INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Diseño, Construcción y Control de un MicroRobot SCARA Industrial de Alta Precisión

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

ING. HÉCTOR GUILLERMO OLIVARES ZARAGOZA

DIRECTORES: DR. JOSE ÁNGEL L. ORTEGA HERRERA
DR. VALERY R. NOSSOV

MÉXICO, MAYO 2011.

SIP-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 9 del mes de Mayo del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada:

"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN MICROROBOT SCARA INDUSTRIAL DE ALTA PRECISIÓN".

Presentada por el alumno:

OLIVARES	**ZARAGOZA**	**HÉCTOR GUILLERMO**
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)

Con registro: | A | 0 | 7 | 0 | 2 | 9 | 6 |

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron ***SU APROBACION DE LA TESIS***, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de tesis

DR. JOSÉ ÁNGEL LODEGARIO ORTEGA HERRERA
Presidente

DR. VALERY ROMANOVICH NOSSOV
Segundo Vocal

DR. SAMUEL ALCANTARA MONTES
Tercer Vocal

DR. VALERY ROMANOVICH NOSSOV
Secretario

DR. JESÚS ALBERTO MEDA CAMPAÑA

DR. DIDIER SAMAYOA OCHOA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
I. P. N.
SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día **20** de mes de **AGOSTO** del año **2009** el que suscribe **HÉCTOR GUILLERMO OLIVARES ZARAGOZA** alumno del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA** con número de registro **A070296**, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. José Ángel Ortega Herrera** y cede los derechos del trabajo intitulado: **"Diseño, Construcción y Control de un Microrobot SCARA Industrial de Alta Precisión"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **esime2000@tutopia.com**
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mimo.

ING. HÉCTOR GUILLERMO OLIVARES ZARAGOZA

DEDICATORIA

A mis Padres, Guillermo y Margarita

Por todo el apoyo, amor y comprensión que han depositado en mí, sobre todo por los valores que forman al hombre, gracias a ustedes aún sigo creciendo y este logro alcanzado no es el fin de su esfuerzo.

A mis Hermanos, Víctor Daniel y Arianna Itzel

Porque la convivencia que tengo con ustedes es muy grata, cuando charlamos o jugamos siempre hay algo que aprender y de todos lo errores que cometo, sirvan como guía para que su camino sea más fácil y tomen las decisiones correctas. Pero sobre todo les agradezco el haber soportado todas mis travesuras que hasta la fecha no han podido desquitarse.

† Al Profesor Gabino Ramírez Arellano, Amigo y Consejero

Una vez sentí la derrota y opté por renunciar, el profesor me dijo: “No mires atrás, debes levantarte, corregir tu camino y seguir adelante. Y ante la adversidad, mente fría y pies de fuego”. Profesor Gabino, en mi memoria llevo su recuerdo. Descanse en paz.

AGRADECIMIENTOS

A mi Mentor, Dr. José Ángel L. Ortega Herrera

Por el apoyo incondicional proporcionado en mi actual formación académica, de igual forma le quiero hacer de su conocimiento la admiración y respeto que le tengo, personas como usted son como un cometa ya que aparecen en contadas ocasiones, brillan mucho y dejan huella imborrable en su trayectoria.

Al Dr. Samuel Alcántara Montes

Por el apoyo ofrecido en mi preparación, su calidad humana y el conocimiento que a bien fui víctima. Lo considero como el "Verne de la física", ya que "Si los números hablaran y con ellos escribiera novelas, cuentos o poesía, gente como García Márquez y otros personajes, se quedarían sin trabajo porque las galaxias no estarían tan lejanas ni serían tan complejas como uno piensa".

Al Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón y al Dr. Guillermo Urriolagoitia Sosa

Porque sus enseñanzas me ayudaron a crecer, a su forma tan amena que me hicieron sufrir porque no cualquiera se les iguala, agradezco su valiosa participación en mi aprendizaje.

A mis compañeros de Cubículo

A los de Maestría: por su apoyo, amistad, enseñanzas y por el relajo que hicimos, agradezco al: Ing. J. Carlos L. Trejo, Ing. Omar M. Hernández M., Ing. Fernando Rivera P., Ing. Armando R. Burciaga O., Ing. Ulises T. Esquibel, Lic. Ignacio Vega, Lic. Zeus Del Valle, Ing. Arturo Díaz, Ing. Rodrigo Olmos T., Ing. Marcelino L. Chang, Ing. Fernando Martínez G.

A los de Doctorado: M. en C. Helvio R. Mollinedo, M. en C. Hilario Terres, M. en C. Carlos Mora, M. en C. Oliver M. H. Chávez., M. en C. Fernando Rueda, M. en C. Héctor D. Aguirre.

A mis compañeros de generación

Porque en las clases nos las vimos negras, la gran desorganización para hacer las tareas, las tranzas y exposiciones, por su amistad y compañerismo, Gracias al: Ing. Alicia Mayorga B., Ing. Julio C. Muñoz C., Ing. Arturo Chávez A., Ing. José L. Martínez, Ing. Leonardo García G., Ing. Juan P. Campos L., Ing. Sergio G. Torres C., Ing. María del Rosario Rivera M., Ing. Leopoldo y al Ing. Gerardo Hernández H.

Agradeciendo especialmente por sus observaciones y asesorías a los compañeros

Dr. Helvio R. Mollinedo P. de L., M. en C. José A. Miranda M., M. en C. Ricardo Tapia Herrera, Ing. Juan Carlos Trejo L. y al Lic. Ignacio Vega P., ya que sin estas personas esta tesis no hubiera sido posible de realizar.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Por la oportunidad de forjarme como profesional y darme el conocimiento necesario para ello, pero sobre todo tener el orgullo de ser politécnico.

"Soy politécnico por convicción, no por circunstancia".

ESIME AZCAPOTZALCO

Por mostrarme el camino a la ciencia y la tecnología, de la misma forma por enseñarme a no doblegarme con facilidad.

"Nuestros colores son el verde y el blanco porque el rojo lo llevo en la sangre". Miguel Bernard

ÍNDICE

Resumen I

Abstract II

Introducción III

Descripción del Problema III

Objetivos general y particular III

Justificación IV

Alcances IV

Limitaciones IV

Aportaciones V

Contenido General de la Tesis VI

Capítulo 1 Evolución de los Robots a los MicroRobots 1

1.1 Antecedentes Históricos 2
1.2 Desarrollo de la Robótica 6
1.3 Sistemas MicroRobóticos 8
1.4 MicroRobótica 10
Referencias 11

Capítulo 2 Diseño Mecánico del MicroRobot 12

2.1 Fundamentos Teóricos del MicroRobot 12
2.2 Materiales 20
2.3 Matemáticas 24
2.4 Procesos de Manufactura 51
2.5 Planos de Fabricación 61
Referencias 66

Capítulo 3 Control del MicroRobot **67**

3.1 Sistemas de Control 67
3.2 Precisión en el Control 69
3.3 Modelo de Control 71
3.4 Diagrama Electrónico 80
Referencias 81

Capítulo 4 Programación del MicroRobot **82**

4.1 Diseño de Interface de Usuario 82
4.2 Diseño de Interface Hombre-Máquina 83
4.3 Diseño de Interface Máquina-Máquina 83
4.4 Programa de la Pantalla de Control en Visual Basic 84
4.5 Programa del PIC JET 87
Referencias 89

Capítulo 5 Fabricación y Ensamble del MicroRobot **90**

5.1 Proceso de Fabricación 90
5.2 Fabricación de guías y bujes 90
5.3 Fabricación de eslabones 92
5.4 Fabricación de base, tapa y soporte 93
5.5 Fase de Ensamble y Montaje del MicroRobot Terminada 96
Referencias 99

Conclusiones **100**

Recomendaciones Futuras **101**

Anexos **102**

Costo 103

Seguridad en el uso de Robots Industriales 105

Propiedades de los materiales utilizados en el MicroRobot 126

Mantenimiento a Robots Industriales 130

Referencias 134

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño de un MircoRobot SCARA de alta precisión, con el propósito de ensamblar piezas diminutas las cuales son de difícil acceso para el ser humano.

Dicho trabajo está constituido en primera instancia por la evolución que ha tenido la Robótica desde su nacimiento hasta llegar a la MicroRobótica. Posteriormente se presenta la etapa de diseño mecánico del MicroRobot que es parte fundamental en la construcción del esqueleto mecánico del prototipo ya que es en esta etapa donde se eligen los materiales idóneos para alcanzar el objetivo propuesto, de igual manera se determina la anatomía y los movimientos que éste realizará.

Dentro del marco del diseño de control se realizó el programa de la pantalla virtual con el cual el MicroRobot ejecutará las órdenes de quien esté operando la PC, tales ordenes pueden ser la regulación de las velocidades y aceleraciones, así como sus movimientos, también es posible reconocer los problemas que el robot genere, por eso fue necesario realizar pruebas para describir la funcionalidad del mismo MicroRobot y del control virtual. Disponiendo de esta información se elige el control adecuado a las necesidades de la tarea a realizar y los componentes que interactúan para el desarrollo del mismo.

Para realizar el enlace hombre-máquina y máquina-máquina, fue necesario conocer el medio por el cual podemos establecer la comunicación, obteniendo de esta forma una realimentación en el funcionamiento del MicroRobot. El diseño de la interface esta sobre una plataforma Visual Basic.

De la misma manera, se define el proceso de fabricación para que cumpla con los requerimientos del diseño y de esta forma obtener una mejor rentabilidad del mismo prototipo, una vez manufacturadas algunas de las piezas que lo integran, se procedió a montar los componentes sobre la estructura.

Como información adicional se incluye un anexo en el cual se profundiza en los aspectos más importantes de cada una de las etapas de diseño.

ABSTRACT

In the present work the design of a MircoRobot SCARA of high precision was realized, in order to assemble tiny pieces which are difficult for the human being.

This work is constituted in first instance by the evolution that has had the Robotics from its birth to arriving at MicroRobotics. Later the stage of mechanical design of MicroRobot appears that is fundamental part in the construction of the mechanical skeleton of the prototype since it is in this stage where the suitable materials are chosen to reach the proposed objective, of equal way determines the anatomy and the movements that the prototype will realize.

Within the framework of the control design the program of the virtual screen was realized with which MicroRobot will execute the orders of the person who use the PC, it can be regulated the speeds and accelerations, as well as its movements, also it is possible to recognize the problems that the robot generates, for that reason was necessary to realize tests to describe the functionality of the same MicroRobot and the virtual control. Having this information one chooses the control adapted to the needs of the task to carry out and the components that interact for the development of the same.

In order to realize the man-machine connection and machine-machine, it was necessary to know the means by which we can contact, obtaining from this form a feedback in the operation of MicroRobot. The design of the interphase is on a Visual Basic platform.

In the same way, the process so that it fulfills the requirements of the design and this form to obtain one better yield of the same prototype, once manufactured some of the pieces of the MicroRobot where the components will be mounted on the structure.

As additional information is included an Annex in which it is deepened in the most important aspects of each one of the stages of design.

INTRODUCCIÓN

Los avances científicos y tecnológicos han llevado especialmente al área de la electrónica a reducir el tamaño de los circuitos electrónicos lo cual hace cada vez más complejo manipular los elementos que componen dicho circuito, estos elementos deben quedar exactamente ensamblados en uno o más pasos para formar el sistema deseado. Todo esto requiere una excelente habilidad en el posicionamiento y una alta flexibilidad en el MicroEnsamble. Por ello es necesario contar con máquinas que sean capaces de manipular y posicionar diferentes tipos de objetos con una precisión de µm.

Uno de los problemas al realizar ensambles en microsistemas es la manipulación precisa y el posicionamiento exacto de objetos diminutos. Un MicroRobot puede liberar al ser humano de este complejo procedimiento ya que puede manipular directamente objetos demasiado pequeños, esto a su vez nos lleva a reducir los costos de producción y así mismo obtener una alta calidad.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde que surgió la inquietud de conocer la locomoción e inteligencia en el mundo de los microorganismos, se pensó en extender las capacidades del ser humano para realizar piezas complejas de reducido tamaño y precisión. Las técnicas desarrolladas para reducir los dispositivos son bastante difíciles de realizar para el ser humano y de mucha menor precisión para una máquina convencional. Al crear objetos pequeños, con la finalidad de realizar trabajos finos en cualquier ámbito, inicialmente en la manufactura fue necesario reducir los dispositivos y por ende, sus componentes a una dimensión mucho menor. Lo que dificulta en gran medida la manipulación y fabricación de las mismas con las herramientas y equipos que el hombre posee.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, Construir y Controlar un MicroRobot SCARA Industrial de alta precisión.

OBJETIVO PARTICULAR

El MicroRobot debe realizar movimientos lo más precisos y exactos posibles.

JUSTIFICACIÓN

Debido a los avances que ha tenido la ciencia y el rápido crecimiento tecnológico, el ser humano se ha tenido que enfrentar al problema de minimizar sus instrumentos de trabajo así como su maquinaria para poder realizar tareas de mayor precisión logrando de esta manera mejorar su rendimiento. Una alternativa a este problema es el empleo de MicroRobots que tienen la capacidad de poseer una alta precisión. Actualmente la MicroRobótica es un tema de estudio en diversas partes del mundo particularmente Japón, en México existen pocos indicios de este tipo de tecnología y por ende el sector industrial tiene que incrementar sus gastos de producción.

Es bajo este contexto es necesario estudiar y desarrollar MicroRobots de alta precisión en nuestro país, ya que las aplicaciones son de gran utilidad en áreas como la manufactura y la medicina particularmente.

Por ello, al construir este tipo de MicroRobot es posible aspirar al surgimiento de nuevas oportunidades en el campo de la investigación, acrecentando los alcances del ser humano en la ingeniería.

La finalidad del MicroRobot propuesto es la de ser parte de una célula de Manufactura de una MicroFábrica y en trabajos futuros poderlos aplicar en el área Médica y dispositivos de alta precisión.

ALCANCES

- El prototipo de investigación desarrollado permitirá realizar trabajos de precisión con menor dificultad.

- El MicroRobot economizará un proceso de producción que reducirá los costos de fabricación de productos comerciales.

- Este proyecto aportará información relevante que será utilizada para emplearlo en diferentes áreas de investigación y desarrollar otras configuraciones de robots para otro tipo de tareas.

LIMITACIONES

- La Micro Robótica es un tópico que tiene poco tiempo de haber surgido y por ende la información acerca de ellos no es aún tan accesible como en otros casos debido a que actualmente se sigue experimentando con ellos.

- Los dispositivos que son necesarios para el diseño y construcción de estos MicroRobots son difíciles de adquirir en México, por lo tanto es necesario importarlos y el tiempo de entrega varía según el país de procedencia, además de los gastos que conlleva ese tipo de transacción.

APORTACIONES

Aspecto Económico. Reducirá costos de manutención, inversión y producción.

Aspecto Laboral. Contribuirá en la creación de MicroFábricas para el autoempleo.

Aspecto Científico. Ampliará la visión y alcance en el estudio de los fenómenos del micro mundo para diferentes aplicaciones.

Aspecto Práctico. Proporciona un bajo peso, facilidad de transporte y mantenimiento.

Aspecto Industrial. En el desempeño de la manufactura a nivel industrial se podrán crear productos para el mercado comercial a un menor costo.

Contenido General de la Tesis

El presente trabajo de investigación se enfoca al diseño y construcción de un MicroRobot para el ensamble de piezas diminutas, dicho trabajo se compone de 6 capítulos estructurados de la siguiente manera:

En el capitulo uno se habla de la evolución de los Robots a los MicroRobots así como sus aplicaciones en la industria electrónica actual.

En el capitulo dos se hace mención de las etapas que necesarias para el Diseño Mecánico de un MicroRobot tipo SCARA que van desde el reconocer la necesidad hasta establecer la metodología a seguir, siendo esta última la más importante ya que es aquí donde se determinan los factores de diseño para realizar la configuración geométrica y las dimensiones del elemento.

El capitulo tres hace referencia al diseño del control, siendo este un punto importante del proyecto ya que es aquí donde se desarrollan los modelos cinemáticos y dinámicos que marcarán las estrategias adecuadas para lograr una mayor precisión en sus movimientos el cual es el objetivo de la presente tesis.

El capitulo cuatro se enfoca a la programación del MicroRobot en el cual se analizan los medios para generar el programa que va a dirigir el elemento físico, en esta etapa se consideran aspectos importantes como son la selección del microcontrolador, el software, entre otros., para poder optimizar el resultado del proyecto, obteniendo así la ejecución correcta de la tarea a realizar.

En el capítulo cinco se muestra la Fabricación y el Ensamble Mecánico, haciendo énfasis en el proceso de fabricación el cual se refiere al conjunto de operaciones necesarias para transformar la materia prima en un producto, aprovechando las bondades del material y de esta forma alcanzar el objetivo deseado.

CAPÍTULO 1

EVOLUCIÓN DE LOS ROBOTS A LOS MICROROBOTS

Introducción

Dentro de los avances científicos en diferentes áreas como en la manipulación de células biológicas y el ensamble de micropartes son tareas que requieren de nuevas herramientas y sensores que operen a micro escalas. Para entender la MicroRobótica se debe iniciar con una discusión de cómo se manifiestan los efectos físicos en la microescala.

La física en la micro y nano escala pueden ser dramáticamente diferentes a la macroescala. La superficie y las fuerzas intermoleculares, tales como las fuerzas de adhesión, originando fuerzas de tensión en la superficie, las fuerzas de Van del Waals y las fuerzas electrostáticas son más significativas en objetos de dimensiones pequeñas.

