dicho proyecto por parte de la administración se deba al incentivo constante proveniente del jefe de planta, por ejemplo. Por tanto, con el fin de que el proyecto tenga éxito, es

importante la colaboración de la persona responsable del uso del sistema.

Otra de las consideraciones a tener presente para que la implantación sea exitosa, es incluir (dentro de los límites impuestos por la administración) en el proyecto al personal de producción. Estas personas son, sin lugar a dudas, las que mejor conocen las operaciones industriales, ya que precisamente son ellos quienes realizan esas operaciones. Por consiguiente, se podrían aprovechar sus conocimientos para el desarrollo e implantación del sistema robotizado.

Además, si ese personal toma parte de alguna forma en la instalación del sistema, se puede esperar con gran seguridad que dicho personal acepte la introducción del proyecto.

La Compañía General Electric ha desarrollado un método que evalúa la aceptación de un robot por parte del personal. Este método parametriza factores relativos a los trabajadores, asignándoles un puntaje que está dentro de un rango que se concede a cada factor en forma prioritaria. Este método distingue para todos esos factores dos tipos de asignación: la favorable (puntos a favor) y la opositora (puntos en contra). Se realiza luego la suma de los puntos a favor y la de los puntos en contra en forma independiente.

Al restar los puntos en contra de los puntos a favor se obtiene

un puntaje neto. Este puntaje dá una idea relativamente buena acerca del nivel de aceptación que tienen los robots en la industria.

La Tabla VI muestra una versión adaptada del cuestionario emitido por General Electric y en la Tabla VII se tiene la interpretación del puntaje neto de dicho cuestionario. Muchos de los factores considerados en ese cuestionario tienen una estrecha relación con la decisión y plan de acciones de la administración de la industria.

Finalmente, se puede anotar que sin la aceptación del nuevo sistema por parte de los trabajadores de planta, los problemas que surgen en la instalación y durante la operación del sistema serían más grandes.

IDENTIFICAR OPORTUNIDADES

Se deben buscar las oportunidades donde puedan haber beneficios económicos, mejoramiento de la calidad, mejores condiciones de trabajo, etc. Sería de gran beneficio para la industria que un consultor experimentado sea quien identifique esas oportunidades y planifique la investigación.

El numeral 3.3. trata un tema denominado revisión de las instalaciones donde se analiza con más detalle todo aquello relacionado con la determinación de las operaciones realizadas

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
1	¿Se asegura a los trabajadores afectados la conservación de su trabajo?			
2	¿Se podrían asignar a los trabajadores desplazados, tareas igualmente remuneradas?			
3	¿Beneficiará la instalación robotizada a los trabajadores en cuestión de: a. Salud? b. Seguridad? c. Alivio de tareas duras? d. Alivio de tareas: sucias, que involucran altas temperaturas o agotadoras?			
4	¿El clima actual del sindicato y administración es favorable para un diálogo abierto? ¿Se exponen las condiciones económicas de la fábrica? ¿Hay inquietudes o injusticias en el trabajo? ¿Existe desconfianza en el ambiente laboral?			
5	¿Es la condición económica actual de la industria lo suficientemente buena como para garantizar que las promesas sean cumplidas?			
6	¿El departamento de ingeniería de fabricación y otras unidades de administración han mostrado la habilidad para establecer una comunicación abierta con los trabajadores o existe alguna "distancia social" irregular?			
7	¿Hay reconocimiento de la administración y conciencia por los aspectos infrahumanos de las tareas que va a ejecutar el robot o sólo se interesa por el aspecto económico?			

TABLA VI CUESTIONARIO QUE INVESTIGA LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL

- D: PUNTAJE DISPONIBLE
 F: PUNTOS A FAYOR
 C: PUNTOS EN CONTRA

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
8	¿Hay algún plan para seleccionar y subir de categoría a los trabajadores que intervendrán o harán la puesta a punto del robot?			
9	¿Serán penalizados los trabajadores en sus tarifas de estímulo por nuevas tarifas o por el tiempo de trabajo del robot que no es atribuible al operador?			
10	¿Ha demostrado la administración en el pasado respeto y consideración por los talentos, habilidades e inteligencia de los trabajadores?			
11	¿Está dispuesta la organización a compartir los resultados de este cuestionario con la fuerza laboral y/o el sindicato?			
12	¿Se hará el entrenamiento del robot dentro del tiempo de la organización? ¿Existe la posibilidad de enviar a los trabajadores (en caso necesario) a la escuela de entrenamiento de la casa vendedora del robot?			
13	¿Pueden expresar los trabajadores sus intereses, ideas y temores sin ser ridiculizados?			
PUNTAJES	PARCIALES			
	NETO (F-C)			

TABLA VI (CONTINUACION)

Rango del puntaje neto	Probabilidad de aceptación
80-100	Alta. Puede llevarse a cabo la implementación, asumiendo que las condiciones de aceptación de la administración tengan igualmente un puntaje alto.
60-80	Proceda con cautela. Haga una investigación acerca de la posibilidad de hacer cambiar de opinión a los "opositores" del proyecto.
40-60	Insuficiente. Haga una nueva revisión en la parte laboral así como en la administración acerca de las acciones a tomarse con el fin de incrementar la probabilidad.
Menor que 40	La implementación sería un fracaso. Un puntaje en este rango indica una probabilidad muy baja.

TABLA VII INTERPRETACION DEL PUNTAJE NETO DEL CUESTIONARIO DE ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO

en una industria que son más apropiadas a la automatización robotizada.

3.2. PLANIFICACION Y EVALUACION

En primer lugar, se darán los pasos que tienen que seguir las industrias para realizar una planificación. Luego se expondrán algunas consideraciones a tener presente para evaluar en una forma relativa al nuevo sistema.

Algunos de los pasos que se siguen en una buena planificación son:

1. Establecer las metas del sistema. Se refiere a los resultados que desea alcanzar la Compañía.
2. Determinar los criterios de selección del sistema. Algunos de esos criterios son:
 - a) Beneficios económicos: los cuales pueden ser cuantificados en términos del período de amortización, del valor actual neto o del retorno sobre la inversión.
 - b) Mejoramiento de la calidad de los productos.
 - c) Mejoramiento en las condiciones de trabajo.

- d) Incremento en la producción total.
 - e) Flexibilidad y obsolescencia del sistema.
 - f) Costos del ciclo de vida: aquí se consideran los costos correspondientes a: mantenimiento, suministro de energía, modificaciones, programación y operación sobre la vida del sistema.
 - g) Factores humanos.
3. Determinar los requerimientos del sistema: este punto se estudiará en el numeral 3.3 (determinación del sistema).
 4. De ser posible, hacer una revisión detallada de las especificaciones del sistema con todos los trabajadores de la industria. Como se apuntó antes, el personal de producción, es el más idóneo para aceptar y cooperar con el sistema, por lo que podrían contribuir con muchas ideas beneficiosas.
 5. Determinar los requerimientos de documentación, como manuales de operación, manuales de programación, manuales de servicio y mantenimiento, diagramas esquemáticos, etc.
 6. Establecer planes de entrenamiento y educación para

aquellos que deben conocer más profundamente al sistema. Por otro lado, se debe mantener tan informado como sea posible a cada trabajador. Si un puesto de trabajo va a ser eliminado, es deber de la administración hablar anticipadamente con el trabajador afectado, con el fin de convenir en alguna solución al problema.

Con respecto a la evaluación del sistema, puede anotarse que es muy improbable que el primer sistema robotizado a implantarse sea el último. Asimismo, también es improbable que el primer sistema a implantarse se adapte perfectamente a las operaciones de la industria. En consecuencia, es importante evaluar todos los aspectos del sistema y tratar de determinar las características que mejor se adapten a la aplicación, observando además los aspectos que pueden ser mejorados.

Hay que tener presente siempre que los robots están en un proceso de evolución: la circuitería (hardware), los programas (software) y la técnica se desarrollan rápidamente.

Por último, no hay que descuidar la planificación referente a los mejoramientos que puedan hacerse en el sistema, incluyéndose aquí la adición de nuevos sistemas. Quizás el próximo paso sea la adquisición de equipos para formar una célula de trabajo para fabricación flexible conocida también como FMC (Flexible Manufacturing Workcell) o quizás un sistema CADAM o CAD/CAM, que es un sistema de software

utilizado para el diseño asistido por computador o CAD (Computer-Aided Design) y para la fabricación asistida por computador o CAM (Computer Aided Manufacturing). Este sistema desarrollado por Lockheed (California) y ahora comercializado por IBM y CADAM Inc. tiene un uso tan amplio que sus ventas se estiman por los 20 billones de dólares por año.

3.3. DETERMINACION DEL SISTEMA

La determinación o la elección del nuevo sistema que se pretende implantar, se refiere a que el sistema o es una máquina de diseño especial o es un sistema robotizado. La importancia de esto radica en el hecho de que el éxito y la rentabilidad de la operación que se va a automatizar depende de la elección más acertada de ese sistema.

En la introducción de esta Tesis, se mencionaron algunas diferencias entre un robot y una máquina especializada. En este numeral, se pondrá de manifiesto con más profundidad esas diferencias, con el fin de que una industria sepa elegir bien que es lo que realmente necesita. En primer lugar hay que diferenciar una máquina especializada que está diseñada para realizar operaciones conocidas y predeterminadas de otra que no es sino la adaptación a una tarea de componentes y principios bien conocidos y experimentados en aplicaciones anteriores. El robot por su parte, está diseñado tomando en

cuenta sus movimientos y no en relación a las operaciones que vaya a realizar, es decir, en términos de grados de libertad, precisión de posicionamiento, márgenes de maniobra, esfuerzo, rapidez de movimiento, etc.

Otra diferencia significativa es la de que el robot puede adaptarse sin mayor problema a los cambios que puedan darse en los procesos de producción de la industria, lo que no ocurre con la máquina especializada que presenta rigidez y un carácter de prototipo. Cabe destacar, sin embargo, que con el fin de extender el margen de aplicación de las máquinas especializadas, muchos constructores realizan grandes esfuerzos para flexibilizarlas.

Por lo anotado anteriormente, se podría pensar que sólo es conveniente emplear un robot en los casos donde se realicen tareas con una automatización de carácter complicado. Esto no necesariamente es así; en muchos casos la implantación de un robot incide favorablemente en una industria a pesar de que ése tenga que realizar tareas fácilmente automatizables por medios clásicos. Ello es debido fundamentalmente a ciertas ventajas en su utilización. Pueden considerarse factores como: tiempo de reacción, tiempo de puesta a punto, fiabilidad, obsolescencia y reconfiguración.

El tiempo de reacción se refiere al período comprendido desde que se toma la decisión de automatizar un proceso hasta que se

encuentran instalados los equipos. Es fácil aceptar entonces, que el tiempo de reacción es corto cuando la elección es un sistema robotizado, debido principalmente a que no se necesita diseñar equipos especiales. Esta ventaja tiene un valor significativo cuando las series de producción son cortas o están sujetas a frecuentes modificaciones, ya que es más fácil un cambio de programa en un robot que la adaptación de una máquina clásica.

En vista de que un sistema clásico tiene la desventaja de estar formado normalmente por electroimanes, dispositivos de enclavamiento, etc., el tiempo de puesta a punto de un sistema robotizado es mucho más corto que el de un sistema clásico. Muchas veces al tiempo de ajuste y puesta en funcionamiento no se le concede importancia, pero considerando que de ser así, dicho tiempo puede absorber una parte muy importante del tiempo total necesario hasta su puesta en explotación, debe dársele la importancia del caso.

Por otra parte, los robots poseen una alta fiabilidad, debido principalmente a la alta tecnología que poseen y a las duras pruebas a las que son sometidos antes de ser comercializados. La fiabilidad es muy importante, ya que garantiza un largo período de utilización, exentos de las averías que normalmente causan paros y pérdidas en la producción.

Puede decirse además, que los robots son resistentes a la obsolescencia ya que precisamente fueron diseñados y construídos para dar una solución general y multifuncional. Puede anotarse, por tanto, que los robots no quedan fácilmente periclitados, debido a su importante característica de reconfiguración por programación, por lo cual pueden adaptarse a nuevas aplicaciones. En el peor de los casos se venden fácilmente en el mercado de segunda mano.

Por todo lo anotado, puede pensarse que únicamente se tienen ventajas al utilizar robots. No debe llegarse a esta conclusión hasta que no se haya hecho una revisión de todo el proceso, los materiales o la concepción misma de las piezas. La industria que tenga una propuesta de robotización, debe analizar si lo que realmente se plantea es un intento de conservar una organización y concepción probablemente periclitadas del proceso y de las operaciones que lo conforman. En otras palabras, puede decirse que una industria no debe simplemente "caer en la tentación" de querer utilizar robots, quizás la solución no los requiera.

3.3.1. SELECCION DEL ROBOT

El primer paso a dar antes de seleccionar un robot es hacer una revisión de las instalaciones de la industria interesada, con el fin de encontrar las operaciones más adecuadas a ser automatizadas con robots. El próximo

paso a dar es precisamente seleccionar el robot apropiado.

En este capítulo se discuten algunas consideraciones con el fin de ayudar a las industrias a encontrar la solución robotizada más apropiada.

REVISION DE LAS INSTALACIONES

Como se anotó antes, el primer paso que se sigue en el proceso de selección de un robot, es realizar una revisión de las instalaciones de la industria. En la revisión inicial se encontrarán muchas operaciones candidatas para robotizarlas. La primera revisión evalúa a groso modo todas las aplicaciones potenciales en las que un robot puede estar involucrado. El próximo paso consiste en efectuar una revisión más amplia de esas aplicaciones. En esta etapa, se procede a recopilar ciertos datos, los mismos que son anotados en un formato especial como el que aparece en la Tabla VIII. Este formato incluye información acerca de los siguientes aspectos: técnicos (4 a 9), económicos (12 y 15), medio ambiente (33 a 37), relación a las operaciones adyacentes (operaciones previas o posteriores a una operación determinada; 24 y 25) y sobre la línea de producción propiamente dicha (28). Además hay información que puede ser suministrada por la

Cliente:	Planta:	Fecha: / /199
----------	---------	---------------

Operación:	Máquina N°:
------------	-------------

ITEM		
1	Número de piezas diferentes procesadas por la máquina	
2	Nombre de la pieza	
3	Número de la pieza	
4	Peso de la pieza (rango)	
5	Tamaño de la pieza (rango)	
6	Material de la pieza	
7	Temperatura de la pieza	
8	Ciclo de trabajo	
9	Número de elementos por ciclo	
10	Tiempo de carga/descarga	
11	Tasa de producción por hora	
12	Rendimiento registrado	
13	Número de turnos	
14	Número de operadores por turno	
15	¿Cumple la pieza con las normas?	
16	¿Hay operaciones irregulares?	
17	¿Hay fotografías de las estaciones de trabajo?	
18	¿El operador usa una o dos manos?	
19	¿Cómo es entregada la pieza? (¿Hay dibujos disponibles?)	
20	¿Cómo es removida la pieza? (¿Hay dibujos disponibles?)	
21	¿Cuál es la tolerancia requerida para la manipulación?	
22	¿Cuál es la altura de manipulación respecto del piso?	
23	¿Cuál es la orientación de la pieza requerida?	
24	¿Se cargan las piezas como en la operación previa?	
25	¿Se cargan las piezas como en la operación próxima?	
26	¿Se requiere el criterio del operador?	
27	¿Se requiere inspección visual?	
28	¿Cuál es la velocidad de la línea?	
29	¿Hay dibujos de las piezas?	
30	¿Hay planos de la estación de trabajo?	
31	¿Hay dibujos de las instalaciones?	
32	¿Cuál es el rango de la temperatura ambiente?	
33	¿Es sucio el ambiente?	
34	¿Es corrosivo el ambiente?	
35	¿El ambiente es seco o húmedo?	
36	¿Es el ambiente peligroso o inapropiado para el operador?	
37	¿Se arroja en el proceso arena, viruta o algún líquido?	

TABLA VIII HOJA DE INFORMACION DE UNA ESTACION DE TRABAJO USADA EN LA REVISION DE LAS INSTALACIONES DE UNA INDUSTRIA

administración (31) y por los operadores (16 y 26).

Como puede verse, ese formato puede ser aplicado para aplicaciones tales como manipulación, carga de máquinas, forja, ensamblado, etc. Como es de esperarse, un formato no puede ser usado para todas las aplicaciones ya que la información requerida varía de acuerdo a la aplicación.

Es recomendable que la revisión comience donde se reciben los materiales que forman parte del proceso, para luego seguir el flujo del producto a través de la planta. De esta forma, se pone atención a la secuencia de las operaciones adyacentes.

La orientación de las piezas es uno de los más grandes problemas que surgen al introducir robots y puede ser resuelto algunas veces, observando las operaciones adyacentes. Cabe recalcar por otro lado que en caso de tener piezas apiladas en forma aleatoria, no debe esperarse que el robot sea capaz de recoger las piezas una a una en la orientación correcta. Por esto, hay que tener presente que la orientación que tiene una pieza en una etapa de descarga, facilita una operación de carga posterior. Esto se lo consigue arreglando las piezas ordenadamente en cajas, formando pilas verticales o dirigiéndolas por una cinta transportadora.

Es importante anotar que cuando un robot tiene la tarea de recoger piezas , su garra actuará en el mismo punto y con la misma orientación.

Cuando se realiza la inspección de las instalaciones, hay que recordar que el robot es el que hará el trabajo, lo cual no significa necesariamente que ése deba copiar la secuencia exacta de las operaciones manuales.

IDENTIFICACION DE APLICACIONES POTENCIALES

Como ya se mencionó en el Capítulo II, hay dos categorías generales de instalaciones robotizadas: la primera es aquella en la cual el proyecto robotizado implica el diseño de una nueva planta o una nueva facilidad dentro de una planta existente. En este caso, una instalación robotizada representa una de las posibles alternativas para satisfacer una necesidad.

En la segunda categoría, en cambio, la instalación robotizada reemplaza a un método de operación corriente en la fábrica. Es típico, que para esta situación, una operación de producción realizada manualmente sea automatizada por un robot. Como es de notar, en el primer caso se necesita una nueva aplicación y por tanto, una nueva planta, de ahí que se tiene una gran flexibilidad en cuanto al diseño del proyecto, lo que

no ocurre en el segundo caso, en el cual se tienen opciones más pobres de selección, debido a que el robot debe ser adaptado a los equipos existentes.

La instalación robotizada más económica en la segunda categoría, a menudo requiere que el robot realice el trabajo de igual forma como lo hace el operador humano.

Al realizar la inspección de las instalaciones, no debe de olvidarse que el objetivo principal es determinar las operaciones existentes que son "susceptibles" a la automatización por robots. Las oportunidades que se presentan en la inspección tienen ciertas características comunes. Usualmente, estas características generales harán a una aplicación potencial, técnicamente práctica y económicamente factible. Esas características son:

1. Condiciones de trabajo incómodas o peligrosas.

Existen muchas tareas en las industrias que poseen peligros potenciales para un operador humano, por lo que son a menudo las ideales para ser robotizadas. Esos peligros potenciales incluyen riesgos físicos y peligros a la salud por el calor, chispas, radiación, ambientes tóxicos o el uso de materiales cancerígenos. Aún si la tarea realmente

no es peligrosa, pero el lugar de trabajo es incómodo, desagradable e indeseado por los operadores, esta representa una buena aplicación potencial a ser robotizada. Las situaciones de trabajo peligrosas o incómodas tienen una alta probabilidad de ser aceptadas por los trabajadores para ser automatizadas por robots. A los operadores no les gusta trabajar bajo condiciones desfavorables, por lo que es muy probable que acepten sin mayor problema la robotización de sus trabajos, siempre y cuando esta situación no conduzca al desempleo.

Muchos ejemplos de aplicaciones dentro de esta categoría pueden citarse, así se tienen: soldadura por puntos, soldadura por arco, fundición y pintura.

2. Operaciones repetitivas.

Las operaciones repetitivas son muy comunes en producciones de medio y gran volumen. La operación consiste de una secuencia de tareas que son ejecutadas repetidas veces por operadores humanos, quienes las encuentran molestosas y degradantes.

Los robots industriales son idealmente apropiados para realizar muchas operaciones de esta categoría debido a su capacidad para repetir un patrón fijo de

movimiento. Los requerimientos básicos que debe cumplir un robot dentro de esta categoría son: elemento terminal apropiado para ejecutar la tarea particular y su volumen de trabajo debe ser el suficiente para que pueda realizar la operación. Ejemplos de operaciones repetitivas donde los robots han sido usados exitosamente incluyen operaciones tipo recoger-colocar, carga y descarga de máquinas y soldadura por puntos.