Hoy en día, la industria está interesada en usar la manufactura de precisión y ensamble de partes con un tamaño de milímetros a micrómetros. Los dispositivos con micromovimiento pueden realizar movimientos muy pequeños con una alta exactitud en el posicionamiento que tiene una amplia aplicación en la industria. Algunas aplicaciones típicas en la industria son el ensamble de chips en la industria semiconductor, etc.

El incremento de la exactitud y precisión en la maquinaria y otros dispositivos han conducido al desarrollo de tecnologías. La ingeniería de precisión surge desde la ingeniería mecánica seguida de la micromecánica y recientemente la nanotecnología.

1.1 Antecedentes Históricos

A lo largo de la historia, el hombre ha sentido fascinación por las máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían un apalabra específica para denominar a estas máquinas: ***automatos***. De esta palabra deriva la actual ***autómata***: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado. En las tablas se muestran los autómatas o mecanismos automáticos más relevantes a lo largo de la historia.

Año	Autor	Mecanismo	Comentario
270 a. C.	Ctesibius	Clépsidra y órgano de agua	Neumática e hidráulica para la producción de los primeros relojes y órganos de agua.
62 a. C.	Herón de Alejandría	Teatro automático	Las figuras cambiaban de posición.
87 a. C.	Escuela de Posidonio	Mecanismo de Antikythera	Mecanismo para el cálculo de la posición de los astros.
1200	Al-Jazari	Fuente del Pavo Real	Autómata para lavarse las manos.
1232-1316	Ramón Llul	Ars Magna	Consistía en series de círculos concéntricos donde había distintas palabras.

Tabla 1.1 Autómatas o mecanismos automáticos más relevantes a lo largo de la historia

Año	Autor	Mecanismo	Comentario
1352	Desconocido	Gallo de la Catedral de Estrasburgo	El gallo movía las alas, levantaba la cabeza y cacareaba 3 veces.
1500	Leonardo Da Vinci	León Mecánico	Se cree que dio unos pasos, levantó una garra y se abrió el pecho mostrando el escudo de armas del rey.
1525	Juanelo Turriano	Monje u Hombre de Palo	Programado para asentir con la cabeza, mover los ojos y boca, mientras con una mano sujeta un crucifijo y con otra se da golpes en el pecho.
1540		Tocadora de Laúd	Figura de mujer que podía dar unos pasos en línea recta o en círculo, al mismo tiempo que sacaba notas de un pequeño laúd.
1738	Jaques de Vaucanson	Pato	Pato de cobre que comía, bebía, graznaba, movía las alas e incluso digería la comida como un pato real.

Tabla 1.1 Autómatas o mecanismos automáticos más relevantes a lo largo de la historia

Año	Autor	Mecanismo	Comentario
1738		Flautista y Tamborilero	Eran figuras de 1.80cm. El flautista, a través del aire y de los labios y dedos era capaz de tocar 12 melodías
1760	Friedich Von Knauss	Máquina de escritura automática	Máquina capaz de escribir pasajes de hasta 107 palabras.
1770 **1772** **1773**	Jaquet Droz	Escriba Organista Dibujante	Los 3 autómatas estaban operados por mecanismos de relojería basados en el uso de cadenas complejas de levas.
1778	Barçon W. Von Kempelen	Máquina parlante	Tras un trabajo de 20 años, construyó una máquina capaz de reproducir los órganos vocales de los seres humanos, y con ello reproducir los distintos sonidos.
1796	Hanzo Hosokawa	Muñeca para servir el té	Si se pone un recipiente con té sobre ella, la muñeca se mueve hacia adelante. Si se le quita, se para.

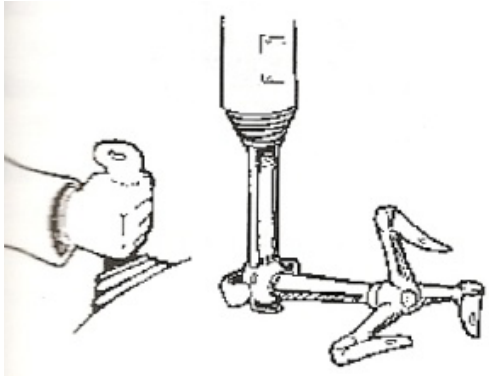
Tabla 1.1 Autómatas o mecanismos automáticos más relevantes a lo largo de la historia

Año	Autor	Mecanismo	Comentario
1805	Familia Maillardet	Muñeca capaz de dibujar	Era una muñeca arrodillada con un lápiz en la mano, que era capaz de escribir en inglés, francés y dibujar paisajes.
1900	Leonardo Torres de Quevedo	Máquinas algebraicas	Conjunto de máquinas capaces de resolver ecuaciones polinómicas por procedimientos estrictamente mecánicos.
1906		Telekino	Dispositivo para el control a distancia de barcos y dirigibles mediante ondas hertzianas. Las señales se asemejan a las del alfabeto Morse, que interpretadas dan lugar hasta una veintena de movimientos diferentes.
1912		Máquina de jugar ajedrez	Máquina que era capaz de jugar partidas de torre y rey contra rey.

Tabla 1.1 Autómatas o mecanismos automáticos más relevantes a lo largo de la historia

1.2 Desarrollo de la Robótica

Los primeros dispositivos que responden al que hoy se conoce como Robot, no adoptaron inicialmente esta denominación. Los progenitores más directos de los Robots fueron los Manipuladores Teleoperados. El manipulador maestro, situado en la zona segura, era movido directamente por el operador, mientras que el esclavo, situado en contacto con los elementos radioactivos y unidos mecánicamente al maestro, reproducía fielmente los movimientos de éste.



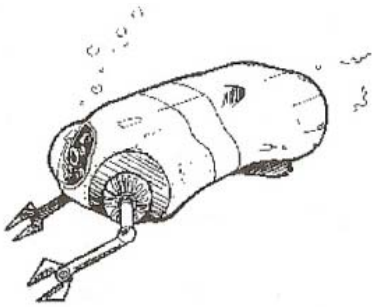
1.1 Telemanipulador

Años más tarde, en 1954, Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servocontrol sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica y desarrollando así el primer sistema de Telemanipulación con servocontrol bilateral. La sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de Robot.

Actualmente la Federación Internacional de Robótica [IFR-04] clasifica a los Robots de servicio por áreas de aplicación.

SECCIÓN 1 ROBOTS PERSONALES Y DOMÉSTICOS
Robots para tareas domésticas **Robots de entretenimiento** **Asistenciales, ayuda a discapacitados** **Transporte Personal** **Seguridad y Vigilancia de la Vivienda** **Otros usos Personales y Domésticos**

SECCIÓN 2 ROBOTS DE SERVICIOS PROFESIONALES
Robots de Exteriores
Limpieza Profesional
Sistemas de Inspección
Construcción y Demolición
Sistemas Logísticos
Medicina
Defensa, Rescate y Seguridad
Submarinos
Plataformas Móviles de uso General
Robots de Laboratorio
Relaciones Públicas
Propósito Especial
Humanoides
Robots a medida
Otros no especificados

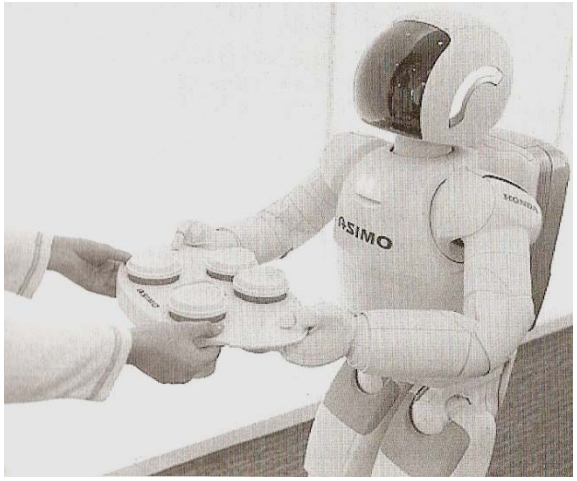


1.2 Robot Submarino

Tabla 1.2 Selección de áreas de aplicación según [IFR-04]

SECCIÓN 3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ROBOTICA
Percepción
Actuación
Micro y Nano Robots
Arquitecturas e Integración
Navegación y Control
Interfases con Usuario y Otras
Otras Actividades de Inteligencia Artificial No Especificadas
Investigación Básica

Tabla 1.2 Selección de áreas de aplicación según [IFR-04]



1.3 Robot humanoide ASIMO

1.3 Sistemas MicroRobóticos

El desarrollo de los sistemas MicroRobóticos tienen una gran aceptación en una variedad de campos de aplicación. Tal como en el mantenimiento e inspección industrial, Microcirugías en medicina, Microoperaciones en biología y más. La palabra "sistemas MicroRobóticos" se refiere a MicroMáquinas y MicroManipuladores pero esta tecnología también incluye la interface hombre-máquina. Las MicroMáquinas funcionan conforme a su escala, realizan las tareas en equipo debido a la limitación de sus funciones y la productividad de las MicroMáquinas.

Los MicroManipuladores son utilizados para maniobrar objetos diminutos y operar maquinados de alta precisión. Además de usar MicroMáquinas y MicroManipuladores, es necesario integrar y desarrollar la interface hombre-máquina dentro de los sistemas MicroRobóticos, la interface humana no puede ser ignorada para construir los sistemas MicroRobóticos.

Desde entonces las palabras "MicroMáquinas y MicroManipuladores" funcionan de diferente forma sujetas a las leyes físicas del mundo que provienen, es necesario traducir las señales sensadas adecuadamente desde el mundo de los MicroRobots al del hombre. Consecuentemente, la tecnología de realidad virtual está integrada a la interface hombre-máquina.

Las principales características de la configuración de los sistemas MicroRobóticos son:

a) Sencillez o simplicidad
b) Gran cantidad de integrantes
c) Descentralización autónoma
d) Integración funcional
e) Preensamble

Las características están muy relacionadas entre sí. La sencillez o simplicidad se deriva de los métodos de producción debido a la restricción por la escala de las MicroMáquinas, esto lo hace una tarea sencilla de realizar cuando no lo puede efectuar un solo robot.

La configuración múltiple de MicroRobots requiere de una nueva arquitectura de control, tal como el control autónomo descentralizado. La descentralización y autonomía de los sistemas MicroRobóticos es efectivo, por lo cual el sistema distribuido autónomo consiste en un gran número de individuos. Estas características son similares a los sistemas MicroRobóticos que han sido diseñados bajo el concepto de Robótica celular.

Este método aproximado llamado Robótica celular, indicará una nueva tecnología para diseñar y construir los sistemas MicroRobóticos, por lo tanto, la configuración de la Robótica celular puede ser aplicado a los sistemas MicroRobóticos.

1.3.1 Cuestiones de Investigación sobre Sistemas MicroRobóticos

Para realizar los sistemas MicroRobóticos es necesario conocer diferentes tópicos como: MicroFabricación, alimentación, control y comunicación, desarrollo de actuadores y sensores, etc. En la investigación MicroMecánica aparecen algunos problemas concretos como son:

1) MicroFabricación

- El método de manufactura 3D de MicroRobots
- Material y análisis del estado sólido para los MicroRobots
- El método del sistema de diseño de sistemas MicroRobóticos

2) Problemas de escala

- MicroLubricación
- MicroMecánica de Fluidos

3) Métodos de medida

4) Métodos de control

5) Comunicación

- Arquitectura del sistema informático de los sistemas MicroRobóticos
- El método de comunicación de los sistemas MicroRobóticos

6) Alimentación

7) Interface hombre-máquina

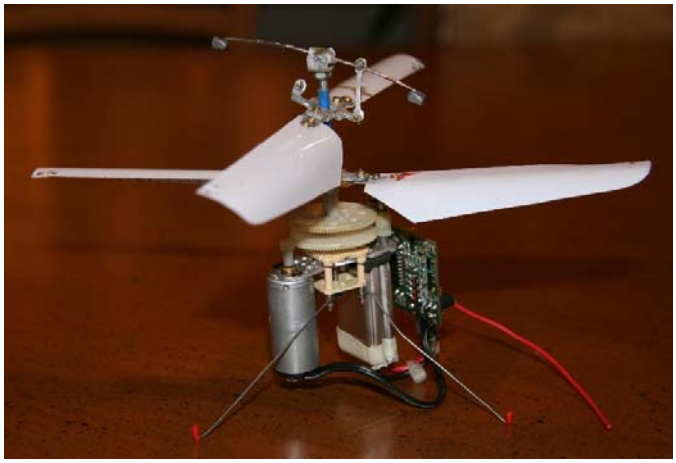
1.4 MicroRobótica

Hace aproximadamente 400 años el primer microscopio óptico fue inventado y un mundo desconocido llegó a ser visible. Esta nueva herramienta fue también utilizada por los artesanos para extender sus capacidades visuales para crear piezas de reloj mucho más complejas y pequeñas y otros dispositivos de precisión. El campo de la MicroRobótica tuvo sus inicios en el año 1950, en el desarrollo de las técnicas de manufactura de circuitos integrados. Sin embargo la comunidad de investigación en Robótica se interesó en la microescala hasta el año 1990.

La **MICROROBÓTICA** es un área de la Ingeniería Robótica que abarca desde la MicroManipulación de objetos dimensionales en rangos de milímetros a micras hasta el diseño y fabricación de MicroRobots autónomos. En la actualidad existen diferentes formas de describir y definir a un MicroRobot, así como lo que lo caracteriza, considerando que se trata de una máquina de reducido tamaño, es necesario conocer la definición de ésta para entender lo que es un MicroRobot.

Una **MICROMÁQUINA** es un conjunto de mecanismos de reducido tamaño con la finalidad de realizar trabajo desde rangos de milímetros a nanómetros en su espacio y operaciones de trabajo. Entonces, un **MICROROBOT** es una micromáquina con posibilidad de reprogramar su comportamiento con algún grado de adaptabilidad a circunstancias impredecibles o con controlabilidad remota.

Lo que caracteriza fundamentalmente a un MicroRobot es su tamaño y su espacio de trabajo, un MicroRobot no es un robot pequeño en tamaño, sino en inteligencia, programado para realizar una tarea sencilla en un entorno controlado, ya que son pequeños sistemas de manufactura que permiten realizar manipulaciones con precisión. Los MicroRobots no están diseñados para llevar a cabo operaciones que exijan elevadas potencias y complicados algoritmos solamente están destinados para resolver tareas pequeñas con rapidez y precisión.



1.4 MicroRobot volador

Referencias

[1] Barrientos, Antonio, Peñín, Luis Felipe, *Fundamentos de robótica 2ª. Edición*, McGraw Hill 2007

[2] Ouyang, P. R., *Micro-motion devices Technology: The State of arts review*, Springer-Verlag London Limited 2007

[3] J. Abbott, Jake, *Robotics in the small part I: Microrobotics*, IEEE Robotics & Automation Magazine June 2007

[4] Olivares Z., H. Guillermo, et al., *Introducción a la MicroRobótica y sus Aplicaciones*, 4º Congreso Mexicano de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica 2009

[5] Gallego Clarós, Juan Carlos, *Desarrollo de un Sistema Sensorial basado en Array de Fotodiodos. Implementación sobre MicroRobot Móvil*, Tesis Abril 2004

[6] Olivares Z., H. Guillermo, Rodríguez, L. Francisco, *Robot Cartesiano con 3 Grados de Libertad Controlado Vía Internet*, Tesis Noviembre 2005

[7] Fukuda, T., Ueyama, T., *Cellular Robotics and MicroRobotic Systems*, vol. 10 World Scientific Publishing 1994

CAPÍTULO 2

DISEÑO MECÁNICO DEL MICROROBOT

Introducción

La palabra diseño se define como “el arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades del individuo o de la comunidad”, el diseño mecánico se define como “el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica como piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos para satisfacer una necesidad”. Éste se relaciona directamente con la toma de decisiones, la teoría y la matemática. Es necesario que el diseño pase por una serie de etapas como son: el reconocer la necesidad, definir el problema, sintetizar, analizar y optimizar, evaluación y presentación; donde a su vez intervienen los factores de diseño que determinan la configuración geométrica y las dimensiones del elemento como la resistencia, confiabilidad, las condiciones térmicas, corrosión, desgaste, rozamiento, procesamiento, utilidad, costo, seguridad, peso, ruido, esterilización, forma, tamaño, flexibilidad, control, rigidez, acabado superficial, lubricación, mantenimiento y volumen. Que se refieren directamente a las dimensiones, al material, a los procesos de fabricación y al ensamble.

La operación básica en una fabricación, es el dominio de la posición del objeto (herramienta ó pieza). Las estructuras de los robots presentan un tipo de interés en particular en el plan económico, ligereza y rigidez. Los cálculos complejos ligados a este tipo de estructura están considerablemente simplificados en el caso de pequeños desplazamientos correspondientes a los errores.

2.1 Fundamentos Teóricos del MicroRobot

Un Robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots industriales tienen cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot industrial, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca. El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o una combinación de ambos.

En 1876, Franz Reuleaux identificó los posibles movimientos relativos entre dos elementos en contacto, los cuales denominó pares inferiores y pares superiores. Los pares inferiores son aquellos en los que el contacto se realiza entre superficies, mientras que los pares superiores, el contacto es puntual o lineal. Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto al anterior es denominado grado de libertad.

2.1.2 Criterio de Kutzbach-Grübler

La fórmula de Grüebler, también llamada de Kutzbach-Grüebler es una expresión para la aplicación del criterio del mismo nombre que permite obtener el grado de movilidad de un mecanismo. El criterio consiste simplemente en realizar una diferencia entre los grados de libertad de los eslabones del mecanismo y las restricciones impuestas por los pares cinemáticos.

En el caso de mecanismos planos con un eslabón fijo, la fórmula resulta:

Ecuación de Grüebler

$$m = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

Donde:

m = movilidad
n = al número de eslabones
j1 = al número de pares cinemáticas inferiores (cada uno restringe dos grados de libertad en el plano)
j2 = al número de pares cinemáticas superiores (cada uno restringe un grado de libertad en el plano).

2.1.3 Precisión en los mecanismos

Un mecanismo es un dispositivo compatible que se mueve exclusivamente por deformación, por lo general mediante la utilización de flexiones en lugar de rodamientos convencionales. Los mecanismos que utilizan la flexibilidad en los elementos que los constituyen para transmitir movimiento o fuerza, se mueven relativamente uno sobre el otro en forma definida. La ausencia de linealidad en un mecanismo de comportamiento no compatible en lugares fundamentales de limitaciones físicas de resolución de la posición o de la fuerza de control. Los mecanismos flexibles se pueden diseñar para cualquier entrada deseada / fuerza de salida / características del desplazamiento, como el volumen especificado / de peso, la rigidez y las limitaciones de la frecuencia natural. La transmisión de información "posición" a través de una cadena de metrología, tener errores en la geometría entre la herramienta y la pieza de trabajo.

Es importante elaborar un registro de estas causas, con ello es posible minimizar o corregir el efecto que producen o incluso eliminar su influencia. Esto hace referencia a la forma de los objetos materiales que contienen imperfecciones. Las superficies con defectos de deslizamiento en la forma, produce movimientos erróneos, errores en los movimientos de los transmisores de posición, cuya posición relativa es diferente de lo que se esperaba.

2.1.4 Perturbaciones físicas que comprometen la precisión

La ausencia de articulaciones convencionales u otras superficies producen un dispositivo limpio, libre de lubricantes u otros contaminantes. El posicionamiento se efectúa a través de los elementos que están sometidos a alteraciones muy diversas (condiciones del material, el equipo, condiciones ambientales, etc.) que dan por resultado los errores en la posición geométrica entre la herramienta y la pieza trabajada. Es importante realizar un registro de estas causas que permitirá reducir o corregir estos efectos.

2.1.5 Errores en la Medición

Los materiales contienen imperfecciones, las superficies deslizantes presentan algunos defectos de forma, esto genera movimientos erróneos, los errores en la realización de los transmisores de posición conducen a los movimientos cuya posición relativa es diferente de la que se había previsto. En este estado se pueden considerar que estos errores de posición son estables y son corregibles de una forma bastante universal por medio de una corrección informática de la información. En ciertos casos algunos medios de corrección de los materiales son de consideración.

2.1.6 Causas físicas de la variación de los elementos que constituyen a la máquina

Los diferentes elementos que están sometidos a perturbaciones susceptibles de modificar la información son los siguientes:

a) *Aplicación de esfuerzos*.

Los esfuerzos aplicados a los elementos constituyen la unión de sólidos tanto que el deslizamiento provoca deformaciones, éstos se deben clasificar en dos categorías: los que son predecibles y repetibles y los que no lo son. En la primera categoría se presentan los pesos de los elementos de la máquina que corresponden a los esfuerzos importantes que permanecen en el elemento. Sin embargo es necesario tomar las debidas precauciones en las máquinas con elementos intercambiables y de las máquinas que presentan algunos elementos pesados susceptibles de aumentar los movimientos de pivote alrededor de los ejes no verticales.

b) *Variaciones de temperatura*.

Las variaciones de temperatura provocan algunas deformaciones de los elementos sólidos por el fenómeno de dilatación, los aceros tienen un coeficiente de dilatación de 12.5 micrómetros por metro, algunos materiales particulares como los aleados con un 36% de níquel, como el vidrio que se comporta como una fase vítrea y otra cristalina permitiendo dividir por 10 o 100 esta sensibilidad a la dilatación.

c) *Corrección de los errores de las máquinas*.

La calidad geométrica de las máquinas reside en una información. Dentro del taller de la máquina herramienta era conocida, pero mal codificado que era preciso curvear las superficies deslizantes para obtener los movimientos verdaderamente rectilíneos. Algunos mecanismos muchas veces bastante complejos están previstos para generar esfuerzos que producen en los elementos de la estructura de la máquina algunas deformaciones que compensan las deformaciones naturales. La realización de pequeños movimientos de corrección pueden ser difíciles de hacer en los límites de la mecánica de la máquina, la solución reside en la introducción de mecanismos especializados de corrección.

d) *Límites de la corrección de las máquinas*.

La corrección de las máquinas puede ser bastante fácil basada sobre una información almacenada. Se determina una función eficaz para el estado en el cual se encuentra la máquina ya que el problema se queda como la validez de esta información. Cuando se repiten estos errores muy seguido, es necesario verificar por todos lados si ésta información permanece estable a lo largo del término.

2.1.7 Movilidad en los Mecanismos

En los mecanismos, el movimiento se presenta mediante la transmisión de éste de un miembro a otro y generalmente es:

a) Mediante contacto directo, como en el caso de una leva y su seguidor

b) A través de un eslabón rígido conectivo, como el caso de una biela

c) Por medio de elementos flexibles como bandas, cadenas o cables

2.1.8 Tipos de Movimiento

Los mecanismos producen diferentes tipos de movimientos; pueden ser rígidos, los cuales se presentan cuando un cuerpo se encuentra guiado de tal forma que se debe mover solamente en una trayectoria definida o también semirrígidos, los cuales se presentan cuando el sentido de movimiento de un cuerpo tiene restricciones para que se lleve a cabo solamente en esos límites; generalmente, los mecanismos producen movimientos coplanarios, helicoidales, esféricos, etc.

2.1.9 Velocidades y Aceleraciones

Es de primordial conocer la velocidad a la cual se mueven las máquinas, pues de ello depende en gran parte el análisis y el diseño de sus componentes; además, su movimiento está en función de las velocidades lineales y de velocidades angulares. La velocidad de un cuerpo puede definirse como la variación de posición de éste con referencia al tiempo, la rapidez se define como la longitud de la trayectoria que recorre el cuerpo, dividida entre el tiempo, la velocidad angular se define como la variación de la posición angular de un cuerpo respecto al tiempo. Aceleración es la relación que existe durante el cambio de velocidad con respecto al tiempo transcurrido y la aceleración angular es la relación que existe durante el cambio de velocidad angular respecto al tiempo transcurrido; con estas variables es posible tener un mejor control del mecanismo.

2.1.10 Motores

Los fenómenos electromagnéticos que rigen el funcionamiento tanto de los generadores como de los motores, se basa fundamentalmente en cuatro leyes que son:

a) Ley de Amper

b) Ley de Faraday

c) Ley de Biot y Savart

d) Leyes de Kirchhoff

La ley de Amper establece que un campo magnético y sus líneas de fuerza magnética siguen un determinado camino llamado circuito magnético cuyas propiedades tienen una relación con la corriente eléctrica.

El físico danés Hans Christian Oersted, por el año de 1819 encontró una relación entre el magnetismo y la corriente eléctrica, afirmando que toda corriente que circula por un conductor produce un campo magnético alrededor de este, dicho fenómeno dio origen al electromagnetismo.

La ley de Faraday establece que si dentro de un campo magnético se encuentra un conductor y existe movimiento relativo entre ellos, ya sea que el campo magnético es el que se mueve y el conductor quede fijo o bien, que éste sea el que se mueva y el campo magnético permanezca fijo, en cualquier caso en dicho conductor se inducirá una fuerza electromotriz.

Ley de Biot y Savart establece que cuando un conductor por el que circula una corriente y se encuentra dentro de un campo magnético, tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas del campo magnético.

Ley de Kirchhoff establece que en cualquier red de conductores, la suma algebraica de las intensidades de las corrientes que ocurren en un nodo ha de ser nula y que en cualquier circuito eléctrico cerrado, la suma de todas las f.e.m. y caídas de tensión debido a las resistencias, tomadas con los signos que correspondan, es igual a cero.

El generador y el motor de corriente continua, son máquinas rotatorias destinadas a transformar la energía mecánica a energía eléctrica y la energía eléctrica a energía mecánica, respectivamente. Desde hace unos años existen en el mercado Robots que poseen algo llamado accionamiento directo (Direct Drive DD), en el que el eje del actuador se conecta directamente a la carga o articulación, sin la utilización de un reductor intermedio. Por este motivo, los robots de accionamiento directo son generalmente de tipo SCARA. El actuador tiene por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control.

Los actuadores eléctricos poseen características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos, esto permite que sean más usados en la construcción de Robots. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes que son: los motores de corriente continua (DC), los motores de corriente alterna (AC) y los motores a pasos, de los cuales el foco de nuestra atención será sobre los motores a pasos y los de corriente continua.

1. **Motores de Corriente Continua (DC)**. Éste tipo de motor está constituido por dos devanados internos, inductor que se encarga de crear un campo magnético y el inducido que es quien recibe el efecto magnético del inductor para generar el movimiento.

2. **Motores a Pasos**. En este tipo de motor la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de imanes en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor gira un determinado número discreto de grados.

2.1.11 Sistemas de Transmisión y Reducción

Las transmisiones son elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Se encuentran incluidos a éstas, a los reductores que se encargan de adaptar el par a la velocidad de salida del actuador a los valores requeridos para el movimiento de los elementos del MicroRobot.

1. **Transmisiones**. Dado que un robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas, es de gran importancia reducir al máximo su momento de inercia. Del mismo modo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas del actuador. Es de esperar que un buen sistema de transmisión cumpla con una serie de características básicas: debe tener un tamaño y peso reducido, se ha de evitar que presente juegos u holguras considerables y se deben buscar transmisiones con gran rendimiento.

2. **Reducciones**. Al contrario de las transmisiones, sí existen determinados sistemas usados de manera preferente en los robots. Esto se debe a que a los reductores utilizados en robótica se les exige unas condiciones de funcionamiento muy restrictivas. La exigencia de éstas características viene motivada por las altas prestaciones que se le piden al robot en cuanto a precisión y velocidad de posicionamiento.

Los reductores, por motivo de diseño, tienen una velocidad máxima de entrada admisible, que como regla general aumenta a medida que disminuye su capacidad de transmitir par. También existe una limitación en cuanto al par de salida nominal permisible (T2) que depende del par de entrada (T1) y de la relación de transmisión a través de la ecuación:

$$T_2 = \eta T_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)$$

Donde:

η = Rendimiento que puede estar cerca del 100%

Relación de reducción de velocidades

ω1 = Velocidad de entrada
ω2 = Velocidad de salida

2.1.12 ANATOMÍA

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de potencia y control, por último elementos terminales. Se estudia primero la estructura mecánica, haciendo referencia a los distintos tipos de articulaciones posibles entre dos eslabones consecutivos y a las configuraciones de robots a que dan lugar.

Seguidamente, se analizan los sistemas de transmisión y reducción necesarios para transmitir a cada una de las articulaciones el movimiento generado por los actuadores. Posteriormente se estudian los sensores internos, necesarios para proporcionar al sistema que controla los movimientos del robot, información relativa a la localización del mismo.

Finalmente el estudio de los elementos terminales (pinzas, herramientas, dispositivos de sujeción, etc.), que situados generalmente en el extremo del robot, sirven para que éste pueda interactuar con el mundo exterior, realizando las tareas que le han sido asignadas.

2.1.13 Estructura mecánica de un robot

Mecánicamente, la estructura son elementos sometidos a la acción de dos fuerzas, esto es, elementos sobre los cuales actúan dos fuerzas iguales y opuestas que están dirigidas a lo largo del elemento, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen al robot. El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro ó una combinación de ambos.

2.1.14 Eslabón o cadena

Un eslabón es un cuerpo rígido que tiene dos o más pares o elementos de unión, por medio de los cuales se puede conectar a otros cuerpos con el fin de transmitir fuerza o movimiento. Por lo general, un eslabón es un miembro rígido que tiene en ambos extremos la posibilidad de conectarse a otros dos eslabones. Sin embargo, esto se puede extender a tres, cuatro o incluso más conexiones. Cuando se conectan varios eslabones por medio de pares, el sistema resultante es una cadena cinemática.

Si se conectan estos eslabones de manera que no sea posible ningún movimiento, se tiene una cadena trabada (estructura) Una cadena restringida es el resultado de conectar los eslabones en tal forma que no importa cuántos ciclos de movimiento se pase, el movimiento relativo siempre será el mismo entre los eslabones. También es posible conectar los eslabones de manera que se obtenga una cadena no restringida, lo que significa que el patrón de movimiento cambiará con el tiempo dependiendo de la cantidad de fricción que se tenga en las uniones. Si uno de los eslabones de una cadena restringida se transforma en un eslabón fijo, el resultado será un mecanismo.

2.1.15 Actuadores

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. De manera general, los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, entre las que se pueden considerar las siguientes:

- Potencia
- Control
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento
- Costo

2.1.16 Sensores

Para conseguir que un robot realice su tarea con la adecuada precisión, velocidad e inteligencia, es preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como el de su entorno. La información relacionada con su estado (fundamentalmente la posición de sus articulaciones) la consigue con los denominados sensores internos, mientras que la que se refiere a su entorno, se adquiere con los sensores externos. La información que la unidad de control del robot puede obtener sobre el estado de su estructura mecánica es fundamentalmente, la relativa a su posición y velocidad.

2.1.17 Elementos de sujeción

Los elementos de sujeción más comunes son las denominadas pinzas o garras. En el cálculo de la fuerza de agarre, debe considerarse no sólo el peso de la pieza a transportar, sino también su forma; el material de que está hecha, que afectará al valor de la fuerza de rozamiento con la superficie de los dedos de la pinza y las aceleraciones con que se pretende mover la pieza. Dada la importancia de conseguir la mayor superficie de contacto entre dedos de la pinza y la pieza, suele ser necesario el diseñar unos dedos a la medida de la pieza a manipular. Éstos se fijan a los elementos móviles que incorporarán las pinzas. En ocasiones, la tarea encomendada al robot precisa la manipulación de piezas de diferentes características, para cada una de las cuales es necesario el uso de un aprehensor diferente.

2.1.18 Herramientas terminales

En muchas aplicaciones el robot realiza operaciones que no consisten en manipular objetos, sino que implican el uso de una herramienta. En general, esta herramienta debe ser construida o adaptada de manera específica para el robot, pero dado que hay aplicaciones ampliamente robotizadas, se comercializan herramientas específicas para el uso de robots.

Normalmente, la herramienta (o la pinza en su caso) se fija rígidamente al extremo del robot aunque en ocasiones se le incorpora a éste de un dispositivo que, mediante cierto grado de flexibilidad permite la modificación de su posición ante la presencia de esfuerzos exteriores, facilitando así las tareas de contacto, como el ensamblado o el desbaste de material (pulido, desbardado, etc.)

2.2 MATERIALES

El diseño de ingeniería de un producto, componente o estructura ingenieril es una actividad difícil, compleja, multidisciplinaria, con final abierto y enfocada a la resolución de problemas. Los materiales metálicos no ferrosos son el aluminio y el titanio en forma de aleaciones. Su uso obedece a su poca densidad y a su excelente resistencia a la corrosión. Estas propiedades les permiten sustituir a los aceros en estructuras que requieren materiales de alto rendimiento.

Ambos metales se pueden endurecer en la medida suficiente por aleación y tratamiento térmico para producir resistencias específicas muy grandes y módulos específicos. Los plásticos y plásticos reforzados, los materiales compuestos (composites) son un grupo enteramente distinto de materiales, pero los más comunes entre ellos son los plásticos reforzados. Los términos plásticos, resinas y polímeros se toman como sinónimos. Sin embargo, hay algunas diferencias técnicas. Un polímero es un material puro, no adulterado, que habitualmente se considera como el producto macromolecular de cadena larga del proceso de polimerización. Sin embargo, los polímeros puros, al igual que los metales puros, rara vez se utilizan como tales. Cuando se agregan aditivos a los polímeros, las "aleaciones o mezclas" se designan técnicamente como plásticos o resinas.

2.2.1 Selección de materiales

La selección óptima debe tener por objetivo las propiedades óptimas y el costo mínimo global de los materiales, la facilidad de fabricación del componente o estructura y el uso de materiales favorables para el ambiente. El producto ha de elaborarse con ciertos materiales y es importante que la selección de materiales sea parte del procedimiento de decisión en cada etapa del diseño. La consideración simultánea de todos los factores pertinentes a un producto en la "etapa de diseño" se conoce como ingeniería integral, simultánea o concurrente y está motivada por la productividad y la competitividad económica global.

Por consiguiente, es importante decidir con suficiente anticipación acerca de los materiales que se utilizarán, porque ello puede afectar el resultado de los detalles del diseño. Si se tienen que utilizar dos materiales diferentes, es necesario saberlo antes de llegar a la etapa de diseño en detalle, a fin de incorporar a los dibujos las medidas adecuadas para contener la corrosión. Asimismo, es necesario tener en cuenta la diferencia entre sus coeficientes de expansión térmica respectivos.