3. Trabajos tipo "manipulación difícil".

Esta tercera característica general la tienen los trabajos que involucran manipulación de objetos de difícil retención. Esos objetos pueden ser o piezas de trabajo o herramientas y pueden haber varias razones por las cuales dichos objetos son difíciles de retener o agarrar. Las razones podrían ser: mucho peso, elevada temperatura o la forma del objeto.

La solución a estos problemas es un robot con suficiente capacidad de carga y equipado con un elemento terminal apropiado. Si no se emplean robots, probablemente los trabajadores necesitarán ayudas de carácter mecánico para retener y manipular esa clase de objetos.

Un ejemplo de este tipo de tareas se encuentra en la manipulación de vidrios, porcelanas o plásticos, donde se utilizan ventosas, cuyas formas y tamaños dependen del peso que deben soportar.

4. Operaciones con varios turnos de trabajo.

Muchas operaciones industriales se realizan en dos turnos de trabajo con el fin de satisfacer la demanda del producto implicado. Incluso en algunos casos la naturaleza del proceso requiere operaciones durante las 24 horas del día (tres turnos). El moldeado con plástico y otras operaciones a altas temperaturas en muchos casos resultan económicas sólomente si los procesos se realizan de manera continua, es decir, en tres turnos.

Durante la revisión de las instalaciones, se deben identificar las operaciones que poseen esas características.

SELECCION DE LA MEJOR APLICACION

Luego de haber identificado un cierto número de aplicaciones potenciales, el siguiente paso consiste en determinar cuales de esas aplicaciones son las más

apropiadas para ser robotizadas.

Las aplicaciones potenciales están sujetas a ciertos criterios técnicos. La Compañía General Electric ha tenido mucho éxito en encontrar buenas aplicaciones, aplicando los siguientes criterios:

- La operación es simple y repetitiva.
- La operación puede realizarse con las piezas ubicadas en un lugar y orientación apropiados.
- El peso de la pieza es apropiado (1100 libras es usado típicamente como el límite superior de peso).
- No se requiere inspección para la operación.
- Una o dos personas pueden ser reemplazadas en un período de 24 horas.

Si la aplicación potencial satisface todos esos criterios, es considerada como una candidata interesante para una aplicación robotizada.

A una industria interesada en su primer proyecto robotizado, puede aconsejarse que no es conveniente implantar un robot demasiado sofisticado. Lo que debe

hacerse es escoger una tarea simple que los robots hayan ejecutado antes, con lo que se asegura el éxito de la implantación.

Otros factores que debe tomar en cuenta la administración de la industria son los siguientes:

1. Selección de una operación en la cual un robot sea capaz de realizar su trabajo sobre una base continua (baja ocurrencia de sucesos irregulares) sin mayores cambios en el proceso.
2. Facilidad de introducción del robot a la planta desde el punto de vista de mantenimiento e ingeniería.

Después de que la aplicación ha sido seleccionada, se debe escoger un robot de entre los muchos modelos comerciales disponibles. A pesar de que un robot puede ser considerado como una máquina de tipo general con carácter multifuncional, debe realizarse esa selección con el fin de implantar el tipo de robot más apropiado o que mejor se adapte a las tareas que tendrá que realizar. El robot seleccionado debe poseer una combinación apropiada de características técnicas para la aplicación que está siendo considerada. Hay aplicaciones de procesado, como pintura y soldadura por arco, que requieren tipos especiales de robots, casos en

los cuales, el proceso de selección es relativamente fácil. En otras aplicaciones tales como manipulación, carga de máquinas y ensamblaje, las características del robot deben adaptarse a los requerimientos de la aplicación.

Debido a que un robot tiene muchas características, es necesario dar a conocer un procedimiento sistemático de selección, ya que de lo contrario, ésta sería difícil.

Es conveniente comenzar preparando una tabla que contenga las principales características de diversos modelos de robots disponibles en el mercado. El segundo paso consiste en tomar una decisión sobre una característica "dominante" que se requiera, para luego pasar a considerar otras características. En muchas aplicaciones de manipulación y carga, la capacidad de carga es la característica dominante seguida por el espacio de trabajo. En aplicaciones de ensamblaje, a la velocidad de operación se la escoge frecuentemente como la característica más importante y para este caso, el proceso de selección comienza escogiendo un grupo de robots que tengan un cierto límite de velocidad permisible.

El próximo paso es encontrar ciertos robots con sistemas de coordenadas que no se ajustan a la

aplicación requerida. Por ejemplo, un robot de coordenadas cartesianas no puede ser usado en la mayoría de trabajos de carga de máquinas y manipulación. El sistema de coordenadas junto con el mínimo número de ejes de movimientos y la repetibilidad son características importantes a tomar en cuenta. Luego, son consideradas las características del medio ambiente, como la temperatura. En cada uno de esos pasos de decisión, el número de robots candidatos se va reduciendo, y así, al final del proceso permanecen pocos robots.

La Tabla IX es un buen ejemplo que sin lugar a dudas va a ayudar a las industrias interesadas en implantar robots en sus plantas. Esta tabla contiene más de 100 modelos de robots comercialmente disponibles producidos por 33 fabricantes (FAB.) y la primera parte de ella contiene la siguiente información:

- CONTROL (CONT):** CP : trayectoria continua
PTP : punto a punto
PTPL : sistema PTP más sofisticado en el cual todos los ejes alcanzan simultáneamente el punto final.

ACTUADORES: EL : eléctrico
(ACT.) HYD : hidráulico
 PNM : neumático

PROGRAMACION: MAN: gestual por dispositivo de
(PROG.) enseñanza
 LT : gestual por aprendizaje
 directo
 L(AML): el lenguaje es AML
 L(VAL): el lenguaje es VAL

COORDENADAS: ART : angular
(COORD.) CRT : cartesiana
 CYL : cilíndrica
 SPH : polar

EJES (EJ.): número de grados de libertad disponibles

REPETIBILIDAD (REP.): está dada en milímetros

CAPACIDAD DE CARGA (CAP.): en Kilogramos

PESO : peso del manipulador en Kilogramos

APLICACIONES: AD : con adhesivos
(APLIC.) AS : ensamblaje
 AW: soldadura por arco
 CO : recubrimiento
 DB : desbarbado

DR : taladrado
G : desbastado
I : inspección
LD : carga/descarga y manipulación
PN : pintura por pulverización
SW: soldadura por puntos

La segunda parte de la tabla contiene información del manipulador: el rango de movimiento y la velocidad (VELOC.), tanto del brazo como de la muñeca.

La primera columna indica el rango horizontal del brazo y las otras seis columnas el rango y la velocidad de los ejes individuales. Para robots de coordenadas cartesianas, las seis columnas dan los máximos rangos de los ejes X, Y y Z y la máxima velocidad en cada eje. Para robots de coordenadas cilíndricas, las dos columnas encabezadas por X; θ_1 dan la rotación de la base en grados y la velocidad máxima correspondiente en grados por segundo; las siguientes dos columnas Y; θ_2 dan el rango vertical en milímetros y la velocidad vertical máxima; por otra parte las columnas Z; θ_3 dan el rango horizontal y la velocidad. Para robots con coordenadas esféricas, las dos primeras columnas de las seis, dan el ángulo de rotación de la base y la velocidad;

FAB.	MODELO	CONT.	ACT.	PROG.	COORD.	EJ.	REP. mm	CAP. Kg	PESO Kg	APLIC.
Adv. Robot	CYRO 750	PTPL	ELC	MAN	CRT	5	0.2		2613	AW
Adv. Robot	CYRO2000	PTPL	ELC	MAN	CRT	5	0.4		5500	AW
Adv. Robot	CRYO 820	CP	ELC	MAN	ART	5	0.2	10	300	AW
Amer. Rob.	MERLIN	CP	STP	11 MAN	ART	6	0.025	9	24	LD AS I W
ASEA	IRB-6	PTP	ELC	MAN	ART	5	0.2	6	125	LD AW
ASEA	IRB-60	PTP	ELC	MAN	ART	5	0.4	60	750	LD SW
ASEA	A30-A	PTPL	ELC	MAN	ART	5	0.2	6		DB AW AD
ASEA	IRB-60S	PTPL	ELC	MAN	ART	6	0.4	60		SW DB
ASEA	MHU SEN	PTP	PNM	MAN	CYL	3	0.1	15		MO LD
ASEA	MHU JUN	PTP	PNM	MAN	CYL	3	0.1	5		LD
Automatix	FANUC	PTPL	ELC	MAN	ART	5	0.2	10	230	AW DB FN
Bendix	ROBOT	PTP	ELC	MAN	ART	6	0.08	13.6/68		LD
Bendix	ML-360	PTP	ELC	MAN	ART	6	0.13	68		LD AS W I
Bendix	AS-160	PTP	ELC	MAN	SPH	6		20.5		AS LD
Binks	88-800	CP	HYD	LT	CYL	6	3.2	8.2		PN
Cin. Milac.	T3-566	PTPL	HYD	MAN	ART	6	1.25	45	2270	LD SW AW
Cin. Milac.	T3-726	PTPL	ELC	MAN	ART	6	0.15	20	436	LD AW DR
Cin. Milac.	T3-746	PTPL	ELC	MAN	ART	6	0.25	20	1800	LD AW DR
Cin. Milac.	HT3	PTP	HYD	MAN	ART	6	1.25	102		LD SW AW
Copperweld	CR-10	PTP	PNM	MAN	CYL	4	0.08	4.5		LD
Copperweld	CR-50	PTP	PNM	MAN	CYL	4	0.25	11.3		LD
Copperweld	CR 5	PTP	PNM	MAN	CYL	4		2.5		LD AS
Copperweld	CR-100	PTP	PNM/ ELC	LT	CRT	3	0.05	5.5		LD AS
Cybotech	H80	CP	HYD	MAN	*CYL*	6	0.2	80	1850	LD SW AW
Cybotech	V80	CP	HYD	MAN	ART	6	0.2	80	1800	LD SW AW
Cybotech	G80	CP	HYD	MAN	CRT	6	0.2	80	4100	LD SW AW
Cybotech	P15	CP	HYD	MAN	ART	7	5	15	750	PN CO
Cybotech	V30	CP	HYD	MAN	ART	6	0.2	30	600	LD SW AW
Cybotech	H8	PTP	ELC	MAN	CYL	5	0.1	8		AS LD I
DeVilbiss	TR-3500	CP/PTP	HYD	LT	ART	6	1.0			PN CO AD
DeVilbiss	TR 3500W	CP/PTP	HYD	LT	ART	5	0.5			AW AS DR
CCA	XR	CP	ELC	L(MDI)	CRT	6	0.5	1130		DB AD
CCA	B1440	CP	ELC	L(MDI) LT	CYL	6	0.5	50	900	DB LD AS
CCA	B2600	CP	ELC	L(MDI) LT	CYL	6	1.0	100	1200	LD AW SW
CCA	B1700	CP	ELC	L(MDI) LT	CYL	6	1.0	350	2500	LD AW SW
CCA	PS00	CP	ELC	L(MDI)	ART	5	0.5	30	180	AS LD SW



TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES

FAB.	MODELO	BRAZO						MUÑECA			
		RANGO mm	RANGO X;θ ₁	VELOC. X;θ ₁	RANGO Y;θ ₂	VELOC. Y;θ ₂	RANGO Z;θ ₃	VELOC. Z;θ ₃	BALANC.	CABECED	GIRO LATERAL
Adv. Robot	CYRO 750	2032	2032 mm	254 mm/s	762 mm	169 mm/s	762 mm	169 mm/s		130	720
Adv. Robot	CYRO2000	2032	2032 mm	127 mm/s	2032 mm	127 mm/s	2032 mm	63 mm/s		130, 90	720, 90
Adv. Robot	CYRO 820	1305	240°	90°/s	820 mm	780 mm/s	890 mm	1000 mm/s	380	200	
Amer. Rob.	MERLIN	1000	360°		360°		300°		Con- tinuous	180	Con- tinuous
ASEA	IRB-6	1159	340°	95°/s	80°	0.75 m/s	65°	1.1 m/s	360, 195	180, 115	
ASEA	IRB-60	2288	330°	90°/s	70°	1.0 m/s	65°	1.35 m/s	360, 150	195, 90	
ASEA	A30-A										
ASEA	IRB-605										
ASEA	MHU SEN	1100	Con- tinuous	90°/s	1100 mm	1 m/s	500 mm	0.3 m/s			
ASEA	MHU JUN	500	200°	180°/s	500 mm	1 m/s	150 mm	0.5 m/s			
Automatix	FANUC	1257	300°		95°		70°		370, 180	175, 120	
Bendix	ROBOT										
Bendix	ML-360	2540	300°	90°/s	98 in	56 in/s	165 in	52 in/s	, 155	, 103	, 103
Bendix	AS-160										
Binks	88-800	1220	130°	60°/s	48 in	30 in/s	84 in	30 in/s	270, 150	180	180
Cinc. Milac.	T3-566	2464	240°		2464 mm		3911 mm		240	180	180
Cinc. Milac.	T3-726		285°		1040 mm		1600 mm		Con- tinuous	240	240
Cinc. Milac.	T3-746		270°		2464 mm		3300 mm		Con- tinuous	240	240
Cin. Milac.	HT3	2591	240°		2591 mm		3911 mm		270	180	180
Copperweld	CR-10		304 mm	413 mm/s	200°	190°/s	51 mm	5 mm/s	180		
Copperweld	CR-50		457 mm	586 mm/s	200°	32°/s	127 mm	7 mm/s	180		
Copperweld	CR-5										
Copperweld	CR-100	609	609 mm	203 mm/s	609 mm	203 mm/s	305 mm	203 mm/s			
Cybotech	H80	2200	270°	57°/s	270°	57°/s	1600 mm	660 mm/s	335, 172	210, 172	344, 172
Cybotech	V80	2200	270°	57°/s	210°	57°/s	270°	57°/s	335, 172	210, 172	344, 172
Cybotech	G80	3000	3000 mm	1 m/s	1500 mm	1 m/s	1000 mm	0.5 m/s	335, 172	210, 172	344, 172
Cybotech	P15	2700	230°		80°		90°		340	180	180
Cybotech	V30	2000	240°	57°/s	80°	57°/s	90°	57°/s	380, 57	240, 57	280, 57
Cybotech	H8										
DeVilbiss	TR-3100	8010	93°		75°		72°		210	210	210
DeVilbiss	TR-3500W	8010	93°		75°		72°		210	210	210
GCA	XRTM	12192	9100 mm	915 mm/s	3000 mm	915 mm/s	2100 mm	57°/s	33, 57	210, 57	330, 57
GCA	B1440	1780	300°	60°/s	1000 mm	600 mm/s	700 mm	600 mm/s	180, 60	120, 60	270, 60
GCA	B2600	2570	270°	60°/s	1480 mm	600 mm/s	1350 mm	600 mm/s	180, 180	120, 60	270, 60
GCA	B4700	2570	270°	40°/s	1480 mm	400 mm/s	1350 mm	400 mm/s	180, 45	120, 45	270, 45
GCA	P800	1360	270°	60°/s	180°	60°/s	300°	66°/s	200, 75	200, 75	

TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES (CONTINUACION)



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

FAB.	MODELO	CONT.	ACT.	PROG.	COORD.	EJ.	REP. mm	CAP Kg	PESO Kg	APLIC.
GCA	P300V	CP	ELC	L(MDD)	ART	5	0.1	5	90	AS LD SW
GCA	P500	CP	ELC	L(MDD)	CYL	5	0.2	7	150	AS LD SW
GCA	F	CP	ELC	L(MDD)	ART/ CRT	5	0.5	10	150	AW SW
G.E.	ALLEGRO	PTP	ELC	L(HELP)	CRT	6	0.025	6.5		AS LD
G.E.	GP 66	PTP	ELC	MAN	SPH	6	1.0	30	875	LD SW
G.E.	GP 132	PTP	ELC	MAN	ART	7	0.75	60	1000	LD SW
G.E.	S-6	PTPL	ELC	MAN	CYL	6	5.0	3	500	PN
G.E.	AW7	CP	HYD/ ELC	MAN	CRT	5	1.0		1300	AW
G.E.	MH 33	PTP	ELC	MAN	SPH	4	2.5	15	730	LD
G.E.	P5	PTPL	ELC	MAN	ART/ CRT	5	0.2	10	230	AW DB
G.E.	P6	CP	ELC	MAN	ART	6	1.0	15	760	AW DE G
G.E.	SW 220	PTP	ELC	MAN		5	2.5	100	3800	SW LD
Gen. Numeric	GN0	PTP	ELC	MAN	CYL	6	0.5	20	100	LD
Gen. Numeric	GN1	PTP	ELC	MAN	CYL	5	1.0	20	650	LD
Gen. Numeric	GN3	PTP	ELC	MAN	CYL	5	1.0	78	1700	LD
Graco	OM 5000	CP	HYD	MAN						PN
Hobart	L10	CP	ELC	MAN	ART	5	0.2	10	400	AW
IBM	RS-1	CP	HYD	L(AML)	CRT	6	0.2	2.3	910	ASI
IBM	7545	PTP	ELC	L(AML)	ART	4	0.05	6	60	AS LD I
Ind. Automates	AUTO- MATE	PTP	PNM/ HYD	MAN	CYL	4	0.38	4.5		LD
IRI	IRI	PTP	PNM	LT MAN	ART	5	1	23	91	LD
Kuka	IR 60	PTP	ELC	L MAN	ART	6	1	100	2000	LD SW AW
Kuka	IR 200	PTP	ELC	L MAN	ART + CRT CYL	7	1	60	2500	LD SW
Mobot	MOBOTS	PTP	ELC OR HYD	MAN	OR CRT					LD
Nachi	UM6600AK	PTPL	ELC	MAN	ART	6	1	50	980	SW
Pickomatic	FR 100-5	PTP	ELC	MAN	ART	5	0.6	30	325	
Pickomatic	FR 200-3	PTP	ELC	MAN	CYL	3	0.4	70	200	
Pickomatic	FR 300-3	PTP	ELC	MAN	CYL	3	0.4	30	300	
Planet	ARMAX	PTP	ELC	MAN	CYL	2-7	0.5	68		LD DR
Postech	PROBOT	PTP	HYD	MAN	OR CYL	10 7	0.5	10 570	30 1500	LD PN
Frab	4200	PTP	HYD	LT	SPH	6	0.2	34		LD
Frab	5800 HD	PTP	HYD	LT	SPH	6	0.2	45		LD
Frab	MODELE	PTP	HYD	LT	CYL	5	0.76	45		LD

TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES (CONTINUACION)