La elección de un material debe iniciarse en la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales. Las restricciones en cuanto a temperatura y corrosión permiten identificar fácilmente una clase de materiales. Los diseños preliminares se pueden elaborar en base a la gama de propiedades que se publica en los manuales del fabricante.

a) Factores que intervienen en la selección de materiales

A partir de este punto se concentrará la atención en la selección de materiales durante el diseño. Los diversos factores relacionados entre sí que se tienen en cuenta en el proceso de selección aparte del índice de rendimiento o de eficiencia de un material es necesario tomarlo en cuenta de la siguiente manera:

- Factores físicos. El tamaño, la forma y el peso del material que se necesita, así como el espacio disponible para el componente.

- Factores mecánicos. La resistencia, el módulo de elasticidad, la tenacidad a la fractura, la resistencia a la fatiga, la termofluencia, etc.
- Proceso y maquinabilidad. Estos factores se relacionan con la capacidad para dar forma al material. Es común el uso de procesos de fundición y de conformación. Se producen habitualmente formas muy complicadas y puede ser necesario moldear por revestimiento las piezas fundidas y los objetos pequeños.
- Factores de duración de los componentes. La resistencia a la corrosión, a la oxidación y al desgaste, la termofluencia y las propiedades de fatiga o de fatiga por corrosión bajo cargas dinámicas.
- Costos y disponibilidad. La cantidad y la estandarización.
- Códigos, factores estatutarios y otros factores. Los códigos son conjuntos de requisitos técnicos que se imponen al material o al componente. Por lo regular, es el cliente quien los impone, o bien se basan en los de organizaciones técnicas como la ASME, la ASTM, la SAE u otras. Los factores estatutarios están relacionados con los reglamentos locales, estatales y federales referentes a los materiales y a los procedimientos que se utilizan o a la forma de hacerse de los materiales. Estos factores tienen que ver con los requisitos sanitarios, ambientales y de seguridad tales como la OSHA.

b) Rendimiento y eficiencia de los materiales

Uno de los factores que intervienen en la selección de un material con base en su perfil de propiedades es su índice de rendimiento o de eficiencia. De los materiales se espera cierto comportamiento con base en sus propiedades, por ejemplo, el módulo de elasticidad, la resistencia mecánica, la resistencia a la fatiga, la tenacidad a la fractura, la termofluencia, la corrosión, el costo y otras. Con mucha frecuencia, la mejor opción para un componente no se basa en propiedades específicas sino en una combinación de propiedades en un esfuerzo por reducir al mínimo el peso y el costo.

Un componente se proyecta para desempeñar funciones específicas (requisitos funcionales) con una geometría específica (requisitos geométricos) en cuanto a tamaño y forma en razón de restricciones de espacio. Su rendimiento no puede ser mejor que el de los materiales elegidos. Se puede definir el rendimiento de un material estructural como su eficiencia para desempeñar la función para la que fue proyectado.

En términos de cargas mecánicas, se puede definir esta eficiencia como el cociente de la carga que un material puede soportar entre la masa o peso del material para una geometría estructural definida; es decir,

$$Eficiencia = \frac{carga\ sobre\ el\ elemento\ estructural}{peso\ del\ material} = \frac{P}{m}$$

La carga P es la máxima que el material que puede soportar con base en el criterio de falla del material que se ha elegido y en la modalidad de carga.

2.2.2 Fallas de materiales y de componentes

La falla de un componente se debe, en realidad, a la falla del material del cual fue hecho y se han compilado las razones fundamentales por las cuales los materiales fallan, al cabo de muchos análisis de falla de piezas o componentes. Se ha visto que las fuentes de falla en los materiales y componentes se pueden clasificar en las siguientes:

- *Deficiencias de diseño*. La deficiencia de diseño que se observa con más frecuencia, y que se puede evitar fácilmente es la presencia de muescas que son fuente de concentraciones de importantes esfuerzos.

- *Deficiencias en la selección de materiales*. Se deben elegir los materiales en función de los posibles mecanismos de falla como son: los tipos de carga y de esfuerzos y las condiciones ambientales, como la temperatura y el ambiente de corrosión a las que es probable que los materiales estén expuestos.

- *Imperfecciones del material*. Las imperfecciones pueden surgir como resultado del tratamiento, fabricación o manejo del material y también durante el servicio. Estas imperfecciones pueden ser segregaciones de solutos o de impurezas, inclusiones, porosidad y huecos resultantes de las condiciones originales de fusión, colado y solidificación.

- *Deficiencias de fabricación y tratamiento*. La susceptibilidad a la falla también puede ser consecuencia de condiciones inadecuadas de tratamiento, de cambios realizados en las especificaciones sin una evaluación completa, de no seguir los procedimientos especificados y de errores del operador o daños accidentales.

- *Errores de montaje*. Las fallas en el servicio pueden ser consecuencia de errores de montaje no identificados durante la inspección por parte del fabricante o del comprador y que no impidieron la operación normal cuando los componentes ensamblados o el equipo se pusieron en servicio inicialmente.

Estos errores normalmente dan por resultado el acortamiento de la duración de las piezas móviles de los sistemas mecánicos o en sistemas eléctricos o componentes estructurales.

Ejemplos de errores:

1. El uso de la pieza equivocada en una aplicación específica
2. La aplicación incorrecta y no uniforme del momento de torsión

2.2.3 Selección de materiales no ferrosos

Los materiales No Ferrosos no contienen hierro. Estos incluyen el aluminio, cobre, cromo, níquel, magnesio, zinc, plomo y otros elementos metálicos. Las aleaciones el latón y el bronce, son una combinación de algunos de estos metales No Ferrosos y se les denomina Aleaciones No Ferrosas. La selección de una aleación determinada dependerá de los resultados de diferentes pruebas mecánicas, el volumen de producción, el costo de producción y las propiedades estéticas del producto.

La mayoría de los metales no ferrosos son más resistentes a la corrosión o a la humedad, pueden utilizarse en exteriores sin pinturas o recubrimientos. Sin embargo se debe tener especial cuidado con el manejo de los metales no ferrosos ya que cada uno responde de manera particular a los efectos de la naturaleza; por ejemplo el magnesio resiste muy bien la atmósfera ordinaria, pero se corroe rápidamente con el agua de mar.

2.3 Matemáticas

Para que el MicroRobot pueda realizar las tareas de manipulación es necesario que conozca la posición y orientación de los elementos a manipular con respecto a la base del MicroRobot. Estas herramientas tienen que ser los suficientemente potentes para permitir obtener de forma sencilla relaciones espaciales entre distintos objetos y en especial entre éstos y el manipulador.

2.3.1 Cinemática Directa

Parámetros de Denavit-Hartenberg. Éste método consiste en utilizar el álgebra matricial para describir y representar la geometría espacial de los elementos de un Robot.

Rotaciones de eslabones en Z_{12}

$$ROT\ Z_1Z_2\ (\psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi_1 & -\sin\psi_1 & 0 & 0 \\ \sin\psi_1 & \cos\psi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi_2 & -\sin\psi_2 & 0 & 0 \\ \sin\psi_2 & \cos\psi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\psi_1\cos\psi_2 - \sin\psi_1\sin\psi_2 & -\cos\psi_1\sin\psi_2 - \sin\psi_1\cos\psi_2 & 0 & 0 \\ \sin\psi_1\cos\psi_2 + \cos\psi_1\sin\psi_2 & -\sin\psi_1\sin\psi_2 + \cos\psi_1\cos\psi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ROT\ Z_{TOTAL} = \begin{bmatrix} \cos\psi_{12} & \sin\psi_{12} & 0 & 0 \\ \sin\psi_{12} & -\cos\psi_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Traslación en Z del soporte

$$T_Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Multiplicando la Rotación total en Z de los eslabones por una Traslación en Z del soporte

$$Matriz\ de\ Transformación\ de\ coordenadas = ROT_{TOTAL}(Z)\ T(Z)$$

$$= \begin{bmatrix} -\cos\psi_{12} & \sin\psi_{12} & 0 & 0 \\ \sin\psi_{12} & -\cos\psi_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Matriz\ de\ Transformación\ de\ coordenadas\ total = \begin{bmatrix} -\cos\psi_{12} & \sin\psi_{12} & 0 & 0 \\ \sin\psi_{12} & -\cos\psi_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cálculo del desplazamiento en dirección axial Z

Dado que nuestro MicroRobot utiliza un servomotor que acciona un tornillo sinfín para transformar el movimiento rotacional en una traslación axial en Z, utilizamos la siguiente relación para hallar el desplazamiento en Z:

Por número de vueltas del eje:

$$360^{o} = \frac{2\pi}{V} = \frac{P}{Z}$$

$$Z = \frac{V * P}{2\pi}$$

$$Z = V * 4mm\ [mm]$$

Donde:

V= Número de vueltas del tornillo sinfín

Z= Desplazamiento en el eje coordenado Z

P= Paso del tornillo= 4mm

1 giro= 360º= 2 π

Por ángulo de rotación expresado en grados

$$\alpha = \frac{360 \times Z}{p}$$

Donde:

α= Ángulo de rotación en grados

Por ángulo de rotación expresado en Radianes

$$\alpha = \frac{2\pi Z}{p}$$

Donde:

α= Ángulo de rotación en radianes

2.3.2 Cinemática inversa

El objetivo consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del MicroRobot para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

θ_i Representa el ángulo de la articulación i entre el eje X_{i-1} y X_i con respecto al eje Z_{i-1}.

d_i Representa la distancia de separación entre los orígenes del sistema i y el sistema i-1 a lo largo del eje Z_{i-1}.

α_i Representa el ángulo de separación del eje Z_{i-1} al eje Z_i respecto del eje X_i.

a_i Representa la distancia de separación entre los orígenes del sistema i y el sistema i-1 a lo largo del eje X_{i-1}.

Asignación del sistema de referencia a cada articulación

i	θ_i	d_i	α_i	a_i
1	0	d_1	0	0
2	θ_2	0	0	L_1
3	θ_3	0	0	L_2

Sustituyendo los valores de la tabla en la matriz generalizada de Denavit y Hartenberg para obtener la ecuación.

$$ {}^{0}A_1 \, {}^{1}A_2 \, {}^{2}A_3 = {}^{0}A_3 $$

Con esta ecuación se obtiene la cinemática directa mediante el uso de la matriz de transformación homogénea.

Para i =1

$$ A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

Para i = 2

$$ A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

Para i = 3

$$ A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & L_2\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & L_2\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

De las matrices anteriores se procede a realizar el producto entre ellas para determinar los movimientos que el MicroRobot realizará, los cuales son: traslación, y 2 movimientos rotacionales.

$$A_1 * A_2 = A_{0\text{-}2}$$

$$A_{0-2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Una vez obtenida la resultante de la matriz de $A_{0\text{-}2}$ (movimiento de traslación y una rotación), se procede a realizar el último producto de matrices donde se toma el valor de $A_{0\text{-}2} * A_3$, para obtener la matriz de $A_{0\text{-}3}$.

$$A_{0-3} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & L_2\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & L_2\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_2\cos\theta_3 - \sin\theta_2\sin\theta_3 & -\cos\theta_2\sin\theta_3 - \sin\theta_2\cos\theta_3 & 0 & L_2\cos\theta_2\cos\theta_3 - L_2\sin\theta_2\sin\theta_3 + L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2\cos\theta_3 + \cos\theta_2\sin\theta_3 & -\sin\theta_2\sin\theta_3 + \cos\theta_2\cos\theta_3 & 0 & L_2\sin\theta_2\cos\theta_3 + L_2\cos\theta_2\sin\theta_3 + L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Haciendo uso de las identidades trigonométricas la matriz resulta:

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_{23} & -\sin\theta_{23} & 0 & L_2\cos\theta_{23} + L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} & 0 & L_2\sin\theta_{23} + L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pero de la ecuación ${}^0A_1\ {}^1A_2\ {}^2A_3 = {}^0A_3$ es posible escribirla como ${}^0A_1\ {}^1A_2 = {}^0A_3\ {}^3A_2$ para obtener la cinemática inversa. Para ello es necesario encontrar el producto de las matrices de ${}^0A_3 * {}^3A_2$, mediante la regla de [n o a p], donde establece que:

$$\begin{bmatrix} R & P \\ 000 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} R^T & \begin{matrix} -n^T P \\ -o^T P \\ -a^T P \end{matrix} \\ 000 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

$-n^T P$ Es el producto del vector normal y el vector de posición

$$-n^T P = [\cos\theta_3 \quad \sin\theta_3 \quad 0]\begin{bmatrix} L_2\cos\theta_3 \\ L_2\sin\theta_3 \\ 0 \end{bmatrix} = -L_2\cos^2\theta_3 + L_2\sin^2\theta_3 = -L_2$$

$-o^T P$ Es el producto del vector de orientación y el vector de posición

$$-o^T P = [-\sin\theta_3 \quad \cos\theta_3 \quad 0]\begin{bmatrix} L_2\cos\theta_3 \\ L_2\sin\theta_3 \\ 0 \end{bmatrix} = -(L_2\sin\theta_3\cos\theta_3 + L_2\sin\theta_3\cos\theta_3) = 0$$

$-a^T P$ Es el producto del vector de aproximación y el vector de posición

$$-a^T P = [0 \quad 0 \quad 1]\begin{bmatrix} L_2\cos\theta_3 \\ L_2\sin\theta_3 \\ 0 \end{bmatrix} = 0$$

Igualando ${}^{0}A_1\ {}^{1}A_2 = {}^{0}A_3\ {}^{3}A_2$, se procede primero a realizar en producto de ${}^{0}A_3\ {}^{3}A_2$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta_{23} & -\sin\theta_{23} & 0 & L_2\cos\theta_{23} + L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} & 0 & L_2\sin\theta_{23} + L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & \sin\theta_3 & 0 & -L_2 \\ -\sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_{23}\cos\theta_3 + \sin\theta_{23}\sin\theta_3 & \cos\theta_{23}\sin\theta_3 - \sin\theta_{23}\cos\theta_3 & 0 & -L_2\cos\theta_{23} + L_2\cos\theta_{23} + L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_{23}\cos\theta_3 - \cos\theta_{23}\sin\theta_3 & \sin\theta_3\sin\theta_{23} + \cos\theta_{23}\cos\theta_3 & 0 & -L_2\sin\theta_{23} + L_2\sin\theta_{23} + L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Simplificando haciendo uso de las identidades trigonométricas resulta:

$$A_{0-3} * A_{3-2} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{23} & -\sin\theta_{23} & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ahora es posible igualar ${}^0A_1\ {}^1A_2 = {}^0A_3\ {}^3A_2$ de esta forma se calcula la cinemática inversa

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3.3 Dinámica

La dinámica se encarga de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina.

Esta relación se obtiene mediante el denominado modelo dinámico, que establece la relación matemática entre:

1. La localización del MicroRobot definida por sus variables articulares o por las coordenadas de localización de su extremo y sus derivadas: velocidad y aceleración.
2. Las fuerzas y pares aplicados en las articulaciones (o en el extremo del MicroRobot).
3. Los parámetros dimensionales del MicroRobot como longitud, masas e inercias de sus elementos.