FAB.	MODELO	BRAZO						MUNECA			
		RANGO mm	RANGO X, θ ₁	VELOC. X, θ ₁	RANGO Y, θ ₂	VELOC. Y, θ ₂	RANGO Z, θ ₃	VELOC. Z, θ ₃	BALANC.	CABECEO	GIRO LATERAL
GCA	P300V	711	270°		180°	90°/s	300°	90°	270, 90	210, 90	
GCA	P500	1194	200°	75 °/s	180°	60°/s	26 in	24 in/s	270, 75	210, 75	
GCA	F	1585	1560 mm	600 mm/s	1470 mm	600 mm/s	90°	45°/s		6 in (Z)	120, 60
G.E.	ALLEGRO	1300	1300 mm	670 mm/s	310 mm	670 mm/s	265 mm	670 mm/s	360, 132	196, 132	360, 132
G.E.	GP-66	2000	320°	80 °/s	65°	30°/s	700 mm	450 mm/s	350, 120	350, 180	350, 180
G.E.	GP-132	2405	320°	59 °/s	140°	50°/s	120°	87°/s	345, 144	210, 142	540, 110
G.E.	S6	1950	150°		1320 mm	1 m/s	3111 mm	1 m/s	250	250	250
G.E.	AW7	1500	1500 mm	16.5 mm/s	1000 mm	16.5 mm/s	1100 mm	16.5 mm/s	55	55	200
G.E.	MH 33	2500	320°	160 °/s	20°	30°/s	1800 mm	1.2 m/s			
G.E.	P5	1257	300°		95°		70°		370, 180	175, 120	
G.E.	P6	2200	320°	80 °/s	65°	30°/s	100°	50°/s	350, 120	270, 120	
G.E.	SW 220	3000	2000 mm	250 mm/s	40°	6°/s	1000 mm	250 mm/s	340, 90	80, 80	
Gen. Numeric	GNO	150	120°	120 °/s	150 mm	508 mm/s	150 mm	508 mm/s	180, 90	180, 120	120, 120
Gen. Numeric	GN1	1100	300°	60 °/s	1100 mm	1.02 m/s	500 mm	508 mm/s	270, 60	10, 30	
Gen. Numeric	GN3	1200	300°	60 °/s	1200 mm	1.02 m/s	1200 mm	508 mm/s	300, 80	190, 80	
Graco Hobart	OM 5000 L10	1186	240°	90 °/s	80°	800 mm/s	60°	1.1 m/s	360, 150	180, 100	
IBM	RS-1	1473	457 mm	1 m/s	1473 mm	1 m/s	431 mm	1 m/s	270, 180	180, 180	270, 180
IBM	7535	650	200°	1.45 m/s	160°	1 m/s	3 in		360		
Ind. Automates	AUTO- MATE										
IRI	IRI	2000	Con- tinuous	60°/s	180°	60°/s	230°	60°/s	Cont. 120	240, 120	
Kuka	IR 60	2750	320°	76°/s	1500 mm	1.2 m/s	2500 mm	2 m/s	360, 120	360, 120	360, 120
Kuka	IR 200		6000 mm	1.2 m/s	320°	100°/s	180°	125°/s	180, 125	350, 200	180, 200
Mobot	MOBOTS	Modular, unlimited range									
Nachi	UM8600AK	1351	270°	50°/s	90°	50°/s	65°	50°/s	360, 90	360, 90	360, 90
Pickomatic	FR 100-5	1370	340°	90°/s	230°	60°/s	270°	135°/s	360, 150	Cont. 150	
Pickomatic	FR 200-3	1500	340°	90°/s	800 mm	1 m/s	500 mm	500 mm/s			
Pickomatic	FR 300-3	710	500 mm	500 mm/s	40°	120°/s	300°	120°/s	300, 120	300, 120	
Planet	ARMAX	2590	270°		54 in			10 in			
Positech	PROBOT		360°	60°/s			2540 mm	460 mm/s	360	180	300
Prab	4200	2083	300°		1067 mm		810 mm		270	180	180
Prab	5800 HD	2489	300°		1473 mm		1000 mm		180	180	180
Prab	MODEL E	1343	240°		1067 mm		762 mm		270	180	210

TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES (CONTINUACION)

FAB.	MODELO	CONT.	ACT.	PROG.	COORD.	EJ.	REP. mm	CAP. Kg.	PESO KG.	APLIC.
Prab	MODEL FA	PTP	HYD	LT	CYL	7	1.27	110		LD SW
Prab	MODEL FB	PTP	HYD	LT	CYL	7	1.27	270		LD SW
Prab	MODEL FC	PTP	HYD	LT	CYL	7	2.0	910		LD SW
Reis	RR625	CP	ELC	MAN LT L	ART	6	0.20	55	1875	LD SW
RHINO	XR-1	PTP	ELC	MAN	ART	5	1.35	0.5	6	Education
Seiko	700	PTP	PNM	SWITCHES	CYL	4	0.64	1.0		LD AS
Seiko	200	PTP	PNM	SWITCHES	CYL	3	0.01	0.7		AS LD
Seiko	400	PTP	PNM	SWITCHES	CRT	3	0.025	4		LD
Seiko	100	PTP	PNM	SWITCHES	CRT	3	0.01	1.3		AS LD
Therwood	CA5 510P				CRT	5+				AS DB DR
Therwood	SERIES 3	PTP	HYD	MAN	ART	5+	1.5	23		LD
Therwood	SERIES 6	CP	HYD	LT	ART	6+	3.2	8		PN CO
Therwood	SERIES 7	CP	HYD	LT	ART	6+	1.5	11		LD
Toshiba	TOS.IX12	PTP	HYD	MAN L	SPH	5	1.0	10		LD SW
Toshiba	TOS.IX15	PTP	HYD	MAN L	SPH	6	1.0	20		LD SW
Unimation	1000	PTP	HYD	MAN	SPH	5	1.27	23		LD
Unimation	2000B	CP	HYD	MAN	SPH	6	1.27	134		LD SW AW
Unimation	2100B	CP	HYD	MAN	SPH	6	2.0	134		LD SW AW
Unimation	2000C	CP	HYD	MAN	SPH	6	1.27	134		LD SW AW
Unimation	2100C	PTP	HYD	MAN	SPH	6	2.0	123		
Unimation	4000B	PTP	HYD	MAN	SPH	6	2.0	205		SW
Unimation	APPRENT.		ELC			5	1.0		34	AW
Unimation	PUMA 250	CP	ELC	L(VAL)MAN	ART	5	0.05	1.5	7	LD AS
Unimation	PUMA 600	CP	ELC	L(VAL)MAN	ART	6	0.10	2.5	55	LD AS
United Tech.	NIKO 25	PTP	ELC	MAN	ART	5	0.25	2.5	130	
United Tech.	NIKO 50	PTP	ELC	MAN	ART	5	0.25	5	240	
United Tech.	NIKO 200	PTP	ELC	MAN	CRT	6	0.35	20	1400	SW
United Tech.	NIKO 600	PTP	ELC	MAN	CRT	6	0.35	60	1650	SW
Westinghouse	SER. 5000	PTP	ELC	LT L	CRT	9	0.10	10	1500	AS I

TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES (CONTINUACION)

FAB.	MODELO	BRAZO						MUNECA			
		RANGO mm	RANGO X;B ₁	VELOC. X;B ₁	RANGO Y;B ₂	VELOC. Y;B ₂	RANGO Z;B ₃	VELOC. Z;B ₃	BALANC.	CABECEO	GIRO LATERAL
Prab	MODEL FA	1994	270°		1524 mm		1524 mm		270	180	240
Prab	MODEL FB	2100	270°		1524 mm		1524 mm		270	180	240
Prab	MODEL FC	2273	270°		1524 mm		1524 mm		270	180	240
Reis	RR625	3400	270°	90°/s	360°	90°/s	1200 mm		Continuous		270
RHINO	XR-1	572	360°	27°/s	180°	23°/s	270°	23°/s	360,	360,	
Seiko	700	200	120°		200 mm		40 mm		180		
Seiko	200	370	90°				10 mm		180		
Seiko	400	370	400 mm				80 mm		180		
Seiko	100	410	200 mm				50 mm		180		
Therwood	CA5 510P	3050	120 in	50 in/s	60 in	50 in/s	24 in	50 in/s	360, 36	240, 36	
Therwood	SERIES 3	1524	280°	90°/s	100°	90°/s	280°	90°/s	360	210	
Therwood	SERIES 6	3050	135°	60°/s	48 in	30 in/s	84 in	30 in/s	270,	180	
Therwood	SERIES 7	1550	280°	45°/s	39 in	30 in/s	76 in	30 in/s	150	180	300, 150
Toshiba	TOS.IX12	1900	220°	90°/s	60°	30°/s	700 mm	700 mm/s	220, 90	220, 90	
Toshiba	TOS.IX15	2515	220°	90°/s	60°	30°/s	900 mm	700 mm/s	360, 90	220, 90	360, 90
Unimation	1000	2290	208°		56°		42 in		90	90	
Unimation	2000B		208°		56°		42 in		360	211	200
Unimation	2100B		208°		46°		54 in		360	211	200
Unimation	2000C		208°		56°		42 in		360	220	200
Unimation	2100C		208°		46°		54 in		360	220	200
Unimation	4000B		200°		51°		52 in		370	226	320
Unimation	APPRENT.	1143	90°		50°		35 in			175	180
Unimation	PUMA 250	406	315°	109°/s	310°	103°/s	300°	150°/s	575,	240,	525, 300
Unimation	PUMA 600	914	320°	92°/s	250°	57°/s	270°	137°/s	300,	200,	532, 270
United Tech.	NIKO 25		320°	90°/s	240°	90°/s	250°	110°/s	210,	258	
United Tech.	NIKO 50		320°	90°/s	240°	90°/s	290°	110°/s	110	350,	
United Tech.	NIKO 200	5500	6000 mm	0.75 m/s	2000 mm	0.75 m/s	1000 mm	0.30 m/s	210,	340,	340, 120
United Tech.	NIKO 600	5500	6000 mm	1 m/s	2000 mm	1 m/s	1200 mm	0.50 m/s	110	120	
Westinghouse	SER. 000	1473	1473 mm	533 m/s	406 mm	533 mm/s	406 mm	533 mm/s	360,	90,	

TABLA IX CARACTERISTICAS DE ROBOTS COMERCIALES (CONTINUACION)

la tercera y cuarta, el ángulo de elevación y la velocidad; las dos últimas el alcance y la velocidad de los ejes lineales. Por su parte, si el robot es de coordenadas angulares las seis columnas dan las velocidades y rangos angulares de la base, codo y hombro.

Las últimas tres columnas dan la rotación angular de la muñeca en grados (BALANC. es balanceo), y en algunos casos la velocidad máxima correspondiente en grados por segundo. De esta manera (180, 115) significa que un robot determinado tiene un rango de rotación de 180° y una velocidad máxima de $115^\circ/\text{s}$.

La Tabla X presenta una lista de las características técnicas típicas de robots que se necesitan en aplicaciones comunes. Cabe anotar que los datos de esa tabla son representativos, por lo que pudieran haber excepciones a las recomendaciones de dicha tabla encontradas en instalaciones robotizadas exitosas. Sin embargo, el uso de esta tabla puede ser de gran ayuda para reducir el número de los robots candidatos.

Es aconsejable seguir un procedimiento de decisión basado en una lista de las características técnicas de la aplicación particular y luego, sistemáticamente se comparan esas características con las especificaciones

APLICACIONES	CARACTERISTICAS TECNICAS TIPICAS REQUERIDAS
Transferencia de materiales	<p>Número de grados de libertad: 3 a 5 Sistema de control: punto a punto Tipo de actuador: neumático o hidráulico Programación: gestual</p>
Carga de máquinas	<p>Anatomía: polar, cilíndrica, angular Número de grados de libertad: 4 ó 5 Tipo de actuador: eléctrico o hidráulico Programación: gestual (por dispositivo de enseñanza) Sistema de control: punto a punto</p>
Soldadura por puntos	<p>Anatomía: polar, angular Número de grados de libertad: 5 ó 6 Tipo de actuador: eléctrico o hidráulico Programación: gestual (por dispositivo de enseñanza) Sistema de control: punto a punto</p>
Soldadura por arco	<p>Anatomía: polar, angular, cartesiana Número de grados de libertad: 5 ó 6 Tipo de actuador: eléctrico o hidráulico Programación: gestual Sistema de control: de trayectoria continua</p>
Recubrimiento por pulverización	<p>Anatomía: angular Número de grados de libertad: 6 o más Tipo de actuador: hidráulico Programación: gestual (directa) Sistema de control: de trayectoria continua</p>
Ensamblaje	<p>Anatomía: angular, cartesiana, SCARA Número de grados de libertad: 3 a 6 Tipo de actuador: eléctrico Programación: gestual (por dispositivo de enseñanza), textual Sistema de control: punto a punto o de trayectoria continua Exactitud y repetibilidad: alta</p>

TABLA X CARACTERISTICAS TECNICAS REQUERIDAS DE LOS ROBOTS PARA APLICACIONES SELECCIONADAS

de los modelos candidatos. Es ventajoso dividir la lista de características en dos categorías: obligatorias y deseables. Las características obligatorias son aquellas que deben ser satisfechas por el robot con el fin de realizar la tarea particular. Si alguno de los robots no satisface estas características, debe ser eliminado de la lista de candidatos.

Las características deseables son aquellas que no son requeridas necesariamente para llevar a cabo la aplicación, no obstante, en caso de que el robot elegido las cumpliera, se obtendrían beneficios adicionales. Las especificaciones de cada robot candidato son comparadas con cada una de las características deseables, asignándole un puntaje para indicar en forma cuantitativa el grado en el cual el robot satisface la característica particular. Debido a que las características difieren en cuanto a la importancia de cada una, se asigna a cada una de ellas un puntaje máximo posible. La determinación del puntaje para cada una de las características (dentro de las dos categorías) para cada uno de los modelos, queda a juicio de la persona encargada para este fin.

La Tabla XI ilustra un formato que puede ser utilizado para comparar las características de la aplicación con las especificaciones de los robots disponibles. Esta

CARACTERISTICAS TECNICAS	ROBOTS CANDIDATOS			
	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Obligatorias				
Control de trayectoria continua	X	X	X	X
6 grados de libertad	X	X	-	X
Programación gestual (directa)	X	X	X	X
Deseables				
Facilidad de programación (0-9)	6	4	-	6
Capacidad para editar un programa (0-5)	4	2	-	5
Adaptación a diversas situaciones (0-4)	2	2	-	2
Espacio de trabajo	5	8	-	6
Repetibilidad	5	2	-	4
Precio más bajo (0-5)	4	5	-	3
Entrega (proveedor a destino) (0-3)	1	1	-	3
Prestigio del proveedor (0-9)	6	5	-	8
TOTAL	33	29		37

TABLA XI FORMATO USADO PARA COMPARAR LAS CARACTERISTICAS DE UNA APLICACION DE SOLDADURA POR ARCO CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CUATRO ROBOTS DIFERENTES

tabla de carácter práctico fue desarrollada por una compañía con el fin de seleccionar un robot para una aplicación de soldadura por arco. Como se aprecia en la tabla, los robots son identificados como A,B,C y D, en vez de utilizar la compañía fabricante y el modelo.

Las características obligatorias fueron consideradas esenciales para la aplicación de soldadura. Como se aprecia en la tabla, el modelo C fue eliminado en primera instancia, ya que no satisfizo el requerimiento de poseer seis ejes.

Las características deseables fueron evaluadas considerando su prioridad relativa dándoles un rango de puntaje, el mismo que se encuentra dentro de los paréntesis. Como puede notarse, algunas de las características deseables listadas en el formato, incluyen consideraciones tanto técnicas como no-técnicas. El precio del robot, la entrega y el prestigio de la compañía proveedora fueron consideraciones importantes para la compañía al seleccionar el robot. El modelo D fue seleccionado como el mejor robot para la aplicación ya que obtuvo el puntaje más alto.

3.4. PLANIFICACION DE LA INSTALACION DEL ROBOT

La planificación y la dirección de la instalación de un robot,

implica el diseño físico de la célula robotizada.

TIPOS DE CELULAS ROBOTIZADAS

Las células de trabajo robotizadas pueden pertenecer a uno de los siguientes arreglos o configuración:

1. Célula con robot centrado.
2. Célula con robot en línea.
3. Célula con robot móvil.

La Figura 23 ilustra los dos últimos arreglos. En la célula de robot centrado, como se vió en el capítulo 1, el robot está localizado aproximadamente en el centro de la célula y el equipo está arreglado en un círculo parcial alrededor del robot. Una aplicación de este tipo de configuración es la de soldadura por arco. Con este tipo de célula se necesitan cintas transportadoras, alimentadoras y arreglos de piezas (pallets). Estos dispositivos son usados en aplicaciones tales como mecanizado, estampado, moldeado plástico y otras operaciones similares. En soldadura por arco, se requieren a menudo operadores humanos para realizar la función de carga y descarga de piezas.

Por otro lado, con el arreglo de célula en línea, mostrado en la

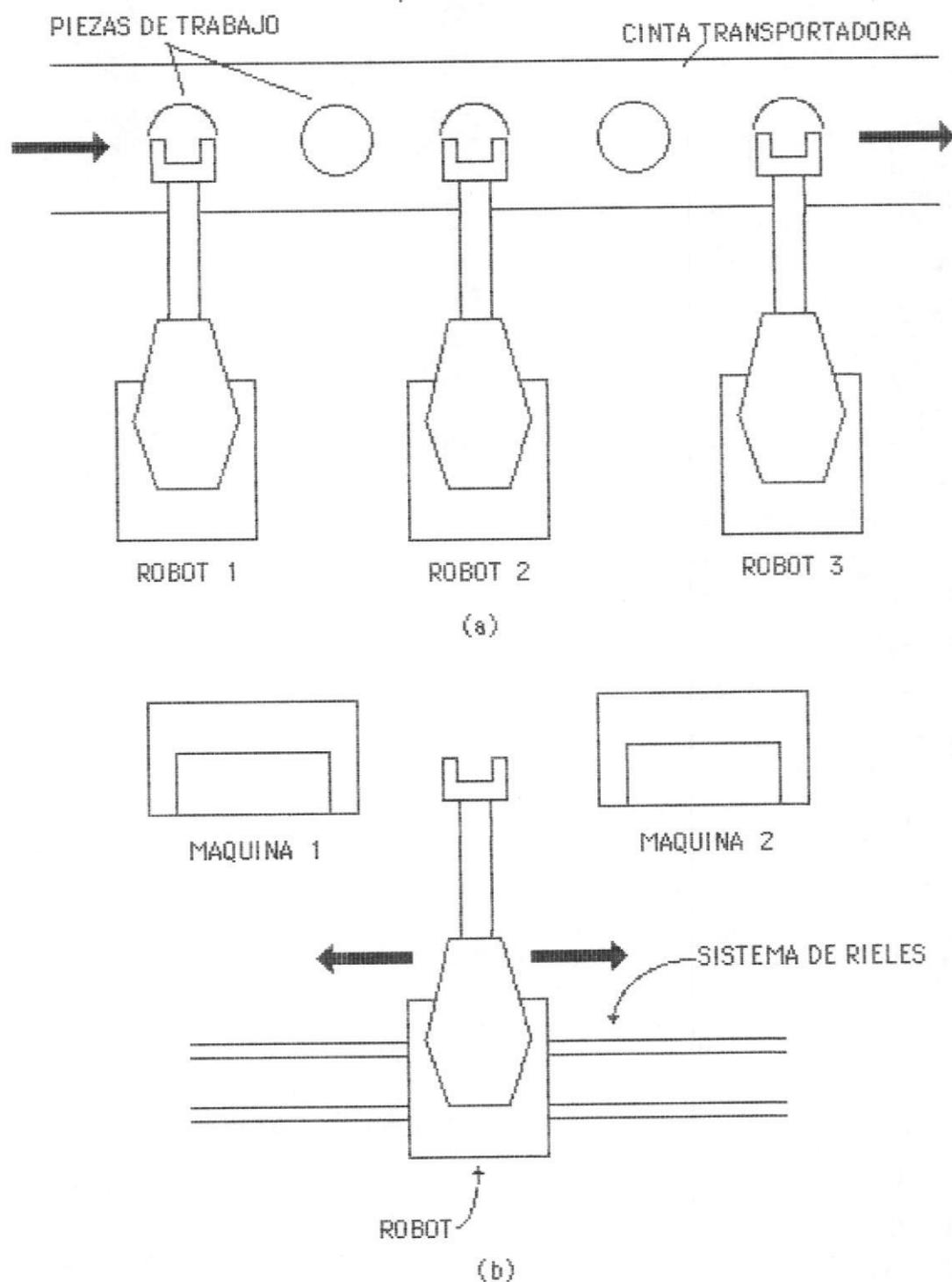


Fig. 23 TIPOS DE CELULAS ROBOTIZADAS: (a) CON ROBOT EN LINEA, (b) CON ROBOT MOVIL

Figura 23(a), el robot está colocado a lo largo de una cinta transportadora u otro sistema y ejecuta una tarea en el producto cuando éste pasa frente al robot. Muchos de los arreglos de célula en línea tienen más de un robot colocado a lo largo de la línea móvil. Un ejemplo común de este tipo de célula se encuentra en la planta de ensamblaje de una industria automovilística.

Los sistemas de transferencia que pueden ser usados con esta configuración se encuentran en las siguientes categorías: intermitente, continua y no-sincrónica.

Un sistema de transferencia intermitente mueve las piezas con un movimiento tipo "comenzar y parar" de una estación de trabajo a otra a lo largo de la línea. En este sistema todas las piezas se mueven simultáneamente y luego son registradas en las próximas estaciones, en otras palabras, la pieza a ser procesada se detiene frente al robot, el mismo que está en una posición estacionaria. La ventaja de este sistema está obviamente en que la pieza puede ser registrada en posición y orientación fijas con respecto al robot.

En un sistema de transferencia continua, las piezas se mueven continuamente a una velocidad constante a lo largo de la línea, lo que significa que la posición y orientación de la pieza cambia en forma continua y por tanto el registro de la pieza es un problema. Este problema puede ser resuelto de una de las

dos formas siguientes: empleando algún sistema de transporte que mueva al robot en una recta paralela a la línea de viaje de la pieza, obteniéndose así una posición relativa constante entre la pieza y el robot o que el robot se encuentre en una posición estacionaria pero que sea capaz de rastrear a la pieza en movimiento.