Sin embargo, el modelo dinámico es imprescindible para conseguir los siguientes fines:

1. Simulación del movimiento del MicroRobot.
2. Diseño y evaluación de la estructura mecánica del MicroRobot.
3. Dimensionamiento de los actuadores.
4. Diseño y evaluación del control dinámico del MicroRobot.

$$\sum F = m * a$$

$$\sum T = I * \propto$$

$$X_1 = d_1 \cos q_1$$

$$\cos q_1 - \frac{X_1}{d_1}$$

$$Y_1 = d_1 \sin q_1$$

$$Z_1 = Z$$

Derivando respecto del tiempo

$$\dot{X}_1 = -d_1 (\sin q_1) \dot{q}_1$$

$$\dot{Y}_1 = d_1 (\cos q_1) \dot{q}_1$$

Velocidad de la masa m_1 por Pitágoras

$$v_1^2 = \dot{X}_1^2 + \dot{Y}_1^2 + \dot{Z}^2$$

Velocidad en Z es única para todo el sistema

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}$$

Sustituyendo

$$v_1^2 = \dot{X}_1^2 + \dot{Y}_1^2 + \dot{Z}_1^2 = [-d_1(\sin q_1)\dot{q}_1]^2 + [d_1(\cos q_1)\dot{q}_1]^2 + \dot{Z}_1^2$$

$$= d_1^2 \sin^2 q_1 \dot{q}_1^2 + d_1^2 \cos^2 q_1 \dot{q}_1^2 + \dot{Z}_1^2$$

$$= d_1^2 \dot{q}_1^2 (\sin^2 q_1 + \cos^2 q_1) + \dot{Z}_1^2 = d_1^2 \dot{q}_1^2$$

Resulta

$$v_1^2 = d_1^2 \dot{q}_1^2$$

Si calculamos v_2^2 de la masa m_2

$$v_2^2 = (l_2^2 + d_2^2 + 2l_1 d_2 \cos q_2)\, \dot{q}_1^2 + d_2^2 \dot{q}_2^2 + 2l_2 (l_1 \cos q_2 + d_2)\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

Cálculo de la energía cinética con v_1^2 y v_2^2

$$E_C = \frac{1}{2}(m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2) + \frac{1}{2}(m_1 + m_2 + m_3)\dot{Z}^2$$

Donde:

m_3= masa del soporte

Energía potencial

$$E_P = g(m_1 + m_2 + m_3)\ Z$$

Donde:

$$M = m_1 + m_2 + m_3$$

Lagrange $L(\dot{q}_1, \dot{q}_2, q_1, q_2, Z, \dot{Z}, t)$

$$L = E_C - E_P$$

$$L = \frac{1}{2}\ (m_1\ v_1{}^2 + m_2\ v_2{}^2) + \frac{1}{2}\ (M)\ \dot{Z}^2 - g\ M\ Z$$

Sustituyendo

$$L = \frac{1}{2}[m_1 d_1{}^2 \dot{q}_1{}^2 + m_2(l_1{}^2 + d_2{}^2 + 2l_1 d_2 \cos q_2)\dot{q}_1{}^2 + d_2{}^2 \dot{q}_2{}^2 + \cdots$$

$$\ldots + 2d_2(l_1\cos q_2 + d_2)\dot{q}_1\dot{q}_2] + \frac{1}{2}M\dot{Z}^2 - gMZ$$

Derivando ∂L respecto a $\partial \dot{q}_1$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{1}{2}[m_1 d_1{}^2 2\dot{q}_1 + m_2(l_1{}^2 + d_2{}^2 + 2l_1 d_2\cos q_2)2\dot{q}_1 + 2d_2(l_1\cos q_2 + d_2)\dot{q}_2]$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = m_1 d_1{}^2\dot{q}_1 + m_2(l_1{}^2 + d_2{}^2)\dot{q}_1 + 2m_2 l_1 d_2\cos q_2\,\dot{q}_1 + d_2 l_1\cos q_2\,\dot{q}_2 + d_2{}^2\dot{q}_2$$

Derivando respecto al tiempo $\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1}\right)$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1}\right) = \frac{1}{2}[m_1 d_1{}^2 2\ddot{q}_1 - m_2 2l_1 d_2\sin q_2\,\dot{q}_2 2\dot{q}_1 + m_2(l_1{}^2 + d_2{}^2 + 2l_1 d_2\cos q_2)2\ddot{q}_1$$

$$\ldots - 2d_2(l_1\sin q_2)\dot{q}_2\dot{q}_2 + 2d_2(l_1\cos q_2 + d_2)\ddot{q}_2]$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1}\right) = m_1 d_1{}^2\ddot{q}_1 + m_2(l_1{}^2 + d_2{}^2)\ddot{q}_1 - 2m_2 l_1 d_2\sin q_2\,\dot{q}_1\dot{q}_2 + 2m_2 l_1 d_2\cos q_2\,\ddot{q}_1$$

$$\ldots\ldots - d_2 l_1\sin q_2(\dot{q}_2{}^2) + d_2 l_1\cos q_2\,\ddot{q}_2 + d_2{}^2\ddot{q}_2$$

Derivando ∂L respecto a $\partial \dot{q}_2$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2} = \frac{1}{2}[2d_2{}^2\dot{q}_2 + 2d_2(l_1\cos q_2 + d_2)\dot{q}_1] = d_2{}^2\dot{q}_2 + d_2 l_1\cos q_2\,\dot{q}_1 + d_2{}^2\dot{q}_1$$

Derivando respecto al tiempo $\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2}\right)$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2}\right) = d_2^{\,2}\ddot{q}_2 - d_2 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2 + \left(d_2 l_1 \cos \dot{q}_2 + d_2^{\,2}\right)\ddot{q}_1$$

Derivando ∂L respecto a ∂q_1

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} = 0$$

Derivando ∂L respecto a ∂q_2

$$\frac{\partial L}{\partial q_2} = -l_1 d_2 \sin q_2\, \dot{q}_1^{\,2} - d_2 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

Derivando ∂L respecto a $\partial \dot{Z}$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{Z}} = M\dot{Z}$$

Derivando respecto al tiempo $\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{Z}}\right)$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{Z}}\right) = M\ddot{Z}$$

Derivando ∂L respecto a $\frac{\partial}{\partial Z}$

$$\frac{\partial L}{\partial Z} = -gM$$

Reemplazando en la expresión de Euler-LaGrange

$$\tau_1 = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_1}$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2}\left[m_1 d_1{}^2 2\ddot{q}_1 - m_2 2 l_1 d_2 \sin q_2\, \dot{q}_2 2\dot{q}_1 + m_2\left(l_1{}^2 + d_2{}^2 + 2 l_1 d_2 \cos q_2\right)2\ddot{q}_1\right.$$
$$\left.\ldots - 2d_2\left(l_1 \sin q_2\right)\dot{q}_2\dot{q}_2 + 2d_2\left(l_1 \cos q_2 + d_2\right)\ddot{q}_2\right] - 0$$

$$\tau_1 = \left(m_1 d_1{}^2 + m_2 l_1{}^2 + m_2 d_2{}^2 + 2m_2 l_1 d_2 \cos q_2\right)\ddot{q}_1 - 2m_2 l_1 d_2 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

$$\ldots - d_2 l_1 \sin q_2\, (\dot{q}_2)^2 + \left(d_2 l_1 \cos q_2 + d_2{}^2\right)\ddot{q}_2$$

$$\tau_2 = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_2}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_2}$$

$$\tau_2 = d_2{}^2\ddot{q}_2 - d_2\dot{q}_1 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_2 + d_2(l_1 \cos \dot{q}_2 + d_2)\ddot{q}_1 \ldots$$

$$\ldots - 2l_1 d_2 \sin q_2\, \dot{q}_1{}^2 - 2d_2 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

$$\tau_2 = d_2{}^2\ddot{q}_2 + (d_2 l_1 \cos q_2 + d_2{}^2)\ddot{q}_1 - d_2 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

$$\ldots + l_1 d_2 \sin q_2 \dot{q}_1{}^2 + d_2 l_1 \sin q_2\, \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

$$\tau_2 = d_2{}^2\ddot{q}_2 + (d_2 l_1 \cos q_2 + d_2{}^2)\ddot{q}_1 l_1 d_2 \sin q_2 \dot{q}_1{}^2$$

$$\tau_3 = \frac{d}{dt}\left(\frac{\delta L}{\delta \dot{Z}}\right) - \frac{\partial L}{\partial Z}$$

$$\tau_3 = M\ddot{Z} - gM$$

2.3.4 Momentos de Inercia

Los siguientes parámetros de diseño se obtuvieron con la ayuda del programa de diseño asistido por computadora CATIA, usando modelos tridimensionales de los componentes del MicroRobot con las propiedades de los materiales tomados de referencias técnicas.

1.- Base

Material Plástico

Características	**Centro de Gravedad**
Área 0.034m^2	G_X 50mm
Masa 0.352kg	G_Y -50.018mm
Volumen 2.931e-004m3	G_Z 14.862mm
Densidad 1200kg_m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 3.241e-004kgxm^2	$I_{OY}G$ 3.264e-004kgxm^2	$I_{OZ}G$ 5.975e-004kgxm^2
$I_{XY}G$ 0kgxm^2	$I_{XZ}G$ 0kgxm^2	$I_{YZ}G$ 2.097e-007kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 3.241e-004kgxm^2	M_2 3.264e-004kgxm^2	M_3 5.975e-004kgxm^2

2.- Tapa

Material Plástico

Características	Centro de Gravedad
Área 0.007m^2	G_X 25mm
Masa 0.028kg	G_Y -25mm
Densidad 1200kg_m3	G_Z 4.906mm
Volumen 2.348e-005m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 6.463e-006kgxm^2	$I_{OY}G$ 6.395e-006kgxm^2	$I_{OZ}G$ 1.239e-005kgxm^2
$I_{XY}G$ 3.388e-021kgxm^2	$I_{XZ}G$ -8.47e-022kgxm^2	$I_{YZ}G$ 8.47e-022kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 6.395e-006kgxm^2	M_2 6.463e-006kgxm^2	M_3 1.239e-005kgxm^2

3.- Soporte

Material Plástico

Características	Centro de Gravedad
Área 0.006m^2	G_X 25mm
Masa 0.015kg	G_Y -27.248mm
Densidad 1200kg_m^3	G_Z 2.5mm
Volumen 1.211e-005m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 3.97e-006kgxm^2	$I_{OY}G$ 3.375e-006kgxm^2	$I_{OZ}G$ 7.285e-006kgxm^2
$I_{XY}G$ 5.082e-021kgxm^2	$I_{XZ}G$ -2.118e-022kgxm^2	$I_{YZ}G$ 2.118e-022kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 3.375e-006kgxm^2	M_2 3.97e-006kgxm^2	M_3 7.285e-006kgxm^2

4.- Guías

Material Aluminio

Características	Centro de Gravedad
Área 0.002m^2	G_X 0mm
Masa 0.005kg	G_Y 0mm
Densidad 2710kg_m3	G_Z 50mm
Volumen 1.963e-006m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 4.443e-006kgxm^2	$I_{OY}G$ 4.443e-006kgxm^2	$I_{OZ}G$ 1.663e-008kgxm^2
$I_{XY}G$ 0kgxm^2	$I_{XZ}G$ 0kgxm^2	$I_{YZ}G$ 0kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 1.663e-008kgxm^2	M_2 4.443e-006kgxm^2	M_3 4.443e-006kgxm^2

5.- Eslabón Último

Material Aluminio

Características	Centro de Gravedad
Área 0.001m^2	G_X 18.856mm
Masa 0.007kg	G_Y -4mm
Densidad 2710kg_m^3	G_Z 3.98mm
Volumen 2.401e-006m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 6.991e-008kgxm^2	$I_{OY}G$ 8.166e-007kgxm^2	$I_{OZ}G$ 8.17e-007kgxm^2
$I_{XY}G$ -2.118e-022kgxm^2	$I_{XZ}G$ 1.423e-009kgxm^2	$I_{YZ}G$ 0kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 6.991e-008kgxm^2	M_2 8.166e-007kgxm^2	M_3 8.17e-007kgxm^2

6.- Eslabón penúltimo

Material Aluminio

Características	Centro de Gravedad
Área 4.194e-004m^2	G_X 21.315mm
Masa 0.004kg	G_Y -6mm
Densidad 2710kg_m3	G_Z 1.5mm
Volumen 1.258e-006m^3	

Inercia		
$I_{OX}G$ 5.378e-008kgxm^2	$I_{OY}G$ 7.697e-007kgxm^2	$I_{OZ}G$ 8.183e-007kgxm^2
$I_{XY}G$ 0kgxm^2	$I_{XZ}G$ -1.323e-023kgxm^2	$I_{YZ}G$ 6.617e-024kgxm^2

Momentos Principales		
M_1 5.378e-008kgxm^2	M_2 7.697e-007kgxm^2	M_3 8.183e-007kgxm^2

2.4 Procesos de Manufactura

Torno

Velocidad de corte

Se define como la velocidad lineal de la pieza que está en contacto con la herramienta.

$$V_c\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}}\right) = \frac{n\ (\mathrm{min}^{-1})\ \times\ \pi \times\ \mathrm{D_c}(\mathrm{mm})}{1000\left(\frac{mm}{m}\right)}$$

Donde:

V_C = Velocidad de corte

n = Velocidad de rotación de la herramienta

D_C = Diámetro de la pieza

Es importante considerar en el maquinado, el aumento o disminución de la velocidad de corte debido a que éstos son factores importantes para la fabricación de las piezas.

Velocidad de corte excesiva provoca:

- Desgaste rápido del filo de corte de la herramienta.
- Deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado.
- Calidad del mecanizado deficiente.

Velocidad de corte demasiado baja provoca:

- Formación de filo de aportación de la herramienta.
- Efecto negativo en la evacuación de la viruta.
- Baja productividad.
- Costo elevado del mecanizado.

Para determinar la velocidad de rotación de la pieza se obtiene de la fórmula de la velocidad de corte y queda como:

$$n\ (min^{-1}) = \frac{V_c\left(\frac{m}{min}\right) * 1000\left(\frac{mm}{m}\right)}{\pi * D_c(mm)}$$

Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte.

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la pieza.

$$F\ (\text{mm/minuto})\ =\ N\ (\text{rpm})\ \times F\ (\text{mm/revolución})$$

Debido a la importancia en el maquinado de una pieza, se deben de considerar:

Efectos de la velocidad de avance

- Decisiva para la formación de viruta.
- Afecta al consumo de potencia.
- Contribuye a la tensión mecánica y térmica.

Elevada velocidad de avance provoca:

- Buen control de viruta.
- Menor tiempo de corte.
- Menor desgaste de la herramienta.
- Riesgo más alto de rotura de la herramienta.
- Elevada rugosidad superficial del mecanizado.

Velocidad de avance bajo provoca:

- Viruta más larga.
- Mejora de la calidad del mecanizado.
- Desgaste acelerado de la herramienta.
- Mayor duración del tiempo de mecanizado.
- Mayor costo del mecanizado.

Tiempo de torneado

Es el tiempo que tarda la herramienta en realizar una pasada

$$T\ (\text{minutos}) = \frac{\text{Longitud de pasada (mm)}}{F\ (\text{mm/minuto})}$$

Fuerza de corte

La fuerza de corte es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de la herramienta, de la profundidad de pasada, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta. Todos estos factores se engloban en un coeficiente denominado K_x. La fuerza específica de corte se expresa en N/mm^2.

Kx es un coeficiente que representa el tipo y dureza del material a maquinar.

Potencia de corte

La potencia de corte Pc necesaria para efectuar un determinado mecanizado se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la máquina. Se expresa en kilowatts (kW).

Esta fuerza específica de corte Fc, es una constante que se determina por el tipo de material que se está mecanizando, geometría de la herramienta, espesor de viruta, etc.

Para poder obtener el valor de potencia correcto, el valor obtenido tiene que dividirse por un determinado valor (ρ) que tiene en cuenta la eficiencia de la máquina. Este valor es el porcentaje de la potencia del motor que está disponible en la herramienta puesta en el husillo.

$$P_c = \frac{A_c * p * f * F_c}{60 * 10^6 * \rho}$$

Donde:

Pc = es la potencia de corte (kW)

Ac = es el diámetro de la pieza (mm)

f = es la velocidad de avance (mm/min)

Fc = es la fuerza específica de corte (N/mm^2)

ρ = es el rendimiento o la eficiencia de el máquina

Factores que influyen en el torneado

Diseño y limitaciones de la pieza: tamaño, tolerancias del torneado, tendencia a vibraciones, sistemas de sujeción, acabado superficial, etc.

Operaciones de torneado a realizar: cilindrados exteriores o interiores, refrentados, ranurados, desbaste, acabados, optimización para realizar varias operaciones de forma simultánea, etc.

Estabilidad y condiciones de mecanizado: cortes intermitentes, voladizo de la pieza, forma y estado de la pieza, estado, potencia y accionamiento de la máquina, etc.

Disponibilidad y selección del tipo de torno: posibilidad de automatizar el mecanizado, poder realizar varias operaciones de forma simultánea, serie de piezas a mecanizar, calidad y cantidad del refrigerante, etc.

Material de la pieza: dureza, estado, resistencia, maquinabilidad, barra, fundición, forja, mecanizado en seco o con refrigerante, etc.
Disponibilidad de herramientas: calidad de las herramientas, sistema de sujeción de la herramienta, acceso al distribuidor de herramientas, servicio técnico de herramientas, asesoramiento técnico.

Aspectos económicos del mecanizado: optimización del mecanizado, duración de la herramienta, precio de la herramienta, precio del tiempo de mecanizado.

Aspectos especiales de las herramientas para mandrinar: se debe seleccionar el mayor diámetro de la barra posible y asegurarse una buena evacuación de la viruta. Seleccionar el menor voladizo posible de la barra. Seleccionar herramientas de la mayor tenacidad posible.

Fresadora

Velocidad de corte

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado.

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el husillo portaherramientas según la siguiente fórmula:

$$V_c\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}}\right] = \frac{n\ [\mathrm{min}^{-1}] \times \pi \times \mathrm{D_c}[\mathrm{mm}]}{1000\ [\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{m}}]}$$

V_C = Velocidad de corte

n = Velocidad de rotación de la herramienta

D_C = Diámetro de la herramienta

Velocidad de rotación de la herramienta

La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la herramienta.

$$n\ [\mathrm{min}^{-1}] = \frac{V_c\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}}\right] \times 1000\left[\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{m}}\right]}{\pi \times D_c[mm]}$$

Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado.

Cada fresa puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la herramienta, denominado avance por revolución (fz).

El avance por revolución (fn) es el producto del avance por diente por el número de dientes (z) de la herramienta.

$$f_n \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right] = f_z \left[\frac{\text{mm}}{\text{diente}}\right] \times z \left[\frac{\text{diente}}{\text{rev}}\right]$$

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la herramienta.

$$f \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right] = f_n \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right] \times n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] = f_z \left[\frac{\text{mm}}{\text{diente}}\right] \times z \left[\frac{\text{diente}}{\text{rev}}\right] \times n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right]$$

Profundidad de corte o de pasada

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta.

La anchura de corte (s), es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

Tiempo de mecanizado

Para poder calcular el tiempo de mecanizado en una fresadora hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la fresa de la pieza que se mecaniza. Esta longitud depende del tipo de fresado.

$$T_m\ [\text{min}] = \frac{\textit{Longitud de aproximación}\ [\text{mm}] + \textit{Longitud pieza}\ [\text{mm}]}{f\ [\text{mm/min}]}$$

Potencia de corte

La potencia de corte (Pc) necesaria para efectuar un determinado mecanizado habitualmente se expresa en kilowatts (kW) y se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la fresadora. Esta fuerza específica de corte (kc) es una constante que se determina en función del tipo de material que se está mecanizando, la geometría de la herramienta, el espesor de viruta, etc.

$$P_c\ [\mathrm{kW}] = \frac{A_c\ [\mathrm{mm}] \times p\ [\mathrm{mm}] \times f\ \left[\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{min}}\right] \times k_c\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2}\right]}{60\left[\frac{\mathrm{s}}{\mathrm{min}}\right] \times 10^3\left[\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{m}}\right] \times 10^3\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{kW}}\right] \times \rho} = \frac{A_c \times p \times f \times k_c}{60 \times 10^6 \times \rho}$$

Donde:

Pc = es la potencia de corte

Ac = es el ancho de corte

p = es la profundidad de pasada

f = es la velocidad de avance

kc = es la fuerza específica de corte

ρ = es el rendimiento de la máquina

Taladro

Velocidad de corte

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la broca u otra herramienta que se utilice en la taladradora (Escariador, macho de roscar, etc).

$$V_c\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}}\right) = \frac{n\ (\mathrm{min}^{-1}) \times \pi \times \mathrm{D_c}(\mathrm{mm})}{1000\left(\frac{mm}{m}\right)}$$

Donde

Vc = es la velocidad de corte

n = es la velocidad de rotación de la herramienta

Dc = es el diámetro de la herramienta.

Velocidad de rotación de la broca

La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la herramienta.

$$n\ (min^{-1}) = \frac{V_c\left(\frac{m}{min}\right) * 1000\left(\frac{mm}{m}\right)}{\pi * D_c(mm)}$$

Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el taladrado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte.

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la herramienta.

$$F\ (\text{mm/minuto})\ =\ N\ (\text{rpm})\ \times F\ (\text{mm/revón})$$

Tiempo de mecanizado

Para poder calcular el tiempo de mecanizado de un taladro hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la broca de la pieza que se mecaniza. La longitud de aproximación depende del diámetro de la broca.

$$T\,(\text{minutos}) = \frac{\text{Longitud de acercamiento (mm)} + \text{Longitud a taladrar (mm)}}{F\ (\text{mm/minuto})}$$

Potencia de corte

Esta fuerza específica de corte Fc, es una constante que se determina por el tipo de material que se está mecanizando, geometría de la herramienta, espesor de viruta, etc.

$$P_c = \frac{A_c * p * f * F_c}{60 * 10^6 * \rho}$$

Donde:

Pc = es la potencia de corte (kW)

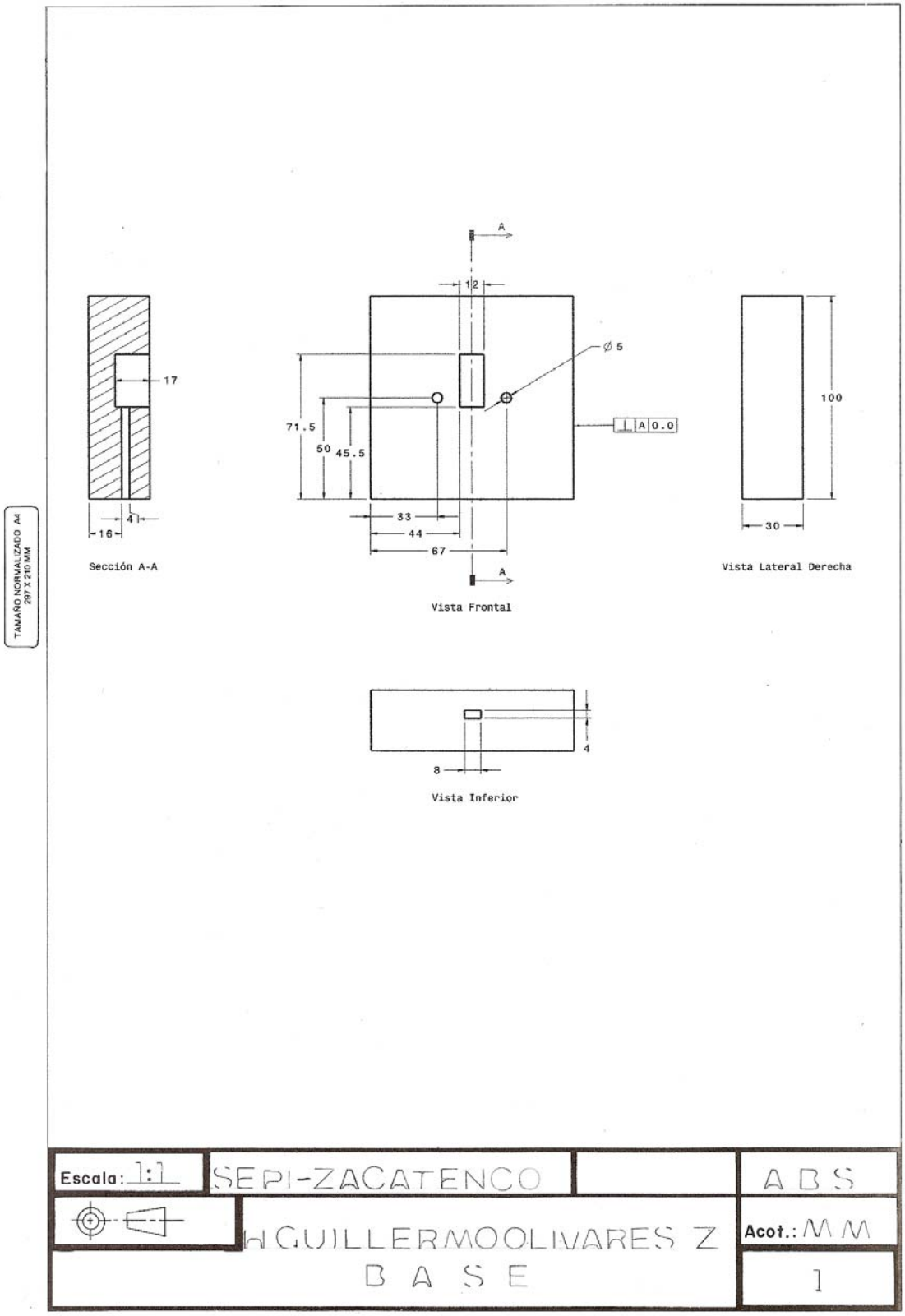
Ac = es el diámetro de la broca (mm)

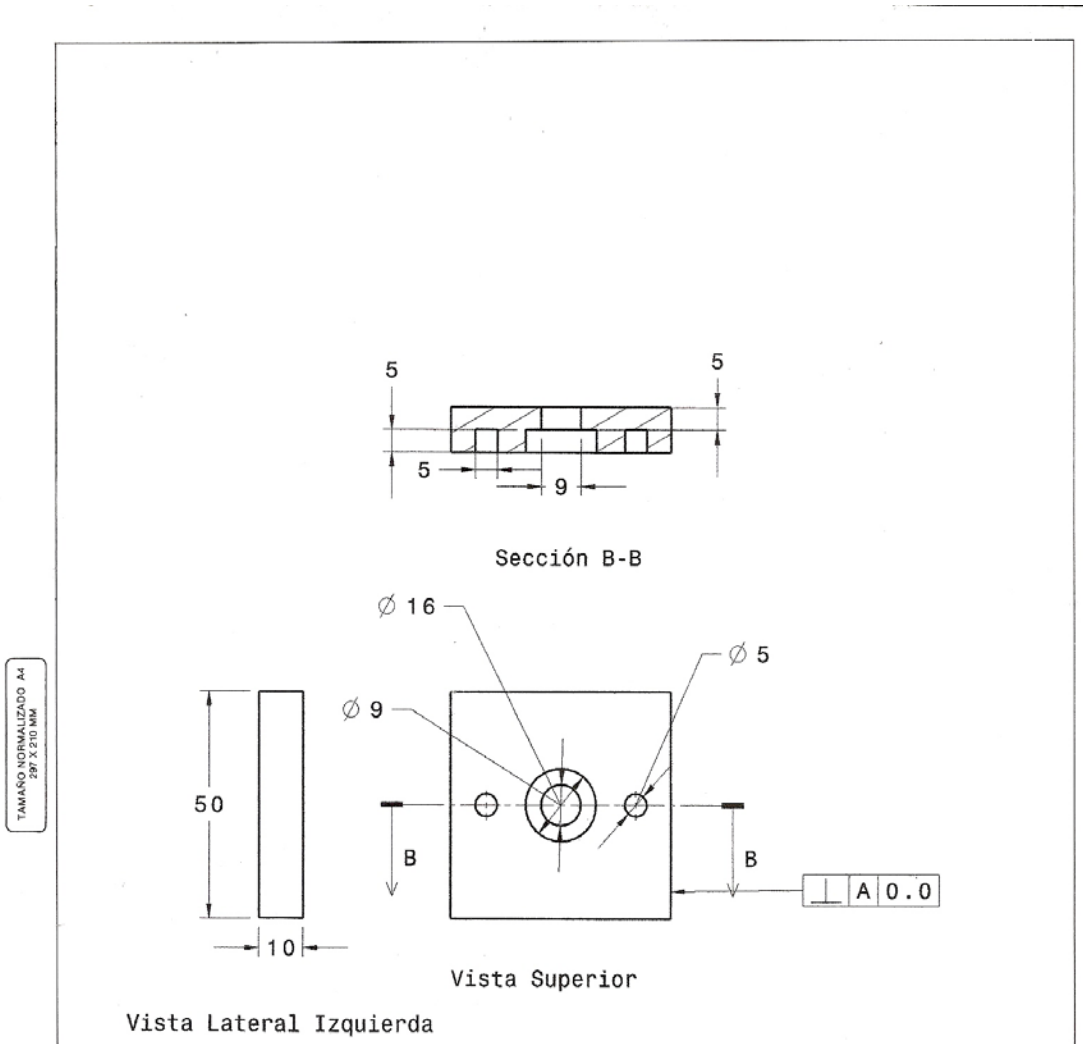
f = es la velocidad de avance (mm/min)

Fc = es la fuerza específica de corte (N/mm^2)

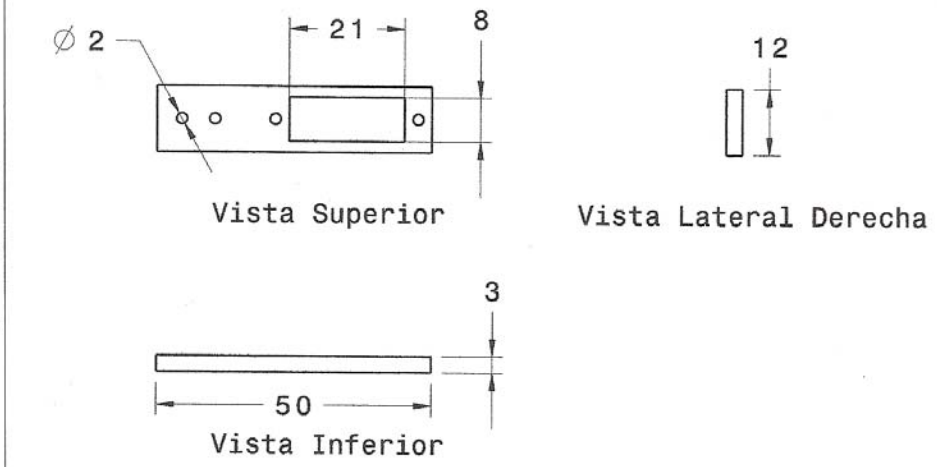
ρ = es el rendimiento o la eficiencia de la máquina

2.5 PLANOS DE FABRICACIÓN



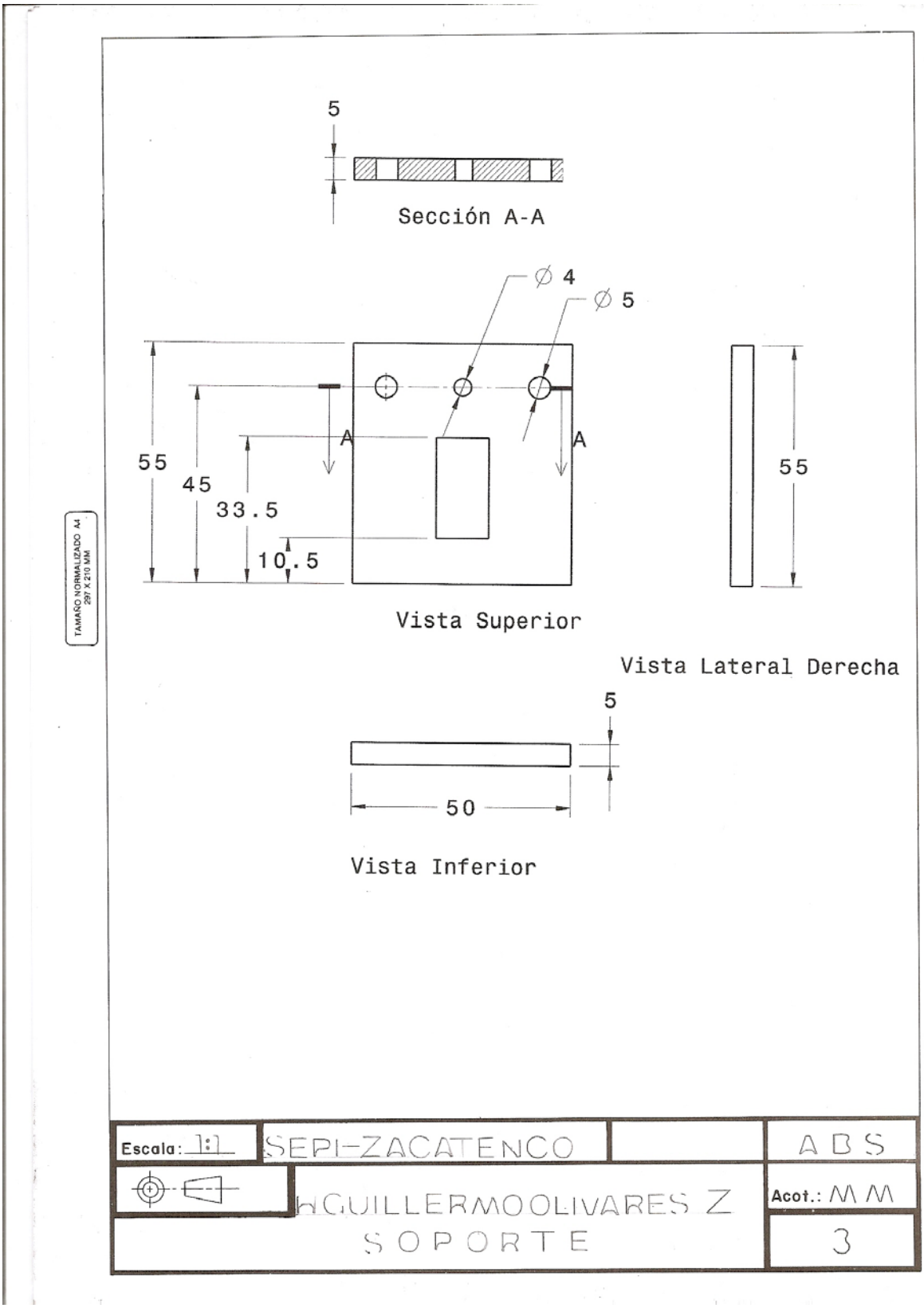


Escala: 1:1	SEPI-ZACATENCO		ABS
	GUILLERMO OLIVARES Z		Acot.: MM
	TAPA SUPERIOR		2

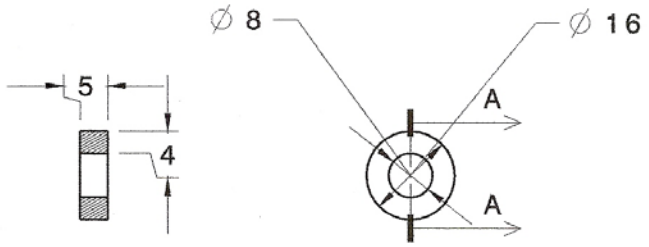


TAMAÑO NORMALIZADO A4
297 X 210 MM

Escala: 1:1	SEPI ZACATENCO		ALUMINIO
	H GUILLERMO OLIVARES Z		Acot.: M M
	E S L A B O N		6


5
Sección A-A
Ø 4
Ø 5
A
A
55
45
33.5
10.5
55
Vista Superior
Vista Lateral Derecha
5
50
Vista Inferior
TAMAÑO NORMALIZADO A4
297 X 210 MM
Escala: 1:1
SEPI-ZACATENCO
ABS
HGUILLERMOOLIVARES Z
Acot.: MM
SOPORTE
3

TAMAÑO NORMALIZADO A4
297 X 210 MM



Sección A-A Vista Frontal

Escala: 1:1	SEPI-ZACATENCO		ACERO
	H GUILLERMO OLIVARES Z		Acot.: MM
	RODAMIENTO		5

Referencias

[1] Mabie, Reinholtz, *Mecanismos y dinámica de maquinaria*, Noriega-Limusa, 2007

[2] Erdman. A., Sandor *Diseño de mecanismos: Análisis y Síntesis 3ª. Edición,* Pearson-Prentice Hall, 1998

[3] Barrientos, Antonio, Peñín, Luis Felipe, *Fundamentos de robótica 2ª. Edición*, McGraw Hill, 2007

[4] Seling, J. M., *Introductory Robotics*, Prentice Hall

[5] Mangonon, Pat L., *Ciencia de materiales: Selección y diseño*, Prentice Hall, 2001

[6] Carrioza, S., L. Gerardo, Rivera P., María Guadalupe, *Introducción a los mecanismos,* Instituto Politécnico Nacional, 2000

[7] *Manual CATIA V5r9*, CAD Tech Ibérica, S. A

[8] Dawes, L. Chester, *Tratado de Electricidad I*, G. Gili, 1986

[9] Quiroz, Gallegos Rubén, *Máquinas Eléctricas I*, Instituto Politécnico Nacional, 1994

[10] Beer, P. Ferdinand, Johnston Jr, E. Russell, *Mecánica Vectorial para Ingenieros*, McGraw Hill, 1998.