En el sistema de transferencia no-sincrónica, cada pieza se mueve a lo largo de la cinta transportadora en una forma "parar-seguir" en forma independiente debido a que cada una tiene su propio carril móvil.

Por último, la tercera categoría de diseño de célula robotizada es aquella en la cual el robot es capaz de moverse hacia los varios componentes de la célula. Esto se logra montando al robot sobre una base móvil que pueda ser transportada en un sistema con riel. Los sistemas con rieles usados en células robotizadas son o pistas fijadas al piso de la planta o sistemas colgantes de riel. La Figura 23(b) ilustra el sistema de riel fijada al piso. La ventaja del sistema colgante está en que se requiere menos espacio y su desventaja radica en el costo de construcción.

Este tipo de configuración de célula es apropiado cuando el robot tiene que servir a varias máquinas-herramienta con grandes ciclos de procesamiento.

A continuación se dan los pasos para realizar una planificación de instalación de un proyecto robotizado:

1. Tomar en cuenta las limitaciones del robot, de ahí que por ejemplo, en una aplicación particular se hace necesario inspeccionar las piezas antes de que sean llevadas a la estación de trabajo. Otra consideración que hay que tener presente es la posición relativa que guarda la pieza y la herramienta usada para procesarla. El método más natural para un operador sería el de colocar la pieza de trabajo en una posición estacionaria y luego manipular la herramienta para hacer la tarea requerida. Esto, sin embargo, no siempre es lo mejor para un robot, lo que quiere decir que puede ser más apropiado invertir las posiciones de la herramienta y de la pieza de trabajo.
2. Determinar el tipo de célula de trabajo. La configuración de la célula está estrechamente relacionada con el método de operación empleado en la aplicación. Hay que tener presente que la mayoría de los robots son estacionarios por lo que la pieza a ser procesada deberá estar dentro del alcance de robot.

En este paso debe considerarse además la protección del robot del medio en donde trabaja en caso de requerirla y el suministro de servicios tales como electricidad, presión de aire, etc.

3. Tomar las medidas de seguridad apropiadas para la célula.

3.5. INSTALACION Y ACOPLAMIENTO DEL ROBOT EN UNA INDUSTRIA

La instalación comienza luego de que se han resuelto los problemas involucrados en la planificación y una vez que se ha realizado la compra del robot, equipos y suministros necesarios. La instalación implica la implementación de los planes que han sido preparados previamente.

En la fase de instalación se realizan las siguientes actividades:

- Preparación del sitio en la planta donde irá localizada la célula. Aquí hay que considerar la posibilidad de alterar la planta con el fin de "acomodar" las máquinas-herramienta de la célula, en caso de que sea necesario.

Además se proveen los medios de protección al robot contra altas temperaturas, vapores peligrosos, ruido eléctrico, etc.

- Proveer a la célula servicios de energía eléctrica o neumática.
- Instalación, revisión y programación del controlador de la célula.

- Instalación de sistemas de seguridad.

De la revisión de proyectos robotizados realizados en otros países, se puede concluir que el tiempo requerido para finalizar la instalación está comprendido típicamente entre tres meses y un año. Un factor crítico en el proceso de instalación es el tiempo que transcurre desde que se hace el pedido del robot hasta que éste es recibido. Ese tiempo depende de las condiciones del mercado y puede causar retardos significativos en el procedimiento de instalación.

Además de lo expuesto anteriormente, durante el proceso de instalación deben resolverse otros problemas, los cuales están dentro de las siguientes categorías:

- Distribución en planta.
- Utilización y configuración de trabajo.
- Modificaciones en la tarea.

Otros problemas relacionados con la instalación, tales como seguridad, entrenamiento, mantenimiento y mejoramiento en la calidad serán estudiados el numeral 3.6.

3.5.1. DISTRIBUCION EN PLANTA

Cuando se va a implantar un robot en un sistema de



producción convencional, es el propio sistema de producción el que puede ser objeto de cambio con el fin de acoplarse a las características particulares del robot escogido. Para lograr ello, es necesario la determinación y la distribución en planta de los diversos equipos y su interrelación. Se puede dar el caso de que la distribución en planta previa a la robotización deba ser cambiada profundamente y que la sencilla sustitución de cada operario por un robot carezca de sentido. Es obvio que la solución es diferente para cada industria que va a robotizar sus operaciones, por lo cual no pueden darse reglas de carácter general.

La distribución en planta conlleva al problema de la circulación de las piezas y de los materiales en sus diferentes estados con el fin de que el robot trabaje en forma eficiente.

Una buena distribución en planta asegura que los diferentes equipos no interferirán unos con otros. Debido a que pueden haber células o con más de un robot o con uno solo, hay dos formas en que puede ocurrir interferencia. El primer caso involucra interferencia física de los robots y puede evitarse disponiendo los robots de tal forma que sus espacios de trabajo no se intersecten, no obstante, en algunas aplicaciones es deseable que dos robots compartan el mismo espacio,

como por ejemplo cuando un robot coloca una pieza en cierto lugar y el otro robot la tiene que recoger.

En cualquier otro caso se deben coordinar los ciclos de movimiento programados de los robots, de tal forma que los brazos nunca lleguen a estar demasiado cerca.

El segundo tipo de interferencia se conoce como "interferencia de máquina" y se encuentra cuando dos o más máquinas son servidas por un robot. Los ciclos de dichas máquinas son tales que si una o más de ellas están desocupadas, otra está siendo servida por el robot.

3.5.2. UTILIZACION Y CONFIGURACION DE TRABAJO

La utilización se refiere a que se debe determinar la acción del robot como una de las dos formas siguientes de actuación:

- El manipulador presenta la pieza de trabajo a la máquina o a la herramienta por medio de su elemento terminal.
- El manipulador sujeta y manipula la herramienta o en forma directa o con un elemento terminal que actúa como garra.

Por otro lado, la introducción de robots en una industria implica cambios en la configuración de trabajo, en términos del personal y de la organización. Esta reconfiguración del trabajo dependerá en gran medida del tamaño del proyecto robotizado (una célula o un sistema de células) que se pretende implantar, lo que a su vez dependerá fuertemente de cuán grande es la industria involucrada, de las posibilidades económicas y del número de operaciones que son candidatas fuertes para la robotización. De allí que por ejemplo, no deben esperarse mayores cambios en una industria pequeña o mediana quizás. En una industria grande es más probable llegar a una reestructuración laboral reducida en relación con la organización previa a la introducción de los robots.

3.5.3. MODIFICACIONES EN LA TAREA

Como se ha anotado anteriormente, los robots pueden reconfigurarse rápida y fácilmente para diferentes tareas. Debido a la sencillez de las nuevas técnicas de programación en Robótica, se puede lograr que un robot cambie de tareas cada pocas horas si es necesario.

Como ejemplo puede citarse el plan de actividades que podría llevar a cabo el robot GE A/3 ofrecido por la Compañía General Electric:

LUNES: Paletización

MARTES (por la mañana): Manipulación de materiales

MARTES (por la tarde): Inspección

MIERCOLES: Carga/descarga de piezas

JUEVES: Ensamblaje

VIERNES: Empaquetamiento

SABADO: Junturas

Cada una de esas actividades puede ser programada y almacenada en una memoria de bajo costo por lo que el robot puede cambiar de tarea en cualquier instante.

Debido a que podrían haber algunos robots similares en una industria, todos ellos pueden ser utilizados para que realicen una tarea o una combinación de tareas. Una de las ventajas que se tiene en este caso es que sólo tiene que ser "entrenado" un robot para una nueva tarea; los otros robots pueden operar con el mismo programa. Esto no ocurre con los operadores, ya que obviamente, cada uno debe aprender la nueva tarea en forma individual.

3.6. CONSIDERACIONES FINALES

Además de los criterios relacionados exclusivamente a la

introducción de robots, es de gran importancia anotar otros criterios relativos a los problemas que hay que resolver después de la implantación de un robot en una industria. Entre esos problemas se encuentran principalmente los cuatro siguientes: seguridad del operador, entrenamiento técnico, mantenimiento y mejoramiento en la calidad. En este numeral se discutirán brevemente cada uno de ellos.

SEGURIDAD EN ROBOTICA

El problema de la seguridad de los robots se puede estudiar bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la promoción de la seguridad industrial a través del uso de robots que liberen a las personas de trabajos peligrosos y la toma de medidas para evitar los accidentes que podrían causar los propios robots.

Antes de mencionar las medidas de seguridad que deben tomarse cuando se han introducido robots en una industria, se citará primeramente una información que apareció en "The Japan Robots News" referente a dos accidentes con víctimas ocurridos en la fábrica Akashi de la Kawasaki Heavy Industries y en la Daihatsu Motor Company de Ikeda respectivamente, con el fin de que se dé la debida importancia al tema que se está tratando. En el primer caso, un operador de mantenimiento observó una falla en la fresadora de engranajes, por lo que atravesó las vallas de seguridad para poder inspeccionar de cerca el problema. Repentinamente el robot alargó su brazo,

alcanzando al operador por su espalda, quedando apresado por más de veinte minutos por la pinza del robot cuyo peso era de una tonelada y media. Debido a que no se encontró a ninguna persona que supiera manejar debidamente el manipulador, hubo que cortarle el brazo al robot con un soplete. En el segundo caso, un ingeniero quedó atrapado en una cadena de montaje con robots cuando realizaba labores de inspección. Murió en forma instantánea con el cráneo fracturado.

Si por una parte decimos que los robots nos liberan de situaciones peligrosas, no debemos olvidar que al mismo tiempo el robot lleva consigo nuevos peligros, motivo por el cual deben de tomarse ciertas precauciones. Las personas corren peligro cuando se encuentran en contacto con el robot o muy cerca de él. Se presentan cinco situaciones:

1. Durante la programación del robot. Al realizar la programación, los programadores deben entrar al espacio de trabajo del robot, mientras éste está operando. Es aconsejable que mientras se esté programando al robot y cuando se haga la prueba del programa, la velocidad del brazo esté colocada a un nivel bajo.
2. Durante la operación de la célula. Cuando hay personas que trabajan dentro de ella.
3. El monitoreo, cambio de herramientas, inspección y otras

operaciones involucradas con los robots o su equipo periférico, son todavía hechas por personas.

4. Al efectuar una detención programada o accidental en el funcionamiento del robot, un operador puede entrar en el espacio de trabajo para inspeccionar el problema, pudiendo ocurrir una inesperada puesta en marcha del robot.
5. Durante el mantenimiento del robot.

La determinación de las medidas de seguridad se la hace tomando en cuenta los tres aspectos siguientes:

- Un sistema de control confiable.
- El diseño de la estación de trabajo.
- Entrenamiento del personal de planta (programadores, operadores y personas encargadas del mantenimiento).

El primer aspecto depende del fabricante del robot, mientras que los otros dos deben ser considerados dentro de la planta.

Se citan a continuación tres medidas de seguridad contenidas en el segundo aspecto:

1. El área de trabajo del robot estará cerrado de forma

permanente de manera que no se pueda saltar por encima. Dicha área estará cerrada por barreras como vallas y cadenas. El diagrama del espacio de trabajo del robot es un elemento importante a la hora de planificar las barreras. En la Figura 24 puede verse una barrera, la cual consiste en una valla hecha con mallas metálicas.

2. Las puertas del área de trabajo del robot deben estar conectadas al sistema de control del robot. Si las puertas se abren, se cortará automáticamente la alimentación a las máquinas.
3. Deberá instalarse una señal luminosa que tendrá que encenderse automáticamente indicando "robot trabajando", una vez que el robot es puesto en marcha. Esta señal prevendrá a las personas de no entrar en el área de trabajo del robot, cuando éste se encuentra trabajando, aún si no se está moviendo.

ENTRENAMIENTO

El entrenamiento en Robótica se refiere a los tres temas siguientes:

- Introducción a la nueva tecnología.
- Aplicaciones.

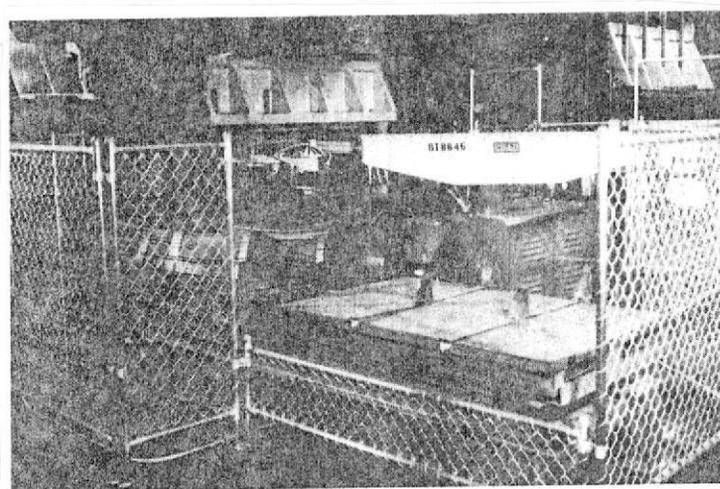


Fig. 24 FOTO DE UNA BARRERA HECHA CON MALLAS METALICAS

- Operaciones y mantenimiento.

En el primero de ellos se deben dar a conocer los conceptos usados en Robótica incluidos no sólo en la tecnología sino también en las aplicaciones, en la Economía, analizando por último los impactos sociales. Además, es aconsejable que se consiga información relacionada a las tendencias futuras y desarrollos en la investigación de la Robótica. Este tópico del entrenamiento está dirigido especialmente a los administradores y a los ingenieros de la industria.

El segundo tema está dirigido principalmente al personal técnico quienes deben seleccionar las aplicaciones y planificar las instalaciones.

Por otro lado, el entrenamiento para la operación y mantenimiento del robot está enfocado al personal tanto de producción como al de mantenimiento, a quienes debe impartirse los conocimientos técnicos detallados que se requieren para usar y asistir al robot.

Un curso típico de entrenamiento debe cubrir las siguientes áreas: programación, operación, mantenimiento y reparación del robot.

MANTENIMIENTO

Es obvio que la industria que ha instalado un robot en su planta no puede tolerar una avería del mismo, el cual es una parte integrante de su sistema de fabricación.

Las partes esenciales de un programa eficaz de mantenimiento de un robot son las siguientes:

- Personal de mantenimiento altamente calificado.
- Programa de mantenimiento preventivo apropiado.
- Surtido razonable de piezas de repuestos.

PERSONAL DE MANTENIMIENTO

El personal de mantenimiento es sin lugar a dudas la parte más importante de un programa de mantenimiento.

Las actividades que debe realizar dicho personal pueden clasificarse en dos grupos: mantenimiento preventivo y mantenimiento de emergencia. El mantenimiento preventivo se refiere a la asistencia planificada del equipo cada cierto tiempo. Este tipo de mantenimiento será estudiado después. El mantenimiento de emergencia o correctivo es la actividad que debe realizar el personal especializado para arreglar o reparar

una avería o un mal funcionamiento del robot que haya ocurrido durante la operación regular. Un buen programa de mantenimiento asegura que el personal encargado deberá resolver el problema en el menor tiempo dentro de ciertas limitaciones.

El tiempo de servicio para el robot en una situación de emergencia se divide en tres partes, cada una de las cuales toma el nombre de la actividad implicada, a saber:

- Diagnóstico del problema.
- Reparación.
- Verificación del equipo para comprobar que el problema ha sido corregido.

En la mayoría de los casos, ocurre que el diagnóstico del problema es el que toma más tiempo. La habilidad que tiene un técnico para diagnosticar una falla es probablemente el factor más crítico ya que la reparación y la verificación final son normalmente actividades de rutina.

Algunos fabricantes de robots venden equipos de diagnóstico que se conectan al controlador del robot con el fin de ayudar a identificar las posibles causas de la falla, dando además la solución apropiada.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La industria que implantará robots en sus instalaciones, tendrá problemas relacionados al mantenimiento de emergencia de modo inevitable. Una manera de disminuir la ocurrencia de dichos problemas es elaborando un programa apropiado de mantenimiento preventivo. El objetivo de este mantenimiento es el de asistir al equipo en intervalos periódicos para reducir los problemas de emergencia. Al darle mantenimiento preventivo a los robots en forma planificada y sistemática, disminuirán las fallas y en caso de que ocurran serán menos graves. Este mantenimiento se lo realiza mientras el equipo de producción no está en la operación regular.

El mantenimiento preventivo puede ser dividido en las siguientes partes:

- Chequeo.
- Limpieza.
- Sustitución de ciertos componentes (mecánicos o eléctricos) del robot en intervalos regulares de tiempo.

Normalmente, los fabricantes de robots incluyen en sus manuales de operación un programa de mantenimiento, indicando los componentes a los que se debe dar servicio

periódicamente. Los programas de mantenimiento preventivo varían mucho dependiendo del fabricante y de la complejidad del robot.

Con el fin de que el programa de mantenimiento tenga éxito, es importante mantener un registro acerca del servicio que se haya dado a cada equipo de la planta. Dicho registro debe incluir datos tales como: Los tiempos promedios en los cuales operará una máquina entre una y otra avería que se presente (tiempo medio entre fallas o MTBF (mean time between failure)), los tiempos de reparación (tiempo medio de reparación o MTTR (mean time to repair)), la naturaleza del problema de mantenimiento y la acción correctiva que debe tomarse, donde debe incluirse los componentes reparados o reemplazados.

MEJORAMIENTO EN LA CALIDAD

Uno de los objetivos que se persigue con la implantación de robots es mejorar la calidad de los productos. Para lograr esto se deben cumplir ciertos requerimientos relacionados con la célula.

Un primer requerimiento impuesto por una aplicación robotizada típica es que las piezas entregadas a la célula tengan una uniformidad y calidad más altas que para una operación manual. Esto debe ser tomado muy en cuenta si se

considera que un robot tiene que trabajar con piezas que no presenten variaciones ni defectos, a menos que tenga sensores especiales y las subrutinas apropiadas en su sistema.

Una segunda consideración en el mejoramiento de la calidad que está estrechamente vinculada con el uso del robot, es la regularidad y la repetibilidad de su ciclo de trabajo. El robot es capaz de ejecutar el ciclo de trabajo con menos variaciones en el tiempo de operación y en el patrón de movimiento que un operador humano.

Otras consideraciones que tienen que ver con el robot, es la exactitud en el posicionamiento y su velocidad de operación. Evidentemente la exactitud es mucho mayor en los robots que en los operadores. Un robot con un alcance de 3 pies, por ejemplo, puede tener una precisión de 0.008 pulgadas.

En cuanto a la velocidad de operación, un ejemplo claro está en la soldadura de piezas delicadas, donde la herramienta de soldar tiene que ser movida rápidamente sobre la juntura con el fin de terminar la unión antes de que las piezas se deformen debido al calor que se produce en dicha operación.

Finalmente, puede anotarse que los beneficios que se obtienen de una célula robotizada en cuanto al mejoramiento de la calidad son:

- Consistencia en la manipulación y procesamiento de las piezas.

- Menor daño a las piezas que si los trabajadores efectuaran la operación.

CAPITULO IV

INVESTIGACION EN INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL
ACERCA DE LOS CAMPOS DE UTILIZACION QUE PODRIAN TENER LOS
ROBOTS, HACIENDO UN ANALISIS DE LA POSIBILIDAD DE
IMPLANTACION DE ELLOS

Para este fin se realizaron dos visitas a las siguientes industrias:

- ELECTRODOMESTICOS DUREX C.A.
- INCAMEP S.A.

VISITA A ELECTRODOMESTICOS DUREX C.A.

LOCALIZACION DE LA PLANTA

Las instalaciones industriales de ELECTRODOMESTICOS DUREX C.A. están ubicadas en el kilómetro 15 vía Guayaquil-Daule, entrando a Pascuales, donde cuenta con la disponibilidad de servicios de energía eléctrica, agua potable y abastecimientos de materias primas, así como para la transportación de los artefactos terminados.

BREVE DESCRIPCION DE LA PLANTA

ELECTRODOMESTICOS DUREX C.A. se dedica a la fabricación de refrigeradoras, cocinas, lavadoras, congeladores, secadoras de ropa y aires acondicionados. Para ese fin, las plantas de dicha industria cuentan con prensas hidráulicas y mecánicas y para el mantenimiento de la matricería tiene un enorme taller, el mismo que dispone de una gran cantidad de máquinas, tales como: tornos, cepillos, fresadoras, rectificadoras y un gama completa de herramientas de banco.

BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

El proceso que conduce a la fabricación de los diversos electrodomésticos, comienza con el corte de las bobinas de hierro (templado al frío) en la máquina multi-way, luego de ello, las láminas obtenidas en el paso anterior son llevadas a las prensas, donde previa colocación de las matrices, se realiza el proceso de embutido o estampado, según el caso. Una vez terminado este proceso, los accesorios producidos en las prensas son sometidos a un proceso de decapado, cuyo propósito es el de eliminar la grasa y suciedad de los mismos. El decapado consiste en sumergir dichos accesorios en compuestos químicos, luego en agua con detergente y finalmente en agua caliente. Una vez que las piezas están secas, quedan listas para el proceso de base, donde son tratadas por inmersión o aspersion y luego colgadas en la cadena continua que entra a un horno. Pasada esta etapa, viene el proceso de enlozado,

que es efectuado de igual forma que el de base.

Una vez que están listas todas las partes de un electrodoméstico determinado (o de varios de ellos) se realiza la tarea del ensamblaje. El proceso termina con la prueba de los electrodomésticos terminados.

IDENTIFICACION DE OPORTUNIDADES

Tomando en cuenta las operaciones realizadas en esta industria y teniendo presente además las áreas de aplicación de los robots comerciales, los campos de utilización que podrían tener éstos, son los siguientes:

- Pulverización de las piezas terminadas
- Soldadura
- Transporte de piezas
- Embalaje
- Paletización

EVALUACION DE LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE DUREX

Se aplicó el cuestionario de la General Electric (Tabla XII) y de acuerdo a la interpretación del puntaje neto obtenido en el mismo, puede anotarse que la probabilidad de introducir robots en esta industria, es baja, lo cual desde ya constituye un factor

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
1	¿Se asegura a los trabajadores afectados la conservación de su trabajo?	20	9	11
2	¿Se podrían asignar a los trabajadores desplazados, tareas igualmente remuneradas?	15	15	0
3	¿Beneficiará la instalación robotizada a los trabajadores en cuestión de: a. Salud? b. Seguridad? c. Alivio de tareas duras? d. Alivio de tareas: sucias, que involucran altas temperaturas o agotadoras?	15	12	3
4	¿El clima actual del sindicato y administración es favorable para un diálogo abierto? ¿Se exponen las condiciones económicas de la fábrica? ¿Hay inquietudes o injusticias en el trabajo? ¿Existe desconfianza en el ambiente laboral?	15	12	3
5	¿Es la condición económica actual de la industria lo suficientemente buena como para garantizar que las promesas sean cumplidas?	5	4	1
6	¿El departamento de ingeniería de fabricación y otras unidades de administración han mostrado la habilidad para establecer una comunicación abierta con los trabajadores o existe alguna "distancia social" irregular?	5	5	0
7	¿Hay reconocimiento de la administración y conciencia por los aspectos inhumanos de las tareas que va a ejecutar el robot o sólo se interesa por el aspecto económico?	5	4	1

TABLA XII CUESTIONARIO QUE INVESTIGO LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE DUREX C.A.

D: PUNTAJE DISPONIBLE
F: PUNTOS A FAVOR
C: PUNTOS EN CONTRA

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
8	¿Hay algún plan para seleccionar y subir de categoría a los trabajadores que intervendrán o harán la puesta a punto del robot?	5	5	0
9	¿Serán penalizados los trabajadores en sus tarifas de estímulo por nuevas tarifas o por el tiempo de trabajo del robot que no es atribuible al operador?	5	4	1
10	¿Ha demostrado la administración en el pasado respeto y consideración por los talentos, habilidades e inteligencia de los trabajadores?	3	3	0
11	¿Está dispuesta la organización a compartir los resultados de este cuestionario con la fuerza laboral y/o el sindicato?	3	2	1
12	¿Se hará el entrenamiento del robot dentro del tiempo de la organización? ¿Existe la posibilidad de enviar a los trabajadores (en caso necesario) a la escuela de entrenamiento de la casa vendedora del robot?	2	2	0
13	¿Pueden expresar los trabajadores sus intereses, ideas y temores sin ser ridiculizados?	2	2	0
PUNTAJES	PARCIALES		79	21
	NETO (F-C)		58	

TABLA XII (CONTINUACION)

negativo para llevar a cabo la propuesta de robotización.

VISITA A INCAMEP

LOCALIZACION DE LA PLANTA

Las instalaciones industriales de INCAMEP S.A. están ubicadas en el kilómetro 23 1/2 vía Guayaquil-Daule, frente al lago de Capeira, donde cuenta con toda la disponibilidad de mano de obra, energía eléctrica, agua potable y abastecimientos de materias primas, así como para la transportación de los productos terminados.

BREVE DESCRIPCION DE LA PLANTA

INCAMEP S.A. fabrica productos plásticos para el área de la gasfitería como sifones de 1/4 y 1/2 para lavaderos de mano y de cocina, como equipo de primera necesidad para la evacuación de aguas servidas.

Las plantas de INCAMEP cuentan con inyectoras y sopladoras para plástico, prensas hidráulicas para metal, cortadora de tubos, taladros, etc. Tienen además equipos auxiliares como controladores de tiempo y enfriadores de agua.

Para el mantenimiento de matricería INCAMEP cuenta con un gran taller, el mismo que dispone de: tornos, cepillos, fresadoras de



torreta y taladros fresadores y de una extensa gama de herramientas de banco.

BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

El proceso se inicia alimentando manualmente las inyectoras, a través de la tolva con el compuesto, luego, por selección de la temperatura y el desplazamiento del husillo, el material se plastifica y es introducido en las cavidades del molde, en donde se obtiene el producto deseado en bruto. Después se extrae el producto del molde y se procede a eliminar manualmente los bordes y sobrantes. Finalmente, son embalados en fundas plásticas, quedando de esta manera los productos listos para su distribución.

IDENTIFICACION DE OPORTUNIDADES

Los campos de utilización que podrían tener los robots son los siguientes:

- Taladrado en piezas sopladas
- Cambio de molde para las máquinas de inyección y soplado
- Alimentación de las máquinas-herramienta
- Carga/descarga de las máquinas de inyección:
 - Carga de materia prima en la tolva
 - Descarga del producto en bruto del molde

- Transporte de piezas a la bodega
- Desbarbado de las piezas
- Ensamblaje de los productos
- Embalaje en fundas plásticas
- Paletización de los productos elaborados

EVALUACION DE LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE INCAMEP S.A.

Del mismo modo, se aplicó el cuestionario a los trabajadores (Tabla XIII), y como puede verse el nivel de aceptación es muy bueno, por lo que constituye un buen punto de partida para el proyecto robotizado propuesto.

4.1. SELECCION DE UNA INDUSTRIA POR LA CONSIDERACION DE CIERTOS FACTORES

Se elaboró la Tabla XIV con el fin de que ayude a seleccionar a una de las dos industrias investigadas, la misma que, como se anotó previamente, será objeto de un análisis económico y del estudio de implantación de un sistema robotizado. Dicha tabla contiene factores importantes que miden la posibilidad de implantación de robots en las instalaciones de esas industrias. Evidentemente, la respuesta a la primera pregunta estará basada en el puntaje neto obtenido del cuestionario de

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
1	¿Se asegura a los trabajadores afectados la conservación de su trabajo?	20	18	2
2	¿Se podrían asignar a los trabajadores desplazados, tareas igualmente remuneradas?	15	10	5
3	¿Beneficiará la instalación robotizada a los trabajadores en cuestión de: a. Salud? b. Seguridad? c. Alivio de tareas duras? d. Alivio de tareas: sucias, que involucran altas temperaturas o agotadoras?	15	15	0
4	¿El clima actual del sindicato y administración es favorable para un diálogo abierto? ¿Se exponen las condiciones económicas de la fábrica? ¿Hay inquietudes o injusticias en el trabajo? ¿Existe desconfianza en el ambiente laboral?	15	15	0
5	¿Es la condición económica actual de la industria lo suficientemente buena como para garantizar que las promesas sean cumplidas?	5	5	0
6	¿El departamento de ingeniería de fabricación y otras unidades de administración han mostrado la habilidad para establecer una comunicación abierta con los trabajadores o existe alguna "distancia social" irregular?	5	5	0
7	¿Hay reconocimiento de la administración y conciencia por los aspectos infrahumanos de las tareas que va a ejecutar el robot o sólo se interesa por el aspecto económico?	5	3	2

TABLA XIII CUESTIONARIO QUE INVESTIGO LA ACEPTACION DE UN SISTEMA ROBOTIZADO POR PARTE DEL PERSONAL DE INCAMEP S.A.

D: PUNTAJE DISPONIBLE
F: PUNTOS A FAVOR
C: PUNTOS EN CONTRA

ITEM		PUNTOS		
		D	F	C
8	¿Hay algún plan para seleccionar y subir de categoría a los trabajadores que intervendrán o harán la puesta a punto del robot?	5	4	1
9	¿Serán penalizados los trabajadores en sus tarifas de estímulo por nuevas tarifas o por el tiempo de trabajo del robot que no es atribuible al operador?	5	4	1
10	¿Ha demostrado la administración en el pasado respeto y consideración por los talentos, habilidades e inteligencia de los trabajadores?	3	3	0
11	¿Está dispuesta la organización a compartir los resultados de este cuestionario con la fuerza laboral y/o el sindicato?	3	3	0
12	¿Se hará el entrenamiento del robot dentro del tiempo de la organización? ¿Existe la posibilidad de enviar a los trabajadores (en caso necesario) a la escuela de entrenamiento de la casa vendedora del robot?	2	2	0
13	¿Pueden expresar los trabajadores sus intereses, ideas y temores sin ser ridiculizados?	2	1	1
PUNTAJES	PARCIALES		88	12
	NETO (F-C)		76	

TABLA XIII (CONTINUACION)

PREGUNTAS	RESPUESTAS DE LAS INDUSTRIAS INVESTIGADAS	
	DUREX C.A.	INCAMEP S.A.
1. ¿Aceptará el personal un sistema robotizado sin ningún problema?	NO	SI
2. ¿Tiene en sus plantas una máquina semiautomática o alguna automática simple y flexible?	SI	SI
3. ¿Es flexible el diseño del proyecto, considerando la categoría de la instalación robotizada que se requiere?	NO	SI
4. ¿Se adaptaría el robot fácilmente a las operaciones de la planta?	SI	SI
5. ¿Considerando las diversas operaciones que se efectúan en sus plantas, ¿Puede decirse en primera instancia que se requiere sólo un robot?	SI	SI
6. ¿Podría el robot ser usado en varios procesos?	SI	SI
7. ¿Podría asegurarse que no habrían inconvenientes por parte del personal, si se trabajara en tres turnos?	NO	SI
8. ¿Puede decirse, en primera instancia que en caso de introducir un robot, no habrían cambios importantes en la planta?	NO	SI
9. ¿Hay tareas del tipo "manipulación difícil"?	SI	SI
10. ¿Puede afirmarse que no hay cambios importantes dentro del proceso de la mayoría de las operaciones efectuadas en la planta?	SI	SI
PUNTAJES	6	10

TABLA XIV CUESTIONARIO QUE SIRVIÓ PARA SELECCIONAR A UNA DE LAS DOS INDUSTRIAS INVESTIGADAS

aceptación del personal.

Se asignó un punto a cada respuesta afirmativa y cero puntos en el caso contrario. Tomando en cuenta esto, los resultados de dicha tabla permitieron concluir que la industria seleccionada sea INCAMEP S.A., ya que obtuvo el mayor puntaje.

ESTUDIO REALIZADO EN INCAMEP S.A.

El objetivo de este estudio es el de ayudar a esta industria a introducir el primer robot en sus plantas, seleccionando previamente la operación y escogiendo un robot comercialmente disponible para la aplicación elegida.

REVISION MAS AMPLIA DE LAS INSTALACIONES

A continuación se apuntarán los datos de la revisión más amplia que se efectuó, la misma que se refiere a la investigación de una máquina particular de la industria en estudio. Para este fin, se procedió a llenar la Tabla XV.

IDENTIFICACION DE APLICACIONES POTENCIALES

En primer lugar, cabe destacar que la instalación robotizada para INCAMEP S.A., reemplazará a una operación realizada manualmente. De las operaciones anotadas anteriormente (en identificación de oportunidades), las elegidas como

Cliente: INCAMEP S.A.	Planta: Inyección	Fecha: 15/Feb./1990
-----------------------	-------------------	---------------------

Operación: Moldeado por inyección	Máquina Nº: 1
-----------------------------------	---------------

ITEM		
1	Número de piezas diferentes procesadas por la máquina	50
2	Nombre de la pieza	Registro de 1 1/4
3	Número de la pieza	P80
4	Peso de la pieza (rango)	20 g.
5	Tamaño de la pieza (rango)	60 mm ϕ x 48 mm
6	Material de la pieza	Poliétileno de alta densidad
7	Temperatura de la pieza	50°C
8	Ciclo de trabajo	40 seg.
9	Número de elementos por ciclo	6
10	Tiempo de carga/descarga	22 seg.
11	Tasa de producción por hora	360 piezas/hora
12	Rendimiento registrado	93 %
13	Número de turnos	2
14	Número de operadores por turno	13
15	¿Cumple la pieza con las normas?	Sí
16	¿Hay operaciones irregulares?	No
17	¿Hay fotografías de las estaciones de trabajo?	No
18	¿El operador usa una o dos manos?	Dos
19	¿Cómo es entregada la pieza? (¿Hay dibujos disponibles?)	Manualmente; no hay
20	¿Cómo es removida la pieza? (¿Hay dibujos disponibles?)	Por desenroscado; no hay
21	¿Cuál es la tolerancia requerida para la manipulación?	3 min.
22	¿Cuál es la altura de manipulación respecto del piso?	80 cm.
23	¿Cuál es la orientación de la pieza requerida?	vertical
24	¿Se cargan las piezas como en la operación previa?	Sí
25	¿Se cargan las piezas como en la operación próxima?	Sí
26	¿Se requiere el criterio del operador?	Usualmente no
27	¿Se requiere inspección visual?	Sí
28	¿Cuál es la velocidad de la línea?	No hay
29	¿Hay dibujos de las piezas?	Sí
30	¿Hay planos de la estación de trabajo?	Sí
31	¿Hay dibujos de las instalaciones?	No
32	¿Cuál es el rango de la temperatura ambiente?	28 °C y 35 °C
33	¿Es sucio el ambiente?	No
34	¿Es corrosivo el ambiente?	No
35	¿El ambiente es seco o húmedo?	Templado
36	¿Es el ambiente peligroso o inapropiado para el operador?	En algunas operaciones, sí
37	¿Se arroja en el proceso arena, viruta o algún líquido?	No

TABLA XY HOJA DE INFORMACION DE LA ESTACION DE TRABAJO USADA EN LA REVISION DE LAS INSTALACIONES DE INCAMEP S.A.

potenciales, fueron las que cumplieron por lo menos tres de las siguientes características: condiciones de trabajo incómodas, condiciones de trabajo peligrosas, repetitivas, tipo "manipulación difícil", varios turnos de trabajo. Dichas operaciones son:

- Cambio de molde para las máquinas de inyección y soplado
- Carga/descarga de las máquinas de inyección :
 - Carga de materia prima en la tolva
 - Descarga del producto en bruto del molde
- Transporte de piezas a la bodega
- Desbarbado de las piezas

SELECCION DE LA MEJOR APLICACION

De las aplicaciones potenciales anotadas anteriormente, las operaciones que se seleccionaron como las más apropiadas para ser robotizadas fueron las que cumplieron por lo menos cuatro de las siguientes características:

- Simple y repetitiva.
- Puede realizarse con las piezas ubicadas en un lugar y orientación apropiados.

- El límite superior del peso de la pieza es igual a 1.100 libras.
- No se requiere inspección.
- Una o dos personas pueden ser reemplazadas en un período de 24 horas.
- No hay mayores cambios en el proceso.

Las operaciones seleccionadas son:

- Cambio de molde para las máquinas de inyección y soplado.
- Descarga de los productos en bruto de los moldes de las máquinas de inyección.

Actualmente, el cambio de moldes se realiza con la ayuda de un tecle manual para levantarlo y sostenerlo, y un desarmador con dado para fijarlo o sacarlo de la máquina (de inyección o soplado). Todos los moldes se fijan con cuatro pernos de cabeza exagonal de 7/16" x 5" en un espacio estrecho, mientras es sostenido con el tecle. El proceso del cambio, tanto en las máquinas de inyección como en las de soplado es fundamentalmente el mismo.

El cambio de moldes para las máquinas de inyección y soplado es la operación más indicada a ser robotizada, no obstante, será considerada también la operación de descarga por dos motivos:

- Grado de repetibilidad y monotonía muy alto.
- Altas temperaturas de los productos en bruto.

El montaje y desmontaje de moldes es una tarea que conviene ser robotizada por tres razones fundamentales:

- El tiempo que los operarios toman en llevar a cabo esa operación es sumamente grande (puede llegar a las dos horas).
- El cambio de moldes se realiza con mucha frecuencia, la misma que depende de la demanda de los productos que se fabrican en esas máquinas.
- La incomodidad que se le presenta tanto, al operario destinado a colocar los pernos, como a la persona encargada de manejar el teclé.

CARACTERISTICAS DE LAS TAREAS QUE TENDRA QUE REALIZAR EL ROBOT

El robot que se elija realizará las dos tareas de la siguiente forma:

- En la tarea de montaje/desmontaje de moldes, el robot deberá colocar o sacar los cuatro pernos con un elemento terminal apropiado. En el desmontaje, el robot deberá colocar el perno que haya sacado en algún lugar previamente establecido. Puede notarse con facilidad que el montaje/desmontaje es una tarea de ensamblaje.

Como en el caso actual, esa tarea la realizará el robot, mientras el molde es sostenido con un tecla manual o uno eléctrico.

- En la tarea de descarga, cada cierto tiempo, el robot sacará de la máquina, los productos en bruto y los colocará en un lugar determinado, donde serán recogidos por las personas encargadas de eliminar los sobrantes.

Como puede verse, esta es la tarea que estará realizando el robot en forma continua, mientras no se hagan cambios de moldes.

Evidentemente, los movimientos que tendrá que realizar el robot para llevar a cabo dichas operaciones, serán previamente memorizados.

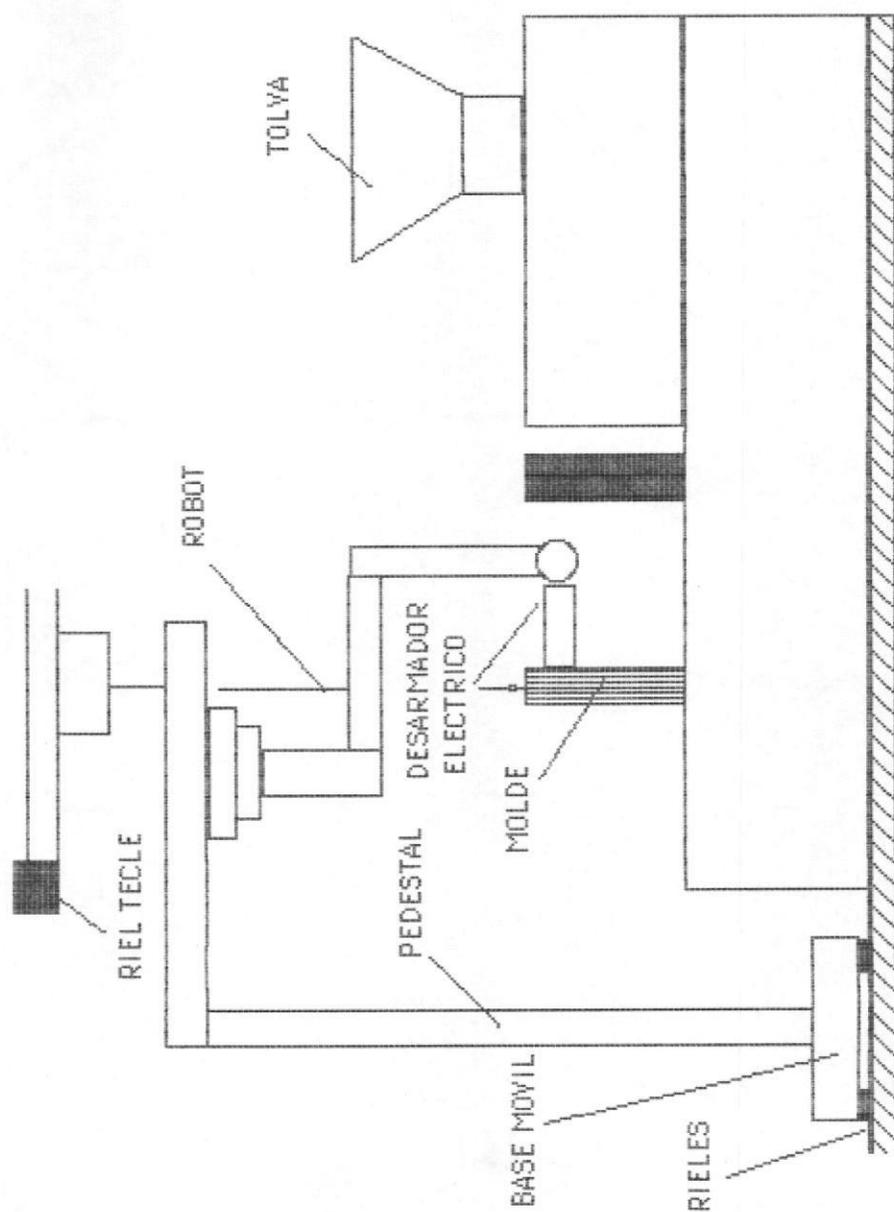
Un bosquejo previo del robot ejecutando esas dos tareas, sirvió de ayuda al proceso de selección del robot (ver Figura 25).

SELECCION PRELIMINAR DEL ROBOT

Los pasos que se siguieron para realizar la selección preliminar del robot más apropiado fueron:

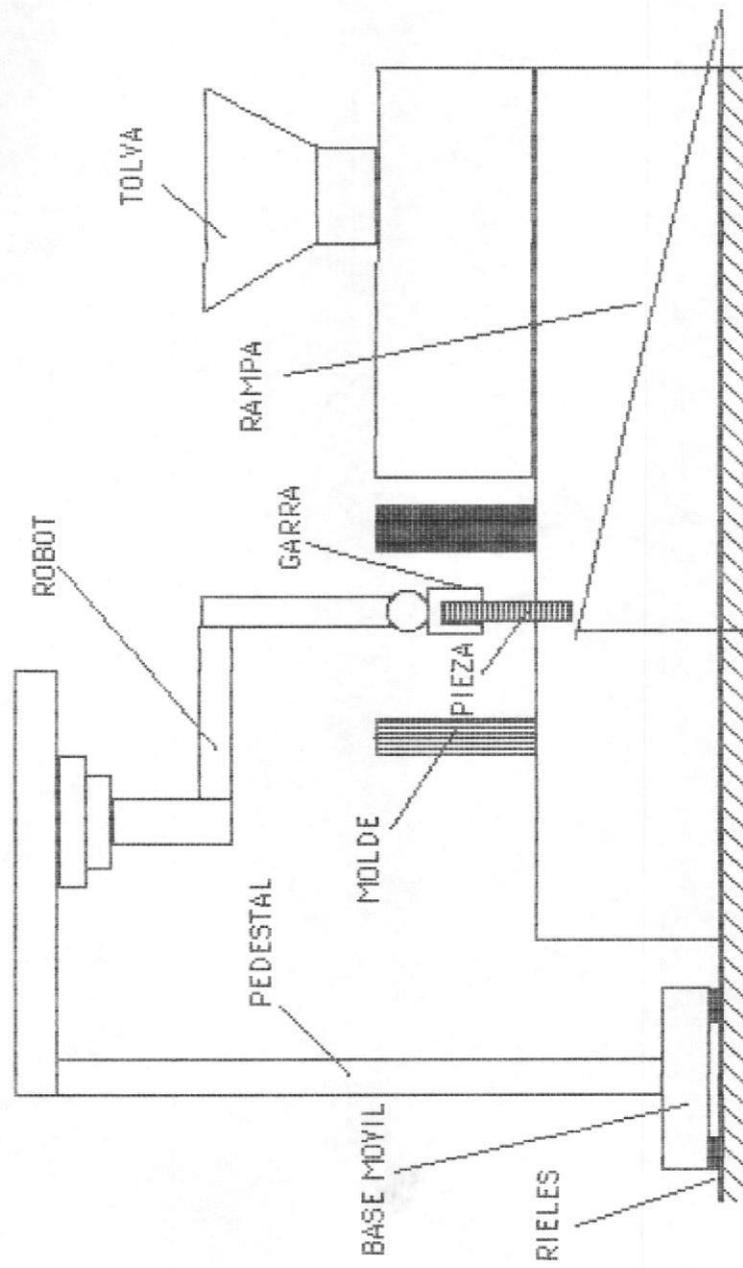
- Se trabajó con la Tabla IX (Capítulo III) y la tabla XXIII (Apéndice).
- Con la ayuda de la Tabla X, se buscaron las características comunes de robots destinados al ensamblaje y a la carga de máquinas con el fin de encontrar las características dominantes que debe tener el robot. De esta manera, se llegó a que las características dominantes son: ALTA REPETIBILIDAD Y CONTROL PUNTO A PUNTO.

Es importante anotar que muchas compañías fabricantes de robots, institutos de investigación e industrias con un alto nivel de robotización, basándose en numerosas pruebas con robots de ensamblaje, aconsejan que, en operaciones de ensamblaje donde se usa un desarmador eléctrico como



(a)

Fig. 25 UTILIZACION DEL ROBOT EN LAS TAREAS ELEGIDAS: (a) EN MONTAJE/ DESMONTAJE DE UN MOLDE, (b) EN LA DESCARGA DE UNA MAQUINA



(b)

Fig. 25 UTILIZACION DEL ROBOT EN LAS TAREAS ELEGIDAS: (a) EN MONTAJE/
 DESMONTAJE DE UN MOLDE, (b) EN LA DESCARGA DE UNA MAQUINA
 (CONTINUACION)

elemento terminal, el robot debe tener una repetibilidad cuyo valor sea menor o igual 0,25 mm.

Resumiendo, se buscaron en las tablas antes anotadas, robots que cumplen las siguientes condiciones:

- Diseñado para que realice por lo menos las dos operaciones seleccionadas: ensamble y descarga de maquinarias.
- Máximo valor de la repetibilidad: 0,25 mm.
- Control punto a punto (PTP o PTPL).

Tomando en cuenta esto, se elaboró la Tabla XVI, donde se muestran las características de los robots candidatos.

Partiendo de esa tabla, se pasó a una segunda fase, que consistió en encontrar robots en base a los siguientes criterios:

- Sistemas de coordenadas de robots que no se ajustan a la aplicación requerida. Los robots de coordenadas cartesianas quedan fuera de la lista de candidatos, debido principalmente a la poca flexibilidad que tienen para realizar trabajos de carga/descarga de máquinas. Por tanto, quedaron descartados los robots: CR -100, ALLEGRO y el modelo 100 de la Seiko.

FAB.	MOD.	ACT.	PROG.	COORD.	EJ.	REP. (mm)	CAP. (Kg)
BENDIX	ML-360	ELC	MAN	ART	6	0,13	68
COPPERWELD	CR-100	PNM/ ELC	LT	CRT	3	0,05	5,5
GENERAL ELECTRIC	ALLEGRO	ELC	L(HELP)	CRT	6	0,025	6,5
IBM	7535	ELC	L(AML)	ART	4	0,05	6
SEIKO	200	PNM	SWITCHES	CYL	3	0,01	0,7
SEIKO	100	PNM	SWITCHES	CRT	3	0,01	1,3
ABB ROBOTICS	IRB L6/ G6	ELC	MAN, L(ARLA)	ART	6	0,2	6
ABB ROBOTICS	IRB 2000	ELC	MAN, L(ARLA)	ART	6	0,1	10
ABB ROBOTICS	IRB 3000	ELC	MAN, L(ARLA)	ART	6	0,15	30

TABLA XVI ROBOTS CANDIDATOS PARA LAS APLICACIONES SELECCIONADAS

Por el bosquejo que se dió de las tareas que tendrá que realizar el robot, puede verse que una de las anatomías que mejor se adapta a ellas, es la angular, lo cual está de acuerdo con la Tabla X, al buscar la anatomía típica común para las dos aplicaciones en estudio.

De esta forma, de los nueve robots, quedan ahora seis.

- Rango de la capacidad de carga. La mínima capacidad de carga se la estimó considerando los siguientes factores:

- a) Con el fin de facilitar la tarea del ensamblaje de los pernos, el robot elegido llevará un elemento terminal especial denominado "desarmador eléctrico con alimentación automática". Dicha herramienta se coloca en la muñeca del robot, en forma directa o a través de una garra y tiene un depósito donde se alojan los pernos, cada uno de los cuales se ubicará automáticamente en el lugar que ocupó el perno que se ensambló (o que está siendo ensamblado) con el fin de que quede listo para ser usado. La carga de los pernos en el depósito se la hace en forma manual.

Dicho elemento terminal tiene un peso aproximado de 4 libras.

- b) El peso de los cuatro pernos es aproximadamente igual a

2 libras.

- c) El robot realizará la descarga de dos de las máquinas de inyección (hay tres de inyección y tres de soplado). Dichas máquinas tendrán que trabajar en desfase, es decir, mientras una de ellas entrega los productos en bruto al robot, la otra estará efectuando el proceso de inyección. No obstante, en vista de que se puede dar el caso de que el ciclo de ambas sea corto, se previó un garra doble (double gripper), la misma que tiene dos garras que pueden actuar en forma independiente; de esta forma, si al mismo tiempo que el robot tiene en una de sus garras una pieza recién extraída de una de las máquinas, la otra está abriendo sus placas para entregar su pieza, el robot no tendrá que soltar la que tiene agarrada, sino que cogerá la pieza de la segunda máquina, para luego de ello, llevar a las dos al lugar previamente programado. Una de las dos pinzas de dicha garra, servirá de sostén al desarmador eléctrico.

El peso estimado de una garra doble es de 6 libras.

- d) El peso de los productos en bruto que salen de la máquina está comprendido entre 100 y 500 gramos.

Evidentemente, en ambas tareas el robot deberá tener

siempre la garra doble. Aparte de eso, en la tarea de ensamblaje el robot debe soportar el peso del desarmador y de los cuatro pernos, lo que da un peso total de 5,45 Kg. Por otro lado, en la tarea de descarga, el robot deberá soportar un peso de 3,23 Kg. De esta forma, dando un margen de seguridad del 10 %, la mínima capacidad de carga que deberá tener el robot para que pueda realizar las dos tareas es de 6 Kg. Si se prevee una capacidad de carga máxima de 20 Kg, el rango de ésta, estará entre 6 y 20 Kg. De esta forma quedan descartados de la lista, los modelos: ML-360, el 200 de la Seiko y el IRB 3000.

De esta manera, los seis robots candidatos quedan reducidos ahora, a tan sólo tres robots.

SELECCION FINAL

Se compararán a continuación las características técnicas de las aplicaciones elegidas con las especificaciones de los tres modelos candidatos que quedaron. Las características obligatorias y deseables que debe tener el robot para que se adapte a dichas aplicaciones particulares, se anotaron en la Tabla XVII. Los rangos de puntajes, así como también los puntajes asignados que aparecen en dicha tabla, están basados en el juicio del autor de esta tesis. En esa tabla debería incluirse a las características dominantes dentro de las características obligatorias; no se lo hizo debido a que llegado

CARACTERISTICAS TECNICAS	MODELOS DE LOS ROBOTS CANDIDATOS		
	7535	IRB G6	IRB 2000
OBLIGATORIAS			
- 4 A SEIS GRADOS DE LIBERTAD	X	X	X
- MONTAJE INVERTIDO	X	X	X
- PROGRAMACION GESTUAL POR DISPOSITIVO DE ENSEÑANZA (MAN)	-	X	X
- ALTA VELOCIDAD	-	8	9
DESEABLES			
- PRECIO MAS BAJO (0-9)	-	5	3
- FACILIDAD DE PROGRAMACION (0-9)	-	9	9
- ESPACIO NO AMPLIO (0-9)	-	9	5
- ADAPTACION A DIVERSAS TAREAS (0-4)	-	4	4
- PRESTIGIO PROVEEDOR (0-9)	-	9	9
TOTAL		44	39

TABLA XVII FORMATO USADO PARA COMPARAR LAS CARACTERISTICAS DE LAS APLICACIONES SELECCIONADAS CON LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS TRES ROBOTS CANDIDATOS QUE PERMANECIERON

a este punto, está implícito que los robots que aparecen allí, han cumplido ya esas características dominantes. La velocidad máxima fue considerada como una característica obligatoria ya que es muy importante que el robot que se elija pueda desplazarse rápidamente en la tarea del montaje/desmontaje. En vista de ello, se asignó un rango de puntaje a esa característica.

Como se aprecia, el robot IRB G6 de ABB (ASEA BROWN BOVERI) fue seleccionado como el mejor robot para la aplicación, debido a que obtuvo el puntaje más alto.

A continuación se tratarán ciertas consideraciones involucradas en el estudio de implantación, por considerarse sumamente importantes para poder desarrollar el análisis económico del proyecto. Además, de esa manera se proporciona una idea más clara que contribuirá a un mejor entendimiento del sistema que se pretende implantar.

PLANIFICACION PREVIA DE LA INSTALACION DEL ROBOT

El objetivo de esta planificación es el de acomodar o adaptar el robot elegido en las instalaciones de INCAMEP.

El arreglo de célula más apropiado para las aplicaciones elegidas en esta industria, es el de célula con robot móvil, debido fundamentalmente a la facilidad que presenta esta

configuración en la realización del montaje/desmontaje de los moldes de las seis máquinas de la planta. En esta planificación se tomó en cuenta la redistribución en planta de las máquinas, como consecuencia de la introducción del robot.

DISTRIBUCION EN PLANTA

Con el fin de acoplar el robot en las instalaciones de INCAMEP S.A. se ubicarán en línea todas las máquinas de la planta (Figura 26 (b)), lo que lleva a un cambio en la configuración actual, ya que las tres máquinas de inyección están colocadas en línea y las tres de soplado están también en línea, pero ubicadas en forma paralela a las tres primeras (Figura 26 (a)).

En la Figura 26(b) se observa además un cerramiento con mallas metálicas (que servirá como protección a los trabajadores), las rieles del robot, los estantes, etc.

4.1.1. ANALISIS ECONOMICO

ESTUDIO DE MERCADO

La proyección de la demanda de los productos que fabrica INCAMEP está en función directa con el crecimiento habitacional del país.

Para el efecto, el "CONADE" es la encargada de planificar

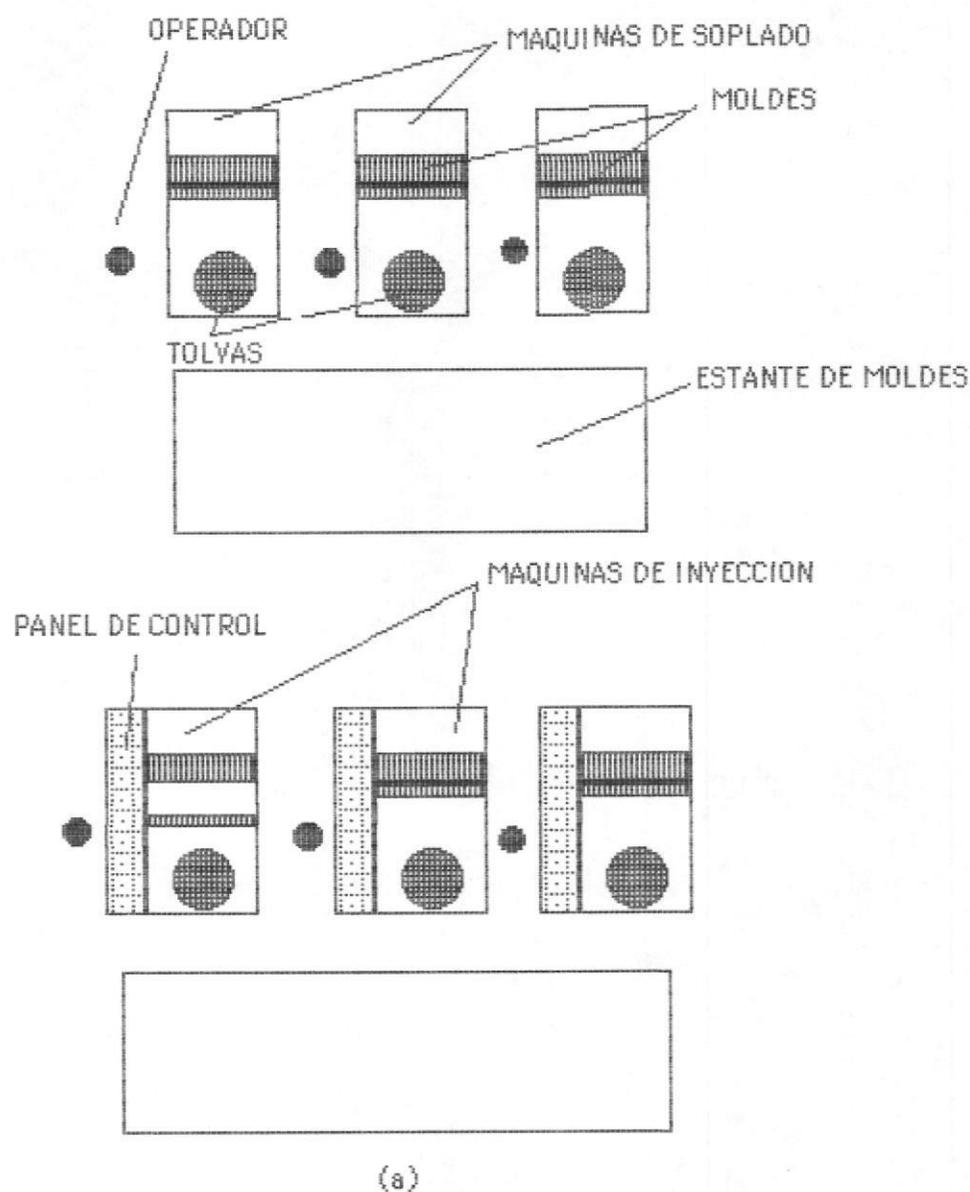


Fig. 26 DISTRIBUCION DE LAS MAQUINAS DE INYECCION Y SOPLADO EN LAS PLANTAS DE INCAMEP S.A.:
(a) ACTUAL, (b) CON ROBOT

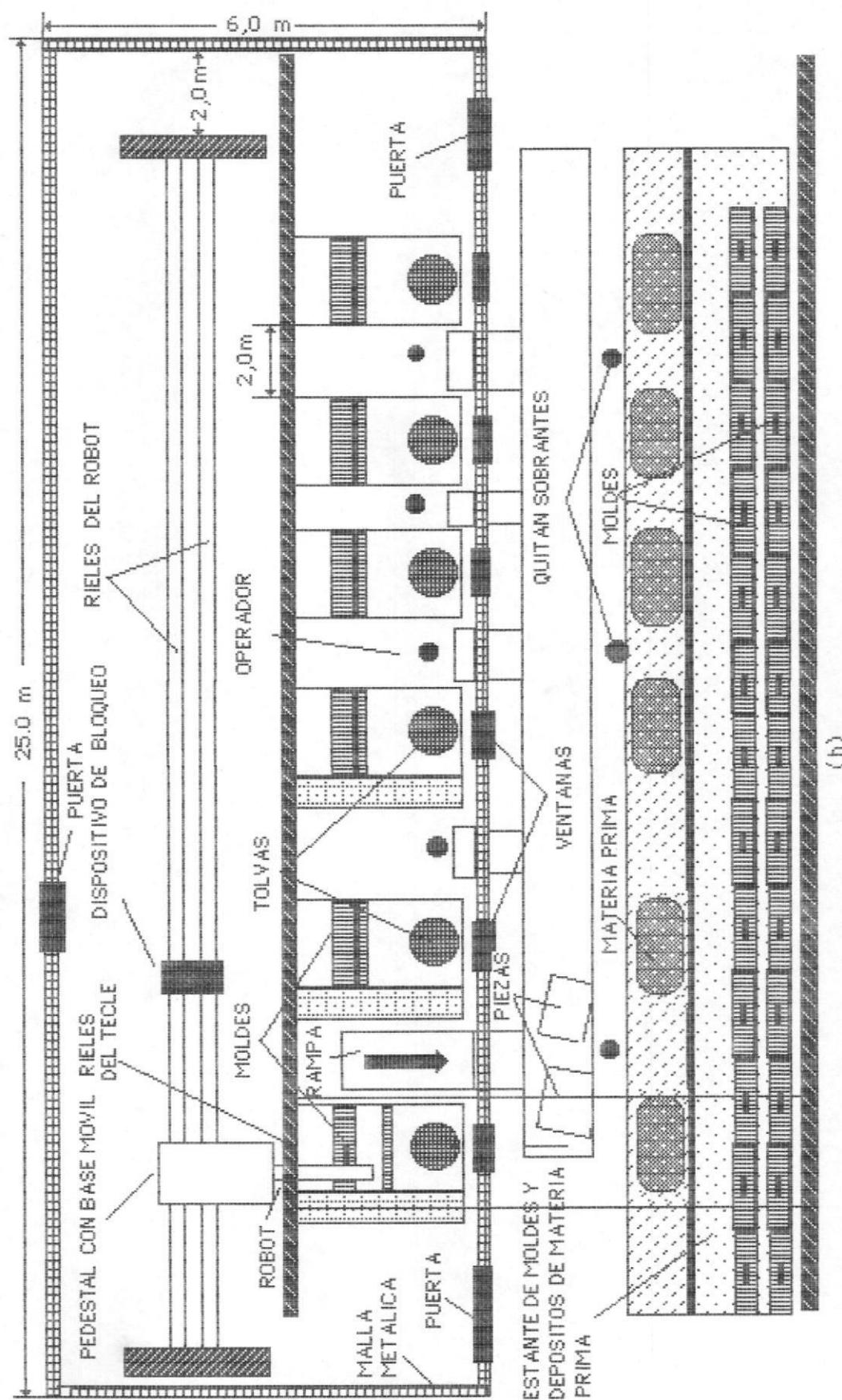


Fig. 26 DISTRIBUCION DE LAS MAQUINAS DE INYECCION Y SOPLADO EN LAS PLANTAS DE INCAMEP S.A.: (a) ACTUAL,
(b) CON ROBOT (CONTINUACION)

la solución del problema habitacional; ha esto se debe tomar en cuenta, los programas habitacionales de interés social. También deben agregarse, los planes habitacionales de las Mutualistas y las construcciones privadas.