[11] Ruíz, M. Andrés, *Elementos para el Taller*, Alfaomega, 1998.

[12] L., Feirer Jhons, *Maquinado de Metales con Máquinas Herramientas Principios y Práctica*, Cecsa, 1997.

[13] Navarro, José Martín, *Técnicas de Mecanizado*, Paraninfo-Thomson, 2003

CAPÍTULO 3

CONTROL DEL MICRO-ROBOT

Introducción

El proceso mediante el cual un sistema se describe matemáticamente por una aplicación directa de leyes establecidas se conoce como modelado, y la elaboración de un modelo resulta necesaria para llevar a cabo el análisis o la síntesis de un sistema de control. Dentro de un sistema de control existen diferentes tipos de variables. Por un lado se tienen una o varias variables de entrada del sistema que expresan el comportamiento que se desea conseguir a la salida. Por otra parte están presentes una o varias variables de salida, también llamadas respuestas.

En el modelo cinemático y dinámico de un MicroRobot consiste en establecer las estrategias adecuadas de control para una mayor calidad de sus movimientos. ***El control cinemático*** establece cuáles son las trayectorias que debe seguir cada articulación del robot a lo largo del tiempo para alcanzar el objetivo que se le asignó, tomando en cuenta sus limitaciones ajustándose lo mejor posible a las especificaciones del movimiento dadas por el usuario. ***El control dinámico*** tiene por misión procurar que las trayectorias reales seguidas por el MicroRobot sean lo más parecidas posibles a las propuestas por el control cinemático. Para ello hace uso del conocimiento del modelo dinámico del robot y de las herramientas de análisis y diseño.

3.1 Sistema de control

Sistema o subsistema que está constituido por un conjunto de componentes que regulan el comportamiento de un sistema (o de sí mismos) para lograr un objetivo, cualquier sistema (organizaciones, seres vivos o máquinas). Las características del control del MicroRobot hacen referencia entre otros aspectos a sus posibilidades cinemáticas (tipo de trayectorias) y dinámicas (prestaciones dinámicas del MicroRobot), a su modo y capacidades de programación, a sus capacidades de comunicación (entradas-salidas digitales, comunicaciones de datos de acuerdo a estándares como RS232, TCPIP, etc.) y sensores disponibles, capacidad de almacenamiento, etc.

En cuanto a las posibilidades cinemáticas es muy importante tener en cuenta la aplicación a realizar. Para muchas aplicaciones (por ejemplo Pick and Place), es suficiente con un control del movimiento punto a punto (PTP) en el que sólo es relevante el punto final a alcanzar por el robot y no el camino seguido.

En otras, por el contrario, la trayectoria continua (CP) descrita por el extremo del robot es fundamental (soldadura por arco) o movimiento con obstáculos. Casi todos los robots incorporan la posibilidad de realizar trayectorias continuas en forma de línea recta o interpolación circular. Estas posibilidades vienen normalmente indicadas en las especificaciones técnicas del robot.

Un primer dato relativo al control dinámico de un robot es el que indica si éste se efectúa en cadena abierta o cerrada. En el control cinemático no es frecuente si bien se emplea cuando no se prevén grandes inercias. Su implementación se realiza, normalmente, con motores a pasos y en aplicaciones industriales se usan servomotores simplificando notablemente la complejidad de los algoritmos de control.

Las características del control dinámico del MicroRobot, como velocidad de respuesta y estabilidad, son importantes cuando éste debe manejar grandes pesos con movimientos rápidos. En estos casos, un buen control dinámico asegura que el extremo del MicroRobot no presente oscilaciones ni errores de posicionamiento. El sobre pasar el punto de destino (overshoot) por una elevada inercia, puede originar colisiones de graves consecuencias, saturación de actuadores y sobre calentamiento de motores.

Como regla general, el control puede ser dividido de la siguiente forma:

- Familiarización con el sistema físico, bajo algunas restricciones
- Modelo
- Especificaciones de control

La secuencia que se desarrolla más allá de éstos estados, se debe enfatizar específicamente en la aplicación del control del MicroRobot. Durante las especificaciones de control, se procede a dictar sus características deseadas a través de los objetivos de control, como:

- Estabilidad
- Regulación (posición y control)
- Trayectoria (movimiento de control)
- Optimización

3.2 PRECISIÓN EN EL CONTROL

Los sistemas de control han desempeñado, durante los últimos años, un papel de creciente importancia en el desarrollo de la civilización y tecnologías modernas. Existen dos formas básicas de sistemas de control, una es la denominada en lazo abierto y la otra en lazo cerrado. La precisión en el sistema de control dependerá en gran medida a la resolución de los elementos o dispositivos con que se cuenten para realizar las acciones necesarias para reducir el error, a los algoritmos de control y al mecanismo del propio MicroRobot.

3.2.1 Sistemas de mando en Lazo abierto

No todos los tipos de sistemas de mando pueden gobernar satisfactoriamente a la variable de salida. El sistema de mando más sencillo y económico es el de lazo abierto. El ajuste del mando de un sistema en cadena abierta depende del criterio y de un modelo matemático. Con un sistema en lazo abierto la entrada se elige con base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el valor de salida requerido. Esta salida, sin embargo, no se ve modificada por el cambio en las condiciones de operación externas. Los sistemas de control que operan mediante mecanismos de temporización preestablecidos son sistemas en lazo abierto. Los sistemas en lazo abierto tienen la ventaja de ser bastante sencillos y en consecuencia de bajo costo, y con buena confiabilidad. Sin embargo, con frecuencia son inexactos, porque no hay corrección de errores.

3.2.2 Elementos básicos de un sistema en lazo abierto

Se puede considerar un sistema en lazo abierto como un conjunto de subsistemas básicos arreglados. Estos elementos de lazo abierto pueden ser equipos separados, pero todas las funciones que cumple cada subsistema se deben preservar. La entrada global al sistema es una señal, que, basada en experiencias anteriores, es probable que conduzca a la salida requerida. Los subsistemas son:

- Elementos de control. Este elemento determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.

- Elemento de corrección. Este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.

- Proceso. Es el sistema en el que se va a controlar la variable.

Los primeros dos subsistemas a menudo se unen para formar un elemento denominado controlador.

3.2.3 Sistemas de mando en lazo cerrado (Servosistemas)

Para aumentar la precisión de un sistema de control en cadena abierta debe establecerse un enlace entre las señales de entrada y de salida. Por medio de este enlace, denominado comúnmente “realimentación”, la señal de salida se introduce en el sistema después de compararse con la señal de entrada. La señal resultante de la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida debe actuar sobre el sistema a gobernar con el fin de corregir el error. Un sistema con una realimentación se denomina sistema en cadena cerrada o servosistema.

Con un sistema de control en lazo cerrado se tiene una señal de realimentación de la entrada hacia la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada desde la salida. En un sistema de control en lazo cerrado la salida sí tiene un efecto sobre la señal de entrada y la modifica para mantener una señal de salida en el valor requerido.

Los sistemas en lazo cerrado tienen la ventaja de ser capaces de igualar los valores reales a los requeridos. No obstante, si existen retrasos en el sistema pueden surgir problemas. Dichos retrasos propician que la acción correctiva requerida llegue demasiado tarde, y como consecuencia, se obtienen oscilaciones en la entrada e inestabilidad.

3.2.4 Elementos básicos de un sistema de lazo cerrado

Se puede considerar que un sistema en lazo cerrado consiste en algunos subsistemas que estarán presentes en la entrada global del sistema de control como es el valor requerido de la variable y la salida que es el valor real de la variable.

- Elemento de comparación. Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.

- Elemento de control. Este elemento decide qué acción tomar cuando se recibe una señal de error. A menudo se utiliza el término controlador para un elemento que incorpora el elemento de control y la unidad de corrección.

- Elemento de corrección. Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error, y con frecuencia se denomina actuador.

- Elemento proceso. El proceso o planta, es el sistema donde se va a controlar la variable.

- Elemento de medición. Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no-error.

3.2.5 Estrategias de control

El objetivo de los modelos es el establecer las adecuadas estrategias de control del MicroRobot para que se realicen con mayor calidad sus movimientos.

a) Posición

b) Orientación

El elemento de control tiene como entrada la señal de error y como salida una señal que se convierte en la entrada a la unidad de corrección de modo que se pueda iniciar la acción para eliminar el error. Existen algunas formas para que el elemento de control reaccione ante una señal de error.

Para sistemas de control en lazo cerrado los tipos de control son:

a) El control de dos posiciones

b) El control proporcional o el control proporcional combinado con algún otro refinamiento.

Con el modo de control de dos posiciones, la señal de error de entrada al elemento de control es una salida de encendido o de apagado, que se utiliza para encender o apagar al elemento de corrección. En el control proporcional la salida del elemento de control es una señal, la cual es proporcional al error: cuanto mayor sea el error mayor será la salida. Esto significa que el elemento de corrección recibirá una señal que depende de la magnitud de la corrección que se necesite.

Debido a que el control proporcional por sí solo puede presentar algunos problemas, con frecuencia se combina con otras formas de control. Existe el control derivativo, donde la salida es proporcional a la razón de cambio de la señal de error, y el control integral, donde la salida en el tiempo es proporcional a la integral de la señal de error.

3.3 MODELO DE CONTROL

a) Modelos matemáticos para sistemas

Con la finalidad de entender el comportamiento de los sistemas es necesario modelar matemáticamente las características del sistema de control a realizar.
Un modelo matemático de un sistema es una réplica de las relaciones entre la (s) entrada (s) y salida (s).

b) Perturbación y sus efectos

La perturbación se puede interpretar como una señal no deseada, la cual afecta la salida del sistema. Una consideración importante con un sistema de control es el efecto de cualquier perturbación. Una ventaja es el aminorar los efectos de las perturbaciones en el sistema. Las perturbaciones pueden venir de fuentes exógenas o endógenas. Esta propiedad de modificar el efecto de una perturbación se denomina rechazo a perturbaciones.

Una perturbación inicial puede producir una situación inestable. La inestabilidad depende de la función de transferencia de la trayectoria directa, puesto que un valor grande para ésta resultaría en un gran movimiento durante el tiempo de retardo.

Modelo de Control de los motores de CD

La relación entre el par desarrollado, el flujo Φ, y la corriente i_a es:

$$T_m = k_m \phi i_a \quad (1)$$

Donde T_m → Es el par del motor

ϕ → Es el flujo magnético

i_a → Es la corriente en la armadura

k_m → Es la constante de proporcionalidad

Además del par desarrollado, cuando el conductor se mueve en el campo magnético, se genera un voltaje entre sus terminales. Este voltaje es conocido como ***fuerza contraelectromotriz***, la cual es proporcional a la velocidad del eje, tiende a oponerse al flujo de corriente.

La relación entre la fuerza contraelectromotriz y la velocidad del eje es:

$$v_b = k_m \phi \omega_m \qquad (2)$$

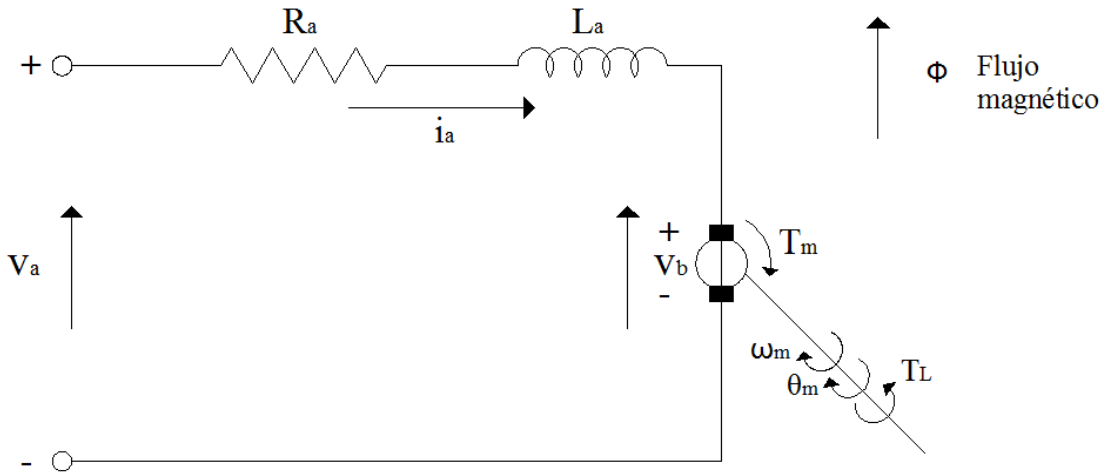
Donde

v_b → Denota a la fuerza contraelectromotriz

ω_m → Es la velocidad angular del eje del motor

Modelo Matemático

En un motor de CD de imán permanente, la armadura está modelada como un circuito con resistencia R_a conectada en serie a una inductancia L_a, y una fuente de voltaje v_b que representa la fuerza contraelectromotríz en la armadura cuando el rotor gira.



Rotor (Circuito de la armadura)

El control del motor de CD se aplica a las terminales de la armadura en la forma del voltaje aplicado $v_a(t)$. Para un análisis lineal, se supone que el par desarrollo por el motor es proporcional al flujo en el entre hierro y a la corriente de la armadura. Por tanto:

$$T_m(t) = K_m(t)\phi i_a(t) \qquad (3)$$

Ya que el flujo magnético ϕ es constante, entonces las ecuaciones (1) y (3) se escriben como:

$$T_m(t) = k_t i_a(t)$$

$$T_m(t) = k_t i_a(t) \qquad (4)$$

$$v_b(t) = k_b \omega_m(t) \qquad (5)$$

Donde

k_t → Es la constante del par

Para un circuito eléctrico RLC en serie se puede representar por la ecuación diferencial:

$$Rt(t) + L\frac{dt(t)}{dt} + \frac{1}{C}\int t(t)dt = v(t)$$

Para el caso del circuito de la armadura, se tiene:

$$R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} = v_a(t) - v_b(t)$$

Pasándola al dominio de la frecuencia, se tiene:

$$R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) = V_a(s) - V_b(s)$$

$$\frac{I_a(s)}{V_a(s) - V_b(s)} = \frac{1}{(L_a s + R_a)} \qquad (6)$$

De la ecuación (4) se obtiene

$$T_m(s) = k_t I_a(s)$$

$$\frac{T_m(s)}{I_a(s)} = k_t \qquad (7)$$

La ecuación de movimiento del motor, puede ser obtenida aplicando la segunda ley de Newton

$$J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} = T_m(t) - T_L(t) - b_m \omega_m(t)$$

Donde

J_m → Es el momento de inercia del rotor

b_m → Es el coeficiente de fricción viscosa

T_L → Es el par de carga

Pasándola al dominio de la frecuencia, se tiene:

$$J_m s \Omega_m(s) = T_m(s) - T_L(s) - b_m \Omega_m(s)$$

$$\frac{\Omega_m(s)}{T_m(s) - T_L(s)} = \frac{1}{(J_m s + b_m)} \qquad (8)$$

De la ecuación (5) se obtiene

$$V_b(s) = k_b \Omega_m(s)$$

$$\frac{V_b(s)}{\Omega_m(s)} = k_b \qquad (9)$$

Para obtener la ecuación que relaciona el desplazamiento angular con la aceleración angular, se tiene que:

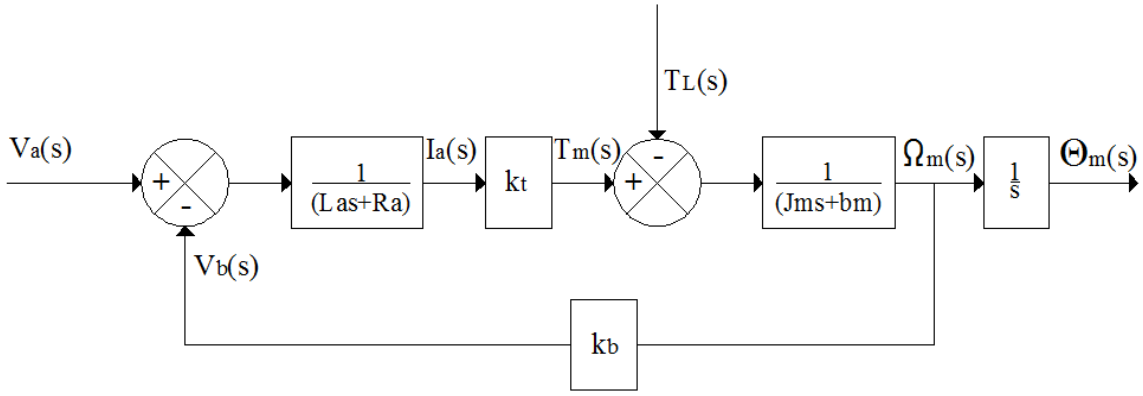
$$\omega_m(t) = \frac{d\theta_m(t)}{dt}$$

Pasándola al dominio de la frecuencia, se tiene:

$$\Omega_m(s) = s\Theta_m(s)$$

$$\frac{\Theta_m(s)}{\Omega_m(s)} = \frac{1}{s} \qquad (10)$$

El diagrama de bloques del sistema de control de un motor de CD resulta:



La función de transferencia total del sistema haciendo $T_L = 0$ es

$$\frac{\Theta_m(s)}{V_a(s)} = \frac{k_t}{J_m L_a s^3 + (J_m R_a + b_m L_m)s^2 + (k_b k_t + b_m R_a)s}$$

3.4 DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Al hablar de Microcontroladores se está refiriendo a que este dispositivo es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de una computadora. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos.