La producción mensual actual es aproximadamente de 11 toneladas por mes, trabajando a dos turnos. Debido a la gran variedad en el tamaño y peso de las piezas, no puede darse un número exacto de piezas fabricadas.

Finalmente, cabe añadir que los productos de INCAMEP S.A. son comercializados a través de ferreterías y clientes que en forma personal y directa compran en sus oficinas.

LAS INVERSIONES

Los rubros de la inversión fija para este proyecto con sus correspondientes costos están indicados en la Tabla XVIII.

Se estimó un capital de operación de 40'800.000 sucres para el primer año de la vida del proyecto.

RUBRO	GASTOS EN DOLARES	GASTOS EN SUCRES (EN MILES)	PORCENTAJE DE LA INVERSION (%)
ROBOT	31.500	28.350	42
ACCESORIOS			
Doble garra	8.000	7.200	
Pedestal, base móvil y rieles	22.330	20.100	
Desarmador eléctrico	1.000	900	
Cerramiento con malla	—→	800	
Tecle con rieles	—→	3.000	
Rampas	—→	50	
Estantes	—→	100	
GASTO TOTAL ACCESORIOS		32.150	47
INSTALACION Y GASTOS DE IMPORTACION		7.500	11
TOTAL		68.000	100

TABLA XVIII COSTOS IMPLICADOS EN LA INVERSION FIJA DEL PROYECTO ROBOTIZADO A IMPLANTARSE EN INCAMEP S.A.

LOS INGRESOS Y LOS COSTOS

En primer lugar, cabe indicar que actualmente INCAMEP tiene 26 trabajadores de planta distribuidos en forma equitativa en dos turnos de trabajo. De los trece trabajadores de cualquiera de los dos turnos, hay uno por cada máquina, encargado de descargar los productos en bruto de los moldes; 3 que realizan una inspección y desbarbado manual preliminar y otras tareas; y 4 que realizan la carga de las tolvas de las máquinas, los cambios de molde y otras actividades.

Teniendo presente que el robot realizará la descarga de dos de las máquinas de inyección, tendrán que salir 4 trabajadores (considerando los dos turnos); de los 8 que realizan la carga de las tolvas y los cambios de moldes, saldrán asimismo, 4 trabajadores más. De esta forma, serán en total 8 los trabajadores que tendrán que abandonar sus respectivos puestos, por lo que de los 26 trabajadores de planta quedan por el momento 18.

Tomando en consideración que todos esos trabajadores ganan un sueldo mensual aproximado de 50.000 sucres (sueldo básico más todos los beneficios de ley) y que se tendrá que contratar a una persona para que realice la instalación, puesta a punto y la programación del robot, quien se estima que ganará el equivalente a cinco

sueldos básicos, se tendrá un ahorro salarial de 3 sueldos básicos. Esa persona deberá ser altamente capacitada (como un ingeniero electrónico) y deberá efectuar además la supervisión del funcionamiento del robot y la revisión del controlador.

Esto está tomado en cuenta en la Tabla XIX, la misma que muestra la situación económica estimada actual de INCAMEP y la que se tendría si se llegara a implantar el robot seleccionado en sus plantas, considerando los tres primeros años de vida del proyecto. Dicha tabla, como puede apreciarse, contiene valores correspondientes a los ingresos por venta de los productos, rubros de los costos fijos como seguros y arriendos, mantenimiento de las máquinas; y costos variables como insumos y sueldos y salarios. Se consideró el peor de los casos, es decir, el robot trabajando sólo en dos turnos, lo cual sirvió para hacer una comparación entre esas dos situaciones.

En la Tabla XX se recopilaron los datos de la tabla anterior que resultarían de la implantación del robot, y tal como en el ejemplo del capítulo II, se hace una proyección simplificada para 10 años de vida del proyecto. La simplificación se refiere a la repetición de los datos a partir del año 3 (año normal) y se la hace porque el método del VAN así lo exige.

SITUACION ECONOMICA RUBRO	ACTUAL (SIN ROBOT)	CON ROBOT		
		AÑOS		
		1	2	3
INGRESO POR VENTA DE LOS PRODUCTOS	307.300	310.000	350.800	391.600
SEGUROS Y ARRIENDOS	- 3.000	-3.000	-3.000	-3.000
DEPRECIACION	-10.800	-17.600	-17.600	-17.600
INTERESES	—	-2.000	-2.000	-2.000
MANTENIMIENTO	- 4.500	-5.100	-5.100	-5.100
COSTO FIJO TOTAL	-18.300	-27.700	-27.700	-27.700
INSUMOS	-193.440	210.800	229.500	253.000
SUELDOS Y SALARIOS	-25.500	-23.700	-24.900	-29.364
ENERGIA Y AGUA	-6.500	-7.475	-8.800	-10.736
IMPREVISTOS	-13.460	-13.460	-14.500	-16.000
COSTO VARIABLE TOTAL	-238.900	255.435	277.700	309.100
COSTO TOTAL	-257.200	283.135	305.400	336.800
UTILIDAD DE OPERACION	50.100	26.865	45.400	54.800
DEPRECIACION	10.800	17.600	17.600	17.600
INTERESES	—	2.000	2.000	2.000
FLUJO DE FONDOS NETOS	60.900	5.665	65.000	74.400

TABLA XIX FORMATO EMPLEADO PARA COMPARAR LA SITUACION ECONOMICA ACTUAL ESTIMADA DE INCAMEP CON LA QUE SE TENDRIA SI SE LLEGARA A IMPLANTAR UN ROBOT EN SUS PLANTAS

RUBRO	AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION FIJA		-68.000										
CAPITAL DE OPERACION			-40.800									
INGRESO POR VENTA DE LOS PRODUCTOS			310.000	350.800	391.600	391.600	391.600	391.600	391.600	391.600	391.600	391.600
SEGUROS Y ARRIENDOS			-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000
DEPRECIACION			-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600	-17.600
INTERESES			-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
MANTENIMIENTO			-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100	-5.100
COSTO FIJO TOTAL			-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700	-27.700
INSUMOS			210.800	229.500	253.000	253.000	253.000	253.000	253.000	253.000	253.000	253.000
SUELDOS Y SALARIOS			23.700	24.900	29.364	29.364	29.364	29.364	29.364	29.364	29.364	29.364
ENERGIA Y AGUA			7.475	8.800	10.736	10.736	10.736	10.736	10.736	10.736	10.736	10.736
IMPREVISTOS			13.460	14.500	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
COSTO VARIABLE TOTAL			255.435	277.700	309.100	309.100	309.100	309.100	309.100	309.100	309.100	309.100
COSTO TOTAL			283.135	305.400	336.800	336.800	336.800	336.800	336.800	336.800	336.800	336.800
UTILIDAD DE OPERACION			26.865	45.400	54.800	54.800	54.800	54.800	54.800	54.800	54.800	54.800
DEPRECIACION			17.600	17.600	17.600	17.600	17.600	17.600	17.600	17.600	17.600	17.600
INTERESES			2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
FLUJO DE FONDOS NETOS			5.665	65.000	74.400	74.400	74.400	74.400	74.400	74.400	74.400	74.400

TABLA X-X FORMATO QUE CONTIENE DATOS COMO COSTOS Y VALORES PROBABLES DE LOS INGRESOS QUE SE TENDRIAN AL IMPLANTAR UN ROBOT EN INCAMEP S.A. (* LOS VALORES ESTAN EN MILES DE SURES)

LA EVALUACION DEL PROYECTO

A continuación se analizará la conveniencia de invertir en el proyecto robotizado en esta industria. Para este fin se buscará en primer lugar el punto de nivelación de esta industria, luego se calcularán los valores actuales netos del proyecto y finalmente se buscará la tasa interna de retorno del mismo.

DETERMINACION DEL PUNTO DE NIVELACION EN INCAMEP S.A.

Graficando los diferentes valores (Figura 27) implicados en el año normal o año 3, se obtiene un punto de nivelación que nos indica como nivel mínimo aceptable de operación, una producción anual de 53,7 toneladas que corresponde aproximadamente al 33 % de la capacidad instalada.

Considerando ahora, los valores de los costos fijos, de ingreso total (al 100 % de uso de la capacidad instalada) y del costo variable total de la Tabla XX, para el año normal, se tiene que:

$$n = \frac{27.700}{391.600 - 309.100}$$

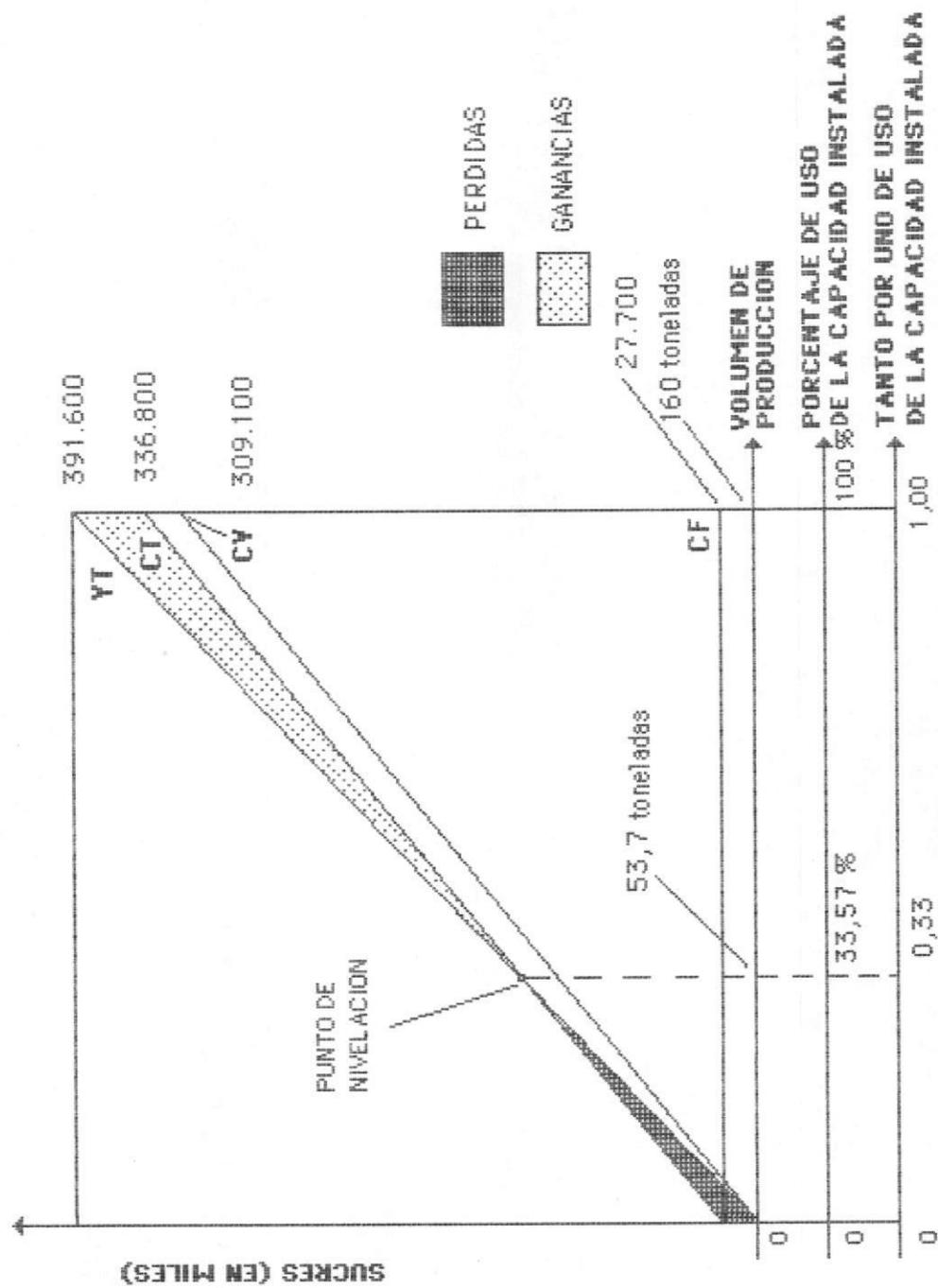


Fig. 27 GRAFICA QUE SIRVE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE NIVELACION DE INCAMEP.S.A. AL IMPLANTAR UN ROBOT

$$n = 33,57 \%$$

Valor que coincide con el obtenido gráficamente, como era de esperarse.

CALCULOS DE LOS VALORES ACTUALES NETOS (VAN) DEL PROYECTO

Los valores del VAN encontrados para diferentes tasas de descuento t del proyecto están en la siguiente tabla.

N	t_N	YAN_N (Miles de sucres)
1	0,1000000	318.900,83
2	0,1500000	238.519,07
3	0,2983664	104.525,26
4	0,3950859	59.471,05
5	0,4627307	37.814,48
6	0,5115288	25.521,89
7	0,5473289	17.857,26
8	0,5738634	12.789,69
9	0,5936620	9.306,51
10	0,6085017	6.847,44

TABLA XXI VALORES DEL VAN EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENTO t DEL PROYECTO

CALCULO DE LA TIR DEL PROYECTO

Los diferentes valores de t con sus respectivos VAN que sirvieron para calcular la tasa interna de retorno, por el método de aproximaciones sucesivas, están anotados en la siguiente tabla:

N	t_N	YAN_N (Miles de sucres)
1	0,1000000	318.900,83
2	0,6542000	-1,60
3	0,6541972	-1,21
4	0,6541951	-0,92
5	0,6541935	-0,70
6	0,6541923	-0,53
7	0,6541914	-0,40
8	0,6541907	-0,30
9	0,6541902	-0,23
10	0,6541898	-0,17

TABLA XXII VALORES DE t (CON SUS VAN)
CALCULADOS POR EL METODO DE
APROXIMACIONES SUCESIVAS
PARA ENCONTRAR LA TIR DEL
PROYECTO

Puede verse que la tasa interna de retorno tiene un valor de 0,6542 o lo que es lo mismo, una TIR del 65,42%. Este resultado obtenido es muy alentador, por cuanto, en última instancia, significa que el capital invertido en el proyecto robotizado, se recuperaría

íntegramente en aproximadamente dos años de vida del proyecto.

4.1.2. IMPLANTACION DE ROBOTS EN LA INDUSTRIA SELECCIONADA

Se tratarán aquí los factores que no se consideraron o que están muy relacionados con lo que se anotó anteriormente. Dichos factores deberá tomar en cuenta INCAMEP S.A., una vez que se haya hecho el pedido del robot o cuando el robot haya sido llevado a la industria.

PLANIFICACION DEL PROYECTO

Los pasos que se seguirán a fin de que el proyecto alcance los requerimientos impuestos por la industria son:

1. Conversar abiertamente con el personal de producción acerca de las especificaciones del nuevo sistema que se pretende implantar.
2. No olvidar de pedir a la casa proveedora del robot, toda la información pertinente que tengan, como: el manual de operación, el manual de servicio del robot elegido, etc.

3. Establecer planes de entrenamiento y educación como seminarios y charlas acerca de la Robótica.

PLANIFICACION DE LA INSTALACION DEL ROBOT

Los siguientes puntos serán tomados en cuenta a fin de que la planificación de la instalación sea exitosa:

1. Se hará una inspección previa del molde antes de realizar el montaje/desmontaje del mismo.
2. Las medidas de seguridad a tomarse serán las siguientes:
 - La mínima altura del cerramiento será de 1,5 metros, con el fin de evitar que alguien pueda saltar las vallas. Este cerramiento llevará puertas ubicadas estratégicamente, además de pequeñas ventanas que facilitarán la carga de las tolvas (ver Figura 26).
 - Se deberá desconectar totalmente el sistema de control del robot, principalmente en cuatro situaciones:

- a) Cuando se realice la carga de los pernos.
 - b) Cuando un operador realice la observación y el control visual de la posición correcta del molde para que pueda ser colocado en la máquina, mientras dicho molde es manejado con un teclé eléctrico.
 - c) Al colocar el desarmador eléctrico en una de las garras.
 - d) Cuando se observe algún mal funcionamiento.
- Mientras el robot está realizando la tarea de descarga de las piezas, se bloqueará su base móvil, con el fin de que el robot, en ningún caso, pueda alcanzar a alguno de los operadores que están en las otras máquinas.

Como se ve, todas esas situaciones implican el ingreso de uno o varios trabajadores al área de trabajo del robot o "zona prohibida".

CONFIGURACION DE TRABAJO

La salida de ocho trabajadores de INCAMEP como consecuencia de la introducción de un robot, implica una reestructuración en la organización de la industria, sólo en lo que se refiere al personal de planta ya que se mantendrían los diferentes niveles jerárquicos de la administración.

MODIFICACIONES EN LA TAREA

El robot seleccionado presenta una gran flexibilidad ya que puede ser usado en diferentes aplicaciones tales como: soldadura por arco, desbarbado, alimentación de máquinas, manipulación, aplicación de adhesivos, desbastado y otros procesos.

Inicialmente, el robot hará el montaje/desmontaje de los moldes y la descarga de dos máquinas, no obstante, el desbarbado y el ensamblaje de productos, serían, con mucha probabilidad, las próximas tareas a ser robotizadas, luego de un tiempo de haber adquirido el robot.

Finalmente, cabe anotar que es muy difícil dar un plan de actividades del robot, sea por horas o por días, ya que ese plan dependerá en forma directa de las decisiones que se tomen en el departamento de planificación de producción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implantación de un robot en INCAMEP S.A. sería muy beneficiosa en varios aspectos, de los cuales cabe resaltar el ahorro del tiempo en el cambio de moldes (aproximadamente, el tiempo se reduciría en 8 veces comparado con el método manual), lo que traería como consecuencia un incremento en la producción y una reducción en los precios de venta de los productos fabricados. Otro de los beneficios que se obtendrían como consecuencia del ahorro del tiempo sería el de que INCAMEP podría dedicarse a diseñar nuevos moldes, los mismos que servirían para la fabricación de nuevos productos.

Debido a la posibilidad de reconfigurar el robot elegido a través de la programación para diferentes tareas, este proyecto puede ser considerado muy bueno, desde perspectivas tanto técnicas como económicas.

Cabe anotar, sin embargo, que el resultado del método de la tasa interna de retorno debe ser considerado como relativo, por lo que podrían esperarse, por ejemplo flujos de fondos netos menores o quizás mayores a los que se obtuvieron en esta investigación. No obstante, es preciso apuntar, que ese método es el que aplicaron la gran mayoría de industrias antes de adquirir su primer robot y que luego de haberse guiado por su resultado, han tenido éxito en dichos proyectos.

Es necesario indicar, que el resultado de la aplicación del método del período de amortización es tan sólo meramente orientativo, por lo que si se quieren obtener resultados más reales, el método que se deberá aplicar será el de la TIR.

En caso de que este proyecto se haga realidad, el problema que resultaría de la salida de los ocho trabajadores, será resuelto ubicándolos en otra industria o en algún taller con tareas similares a las que realizaban en INCAMEP.

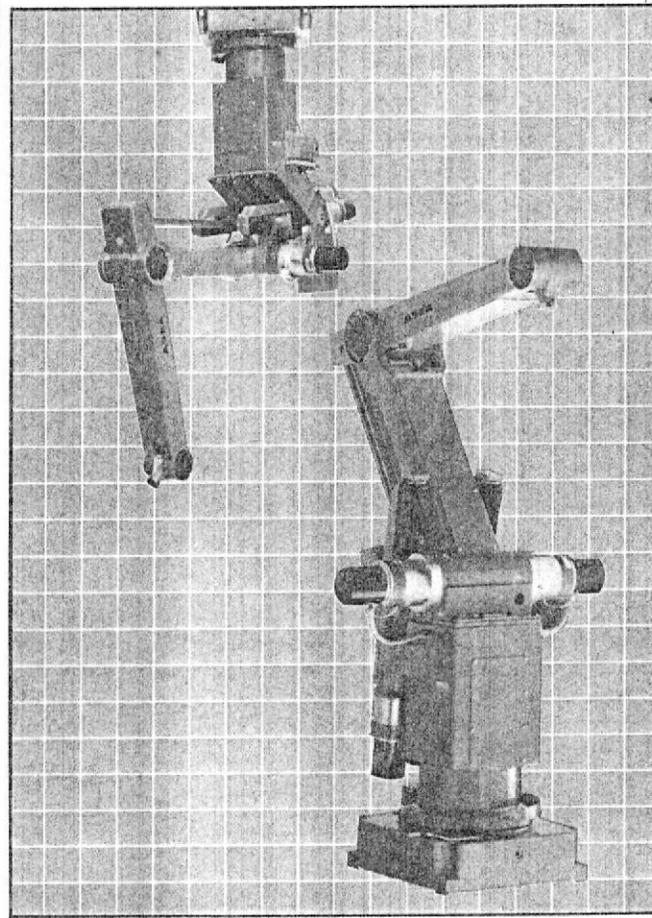
A pesar de que el uso de los robots de ensamblaje es limitado, debido a los problemas que dicha operación involucra, el montaje/desmontaje de moldes, elegida como aplicación fundamental a ser robotizada en INCAMEP S.A., es una tarea relativamente sencilla para el robot, siempre y cuando éste posea el desarmador automático. Sin esa herramienta, la introducción de los pernos sería muy difícil, ya que de elegir un robot, éste tendría que simultáneamente desplazar y rotar su muñeca.

APENDICE
OTROS ROBOTS COMERCIALES

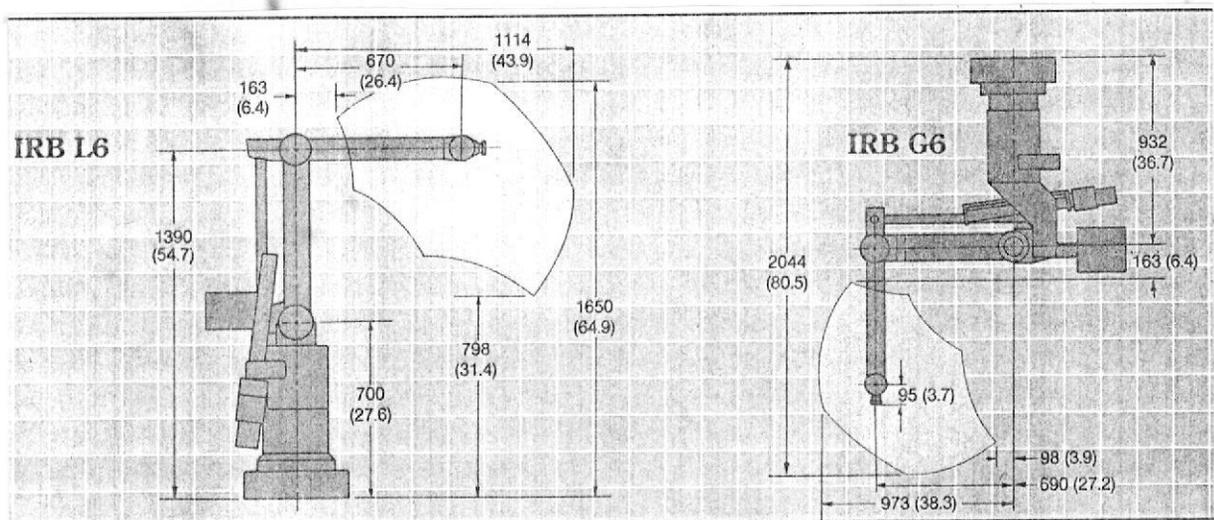
MOD.	CONT.	ACT.	PROG.	COORD.	EJ. REP. CAP. (Kg)	PESO (Kg)	APLIC.
IRB 66	PTP	ELC.	MAN, L(ARLA)	ART	6 0,2 6	170	AW, DB, LD, AS, AD, G
IRB 90	PTP	ELC.	MAN, L(ARLA)	ART	6 0,5 90	1450	MOLDEADO, DR
IRB 2000	PTP	ELC.	MAN, L(ARLA)	ART	6 0,1 10	350	AD, AW, LD, AS, DB, I
IRB 3000	PTP	ELC.	MAN, L(ARLA)	ART	6 0,2 30	700	AS, AD, AW, DB, LD

MOD.	MAX. VELOC. m/s	BASE	VELOC. BASE	CODO	VELOC. CODO	HOMBRO	VELOC. HOMBRO	BALANC.	CABECED	GIRO LATERAL
IRB 66	2,5	360	114	80	1,1 m/s	65	1,1 m/s	680,240	180,138	360,234
IRB 90	3,9	270	87	90	1 m/s	90	1,5 m/s	600,150	240,90	420,90
IRB 2000	3	360	115	210	115	120	115	400,300	240,300	400,280
IRB 3000	3,5	360	105	200	100	120	90	500,215	240,225	400,225

TABLA XXIII CARACTERISTICAS DE ROBOTS FABRICADOS POR ABB (ASEA BROWN BOYER)

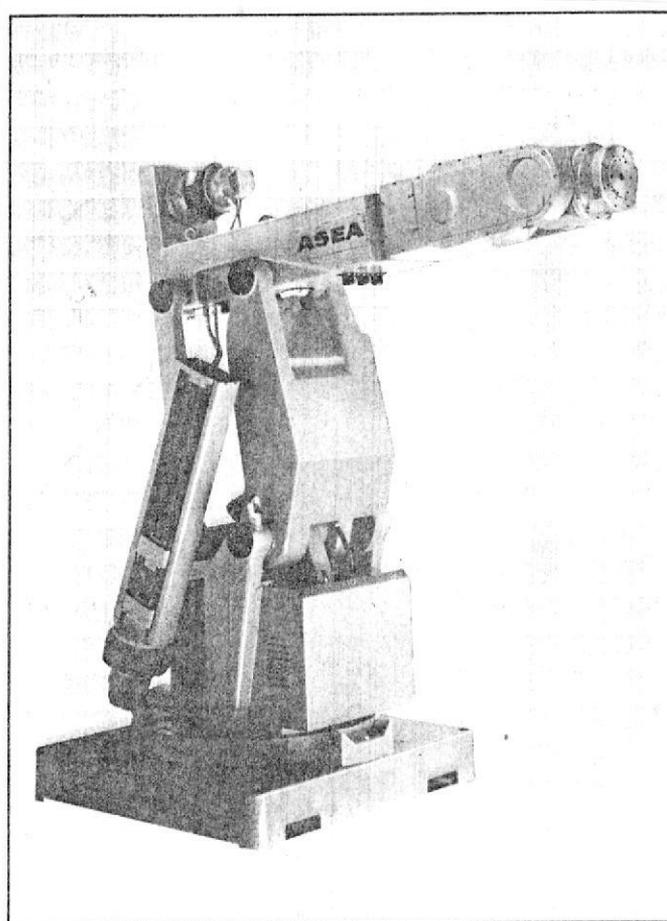


(a)

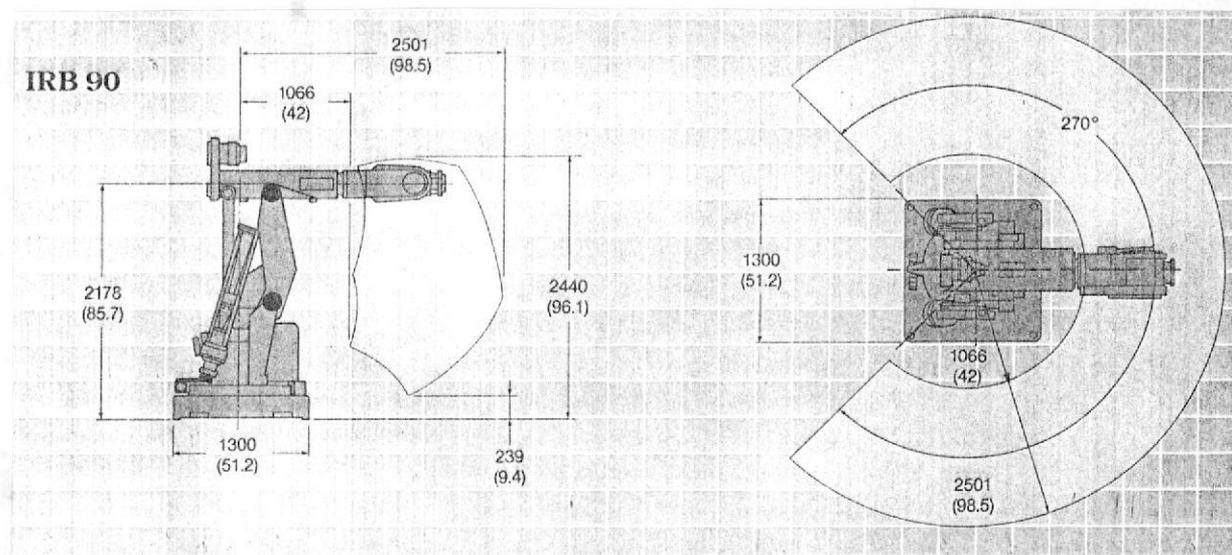


(b)

Fig. 28 ROBOTS IRB L6/G6 DE ABB: (a) FOTO DE LOS ROBOTS, (b) ESPACIOS DE TRABAJO

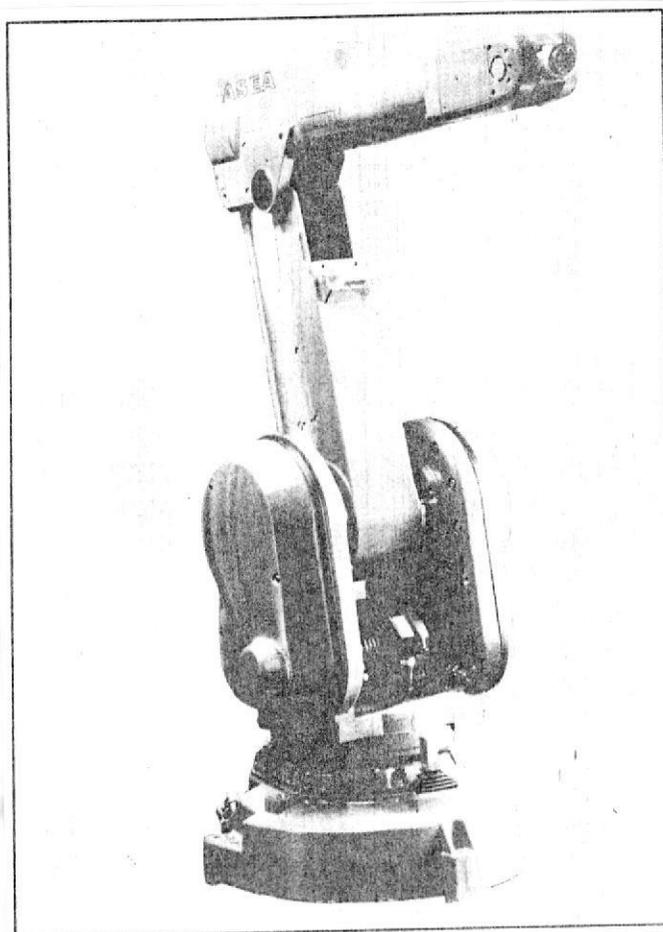


(a)

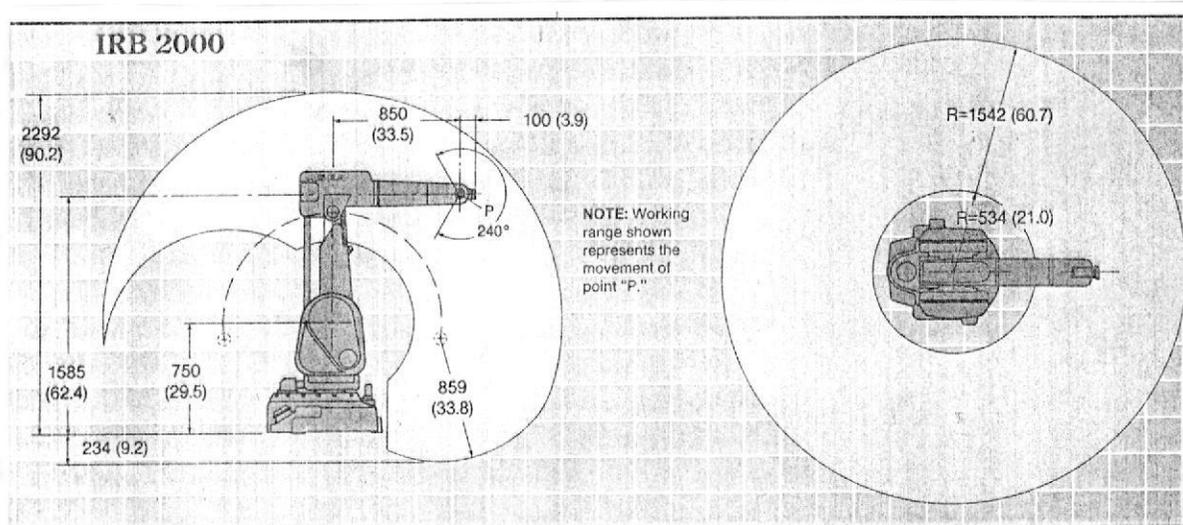


(b)

Fig. 29 ROBOT IRB 90 DE ABB : (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO

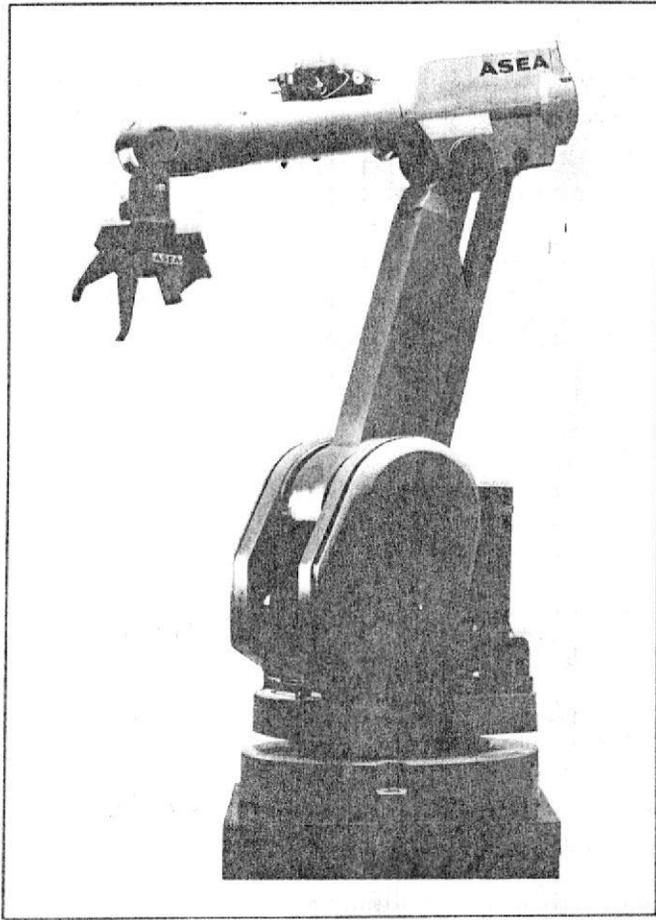


(a)

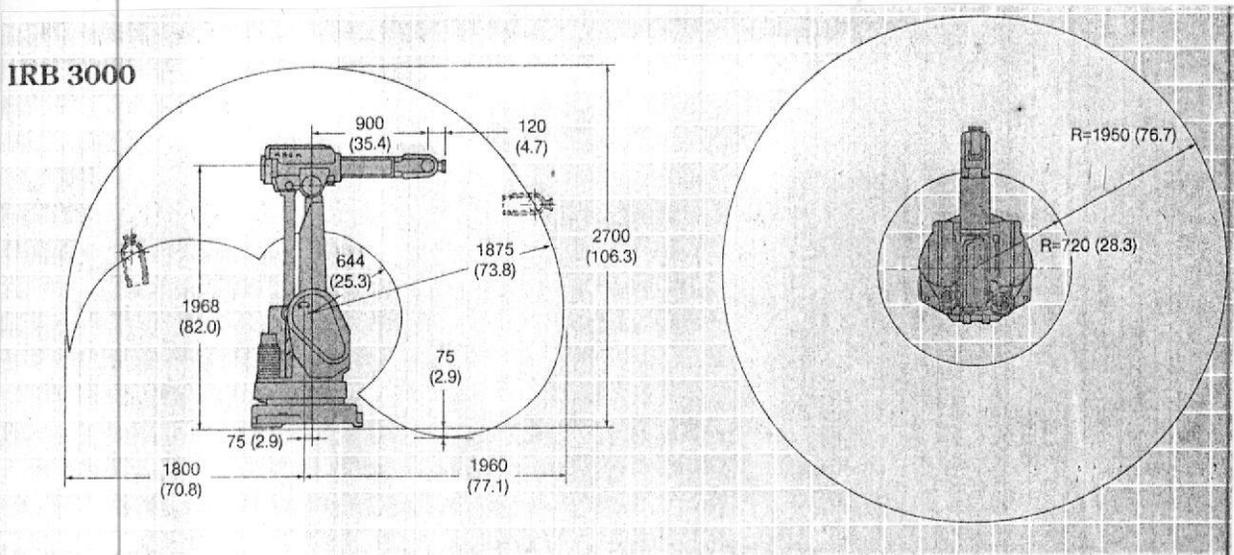


(b)

Fig. 30 ROBOT IRB 2000 DE ABB: (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO



(a)



(b)

Fig. 31 ROBOT IRB 3000 DE ABB: (a) FOTO DEL ROBOT, (b) ESPACIO DE TRABAJO

BIBLIOGRAFIA

1. Angulo J. M. y Avilés R., CURSO DE ROBOTICA, Paraninfo, Madrid, 2ª ed., 1985, pp. 2-23 / 2-31, 7-178 / 7-190.
2. Coiffet Philippe y Chirouze Michel, AN INTRODUCTION TO ROBOT TECHNOLOGY, McGraw-Hill, New York, 1983, pp. 9-85 / 9-90.
3. Critchlow, Arthur, INTRODUCTION TO ROBOTICS, Macmillan Publishing Company, New York, 1985, pp. 10-401 / 10-420.
4. DEVELOPMENTS IN ROBOTICS 1983, "The factors effecting the successful implementation of a robotic arc welding system in batch manufacturing", IFS Publications, Suecia, 1983, pp. 19-30.
5. Ferraté, G., ROBOTICA INDUSTRIAL, Marcombo/Boixareu Editores, Barcelona, 1986, pp. 2-35 / 2-40, 5-104 / 5-120, 11-287 / 11-295.
6. Groover, Weiss, Nagel y Odrey, INDUSTRIAL ROBOTICS, McGraw-Hill, New York, 1986, pp. 6-144 / 6-152, 16-457 / 16-465.

7. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ROBOTS (14 th),
"Economic evaluation of specific robot applications", IFS
Publications, Gothenburg, Suecia, 1984, pp. 69-82.
8. Koren, Yoram, ROBOTICS FOR ENGINEERS, McGraw-Hill, New York,
1985, pp. 9-261 / 9-270.
9. Pfister, Emilio, LA FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS
ACUICOLAS, ESPOL, Guayaquil, 1984, pp. 2-12.
10. Thuesen G., Fabrycky W. y Thuesen H., ENGINEERING ECONOMY,
Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 5ª ed., 1977, pp. 4-66 /
4-83, 6-144 / 6-155.



A.F. 141898