PIC16F877A

En este prototipo se decidió utilizarlo debido a los principales recursos con que cuenta.

1. Procesador de arquitectura RISC avanzada
2. Juego de 35 instrucciones con 14 bits de longitud, todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos ciclos.
3. Frecuencia de 20 MHz
4. Hasta 8 k palabras de 14 bits para la memoria de código tipo FLASH
5. Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM
6. Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
7. Encapsulados compatibles con los PIC 16C73/74/76/77
8. Hasta 14 fuentes de interrupción externas e internas
9. Pila con 8 niveles
10. Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo
11. Perro guardián (WDT)
12. Código de protección programable
13. Modo SLEEP de bajo consumo
14. Programación serie en circuito con dos patitas
15. Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5 V
16. Bajo consumo (menos de 2 mA a 5V y 5 MHz)

Dispositivos periféricos

1. Timer0: temporizador contador de 8 bits con predivisior de 8 bits
2. Timer1: temporizador contador de 16 bits con predivisor
3. Timer2: temporizador contador de 8 bits con predivisor y postdivisor
4. Dos módulos de Captura-Comparación-PWM

5. Conversor A/D de 10 bits

6. Puerto serie síncrono (SSP) con SPI e I2C

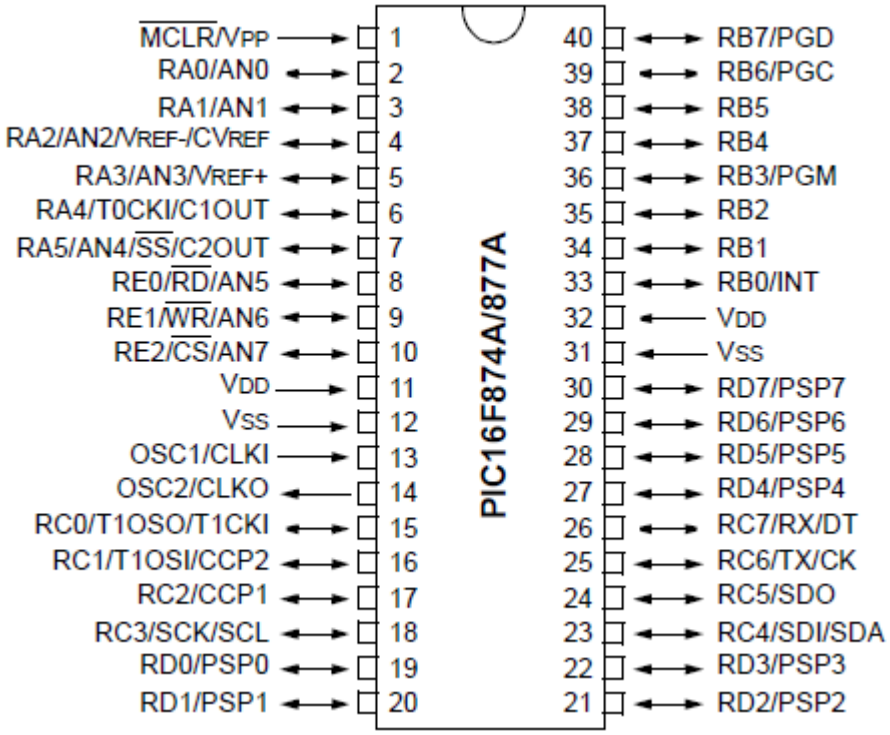


Figura 3.4. MicroControlador PIC16F877A

Circuito integrado L293B

El funcionamiento de un motor se basa en la interacción entre el campo magnético del imán permanente y el generado por las bobinas, estos polos pueden ser invertidos fácilmente con sólo cambiar la polaridad de la bobina, por otro lado el núcleo de las bobinas las convierte en un electroimán ya sea una atracción o una repulsión hacen que el eje del motor comience en su movimiento cargas opuestas o polos opuestos que se atraen y cargas del mismo signo o polos del mismo signo se repelen, esto hace que el eje del motor gire produciendo un determinado torque. El torque es simplemente la fuerza de giro, por nombrarlo de alguna forma la potencia del motor, la cual depende de varios factores, como la cantidad de corriente, el espesor del alambre de cobre, la cantidad de vueltas del bobinado, la tensión etc.

Existen varias formas de lograr que estos motores inviertan su sentido de giro una es utilizando una fuente simétrica o dos fuentes de alimentación con un interruptor simple de dos contactos y otra es utilizar una fuente común con un interruptor doble es decir uno de 4 contactos, en todos los casos es bueno conectar también un capacitor en paralelo entre los bornes del motor, éste sirve para amortiguar la inducción que generan las bobinas internas del motor.

Estos circuitos con conocidos como puente en H o H-Bridge es la base del funcionamiento de los Drivers para motores.

Se trata de un Driver para motores de 4 canales las ventajas que tiene:

1. Cada canal es capaz de entregar hasta 1A de corriente.

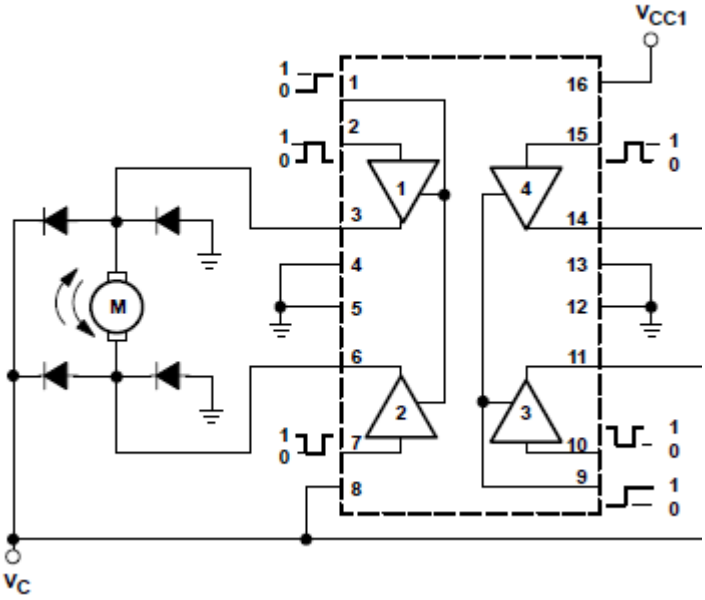
2. Posee una entrada de alimentación independiente para los 4 Drivers, es decir la que requieren los motores.

3. El control de los Drivers es compatible con voltajes lógicos (5 voltios).

4. Cada uno de los 4 Drivers puede ser activado de forma independiente (en su terminal de entrada), o habilitado de dos en dos con una sola terminal (Enable).

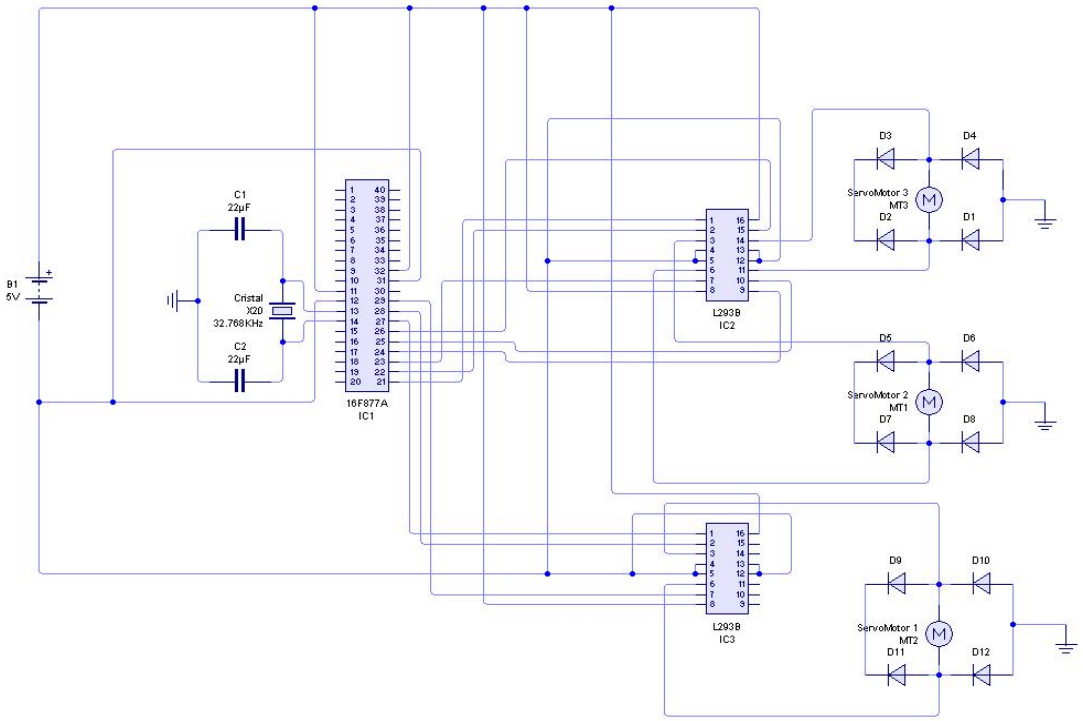
Funcionamiento

+Vcc es la terminal de alimentación del integrado compatible con la señal de control A y B, es decir, 5V, Vs tiene los niveles de tensión requeridos por el motor (Motores-CC 15, 20, hasta 36v). Los diodos D1 y D2 sirven para proteger al integrado de las tensiones generadas por la inducción de las bobinas del motor.



Circuito L293B para control bidireccional de motores

Diagrama de conexión del Circuito



Referencias

[1] Barrientos, Antonio, Peñín, Luis Felipe, Balaguer, Carlos, Aracil, Rafael, *Fundamentos de Robótica 2ª Edición*, Mc Graw Hill, 2007.

[2] Bolton, W., *Ingeniería de control 2ª Edición*, Alfaomega, 2005

[3] Kuo, Benjamín, Sistemas automáticos de Control 2ª Edición, C. E. C. S. A., 1974

[4] Kelly, R., Santibáñez, V., Loría, A., *Control of Robot Manipulators in Joint Space*, Springer.

[5] ECG NTE Electronics, INC., *Semiconductors 11 Edition Technical Guide*, NTE Electronics, INC., 2003

[6] Angulo, U., José María, *Microcontroladores PIC 3a Edición 1ª parte*, McGraw Hill, 2003

[7] Angulo, U., José María, *Microcontroladores PIC 3a Edición 2ª parte*, McGraw Hill, 2003

CAPÍTULO 4

PROGRAMACIÓN DEL MICROROBOT

Introducción

En la programación es importante conocer las variables que rigen el comportamiento del sistema en estudio para poder generar el programa que va a dirigir el elemento físico, se toman en consideración algunos aspectos importantes para poder optimizar el resultado del proyecto. Dichos aspectos se refieren al lenguaje del cual se hará uso para establecer una comunicación directa con un ordenador y el dispositivo a controlar, que pueda interpretar las órdenes de la persona, apoyándose de gráficos creados por el usuario para verificar la ejecución correcta de la tarea.

4.1 DISEÑO DE LA INTERFACE DE USUARIO

El diseño de la interface de usuario es un subconjunto del campo de estudio llamado interacción hombre-máquina, esta se refiere al estudio, planeación y diseño de cómo la gente y las computadoras trabajarán juntos para que se realicen las necesidades de la forma más eficiente tomando en cuenta algunos factores como son:

1. Lo que la gente quiere y espera.
2. Las limitaciones físicas y las habilidades que poseen las personas, por ejemplo: su percepción y la información del procesamiento del sistema de trabajo.
3. Lo que la gente encuentra agradable y atractivo.
4. Las características técnicas, las limitaciones del hardware y software también deben ser consideradas.

La interface de usuario es la parte de una computadora en la cual el software puede ser apreciado en sus diferentes aplicaciones. Básicamente la interfase está compuesta por 2 elementos: entrada y salida. Por medio de la entrada, la persona comunica sus necesidades o deseos a la computadora y la salida es la forma en la que la computadora transmite los resultados de sus cálculos así como las necesidades del usuario. La mejor interfaz es aquella que permite al usuario centrarse en la información y la ejecución de la tarea, mas no en los medios utilizados para presentar la información y llevar a cabo dicha tarea.

4.2 DISEÑO DE LA INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA

El uso de la palabra "interfaz" tiene connotaciones de una transferencia de algo entre sitios. En general, la transmisión de información es la preocupación con el circuito de transmisión. La filosofía que manejaba fácilmente el usuario para adaptarse a través de la práctica y la experiencia en un lugar de trabajo mal diseñado era cambiar el diseño o incluso introducir mejores principios de diseño. La ergonomía puede contrarrestar esta actitud señalando que el humano se adapta y es falible.

Se pierde la percepción y se ve afectada por la fatiga, el estrés y otros factores (por ejemplo, calor y ruido), ambos pueden trabajar con rapidez o se puede trabajar con cuidado, pero los dos en combinación requieren de un compromiso. Más concretamente, en términos de la interfaz, el objetivo debe ser la presentación de la información, y la prestación de los controles que son fáciles de encontrar y operar.

4.3 DISEÑO DE LA INTERFACE MÁQUINA-MÁQUINA

El diseño de la interface máquina-máquina es aquel en el cual la máquina o herramienta interactúan con otra máquina o herramienta. La unión mecánica incluye la interacción permanente o temporal, la función física, la transferencia de calor directo o la transferencia de datos. La interfaz Máquina-Máquina también puede significar la familia de sensores, software y aplicaciones que ayudan a mejorar la eficiencia y la calidad mediante la vinculación en conjunto de una multitud de sensores con aplicaciones críticas.

La interfaz Máquina-Máquina enlaza la información, la comunicación y la comunicación inteligente mediante dispositivos habilitados para que puedan interactuar con los sistemas de información de organizaciones o empresas sin intervención humana. Los dispositivos por lo general actúan como una interfaz con el usuario final, para una definición más amplia de comunicación Máquina-Máquina incluye el control remoto de máquinas (telemática), la supervisión y recolección de datos de máquinas (telemetría)

Recientemente, desde una perspectiva móvil, la comunicación Máquina-Máquina se define como la comunicación entre una máquina y una terminal móvil (máquina-móvil y móvil-máquina) o entre una máquina y un sistema de información final (máquina-máquina)

4.4 PROGRAMA DE LA PANTALLA DE CONTROL EN VISUAL BASIC

Visual Basic es uno de los lenguajes de programación más usados debido a la facilidad con que se desarrollan aplicaciones complejas. Es un lenguaje de programación visual basado en objetos, éste programa utiliza objetos con propiedades y métodos. Visual Basic está orientado a la realización de programas para Windows e incorpora todos los elementos de este entorno informático: ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.

La aplicación Visual Basic puede trabajar de dos formas diferentes:

Modo de diseño: El usuario construye interactivamente la aplicación, colocando controles en el formulario, definiendo sus propiedades y desarrollando funciones para gestionar los eventos.

Modo de ejecución: El usuario actúa sobre el programa (introduce eventos) y prueba cómo responde el programa. Hay algunas propiedades de los controles que deben ejecutarse en modo de diseño, pero muchas otras pueden cambiarse en tiempo de ejecución desde el programa escrito en Visual Basic. De igual forma hay propiedades que sólo pueden funcionar en el modo de ejecución y no son visibles en el modo de diseño.

Ampliando los conceptos antes mencionados:

Controles: Son elementos gráficos de ayuda visual para controlar un dispositivo, un ejemplo de los controles utilizados son: los botones, las cajas de diálogo y de texto, las cajas de selección desplegables, las barras de desplazamiento, etc. Que hacen referencia a lo que se esta controlando dependiendo como se defina el programa, éstos controles deben llevar un nombre para su identificación.

Formularios: Se le llama formulario a una ventana que contiene a los controles. Los formularios deben también tener un nombre que puede crearse siguiendo las mismas reglas que para los controles.

Propiedades: Éstas definen el aspecto gráfico (tamaño, color, posición en la ventana, tipo y tamaño de letra, etc.). Así pues, cada clase, tipo de objeto o control tiene su conjunto de propiedades y cada objeto o control concreto tiene unos valores determinados para las propiedades de su clase.

Nombres de objetos: Estos nombres por defecto hacen referencia al tipo de control y van seguidos de un número que se incrementa a medida que se van introduciendo más controles de ese tipo en el formulario.

Los nombres por defecto no son adecuados porque hacen referencia al tipo de control pero no al uso que del control que hace el programador.

Eventos**:** Todas las acciones que el usuario haga sobre el programa se llaman eventos. Son eventos típicos el clicar sobre un botón, el hacer doble clic sobre el nombre de un fichero para abrirlo, el arrastrar un icono, el pulsar una tecla o combinación de teclas, el elegir una opción de un menú, el escribir en una caja de texto, o simplemente mover el ratón.

Proyecto: Cada aplicación que se empieza a desarrollar es un nuevo proyecto. Un proyecto comprende otras componentes más sencillas, como por ejemplo los formularios (que son ventanas de la interfase de usuario de la nueva aplicación) y los módulos (que son conjuntos de funciones y procedimientos sin interfase gráfica de usuario)

Fichero: Éste se refiere a como se va a guardar la información ya que éste dispone de varios ficheros (al menos dos) y se deben guardar cada uno de esos ficheros en el directorio adecuado y con el nombre adecuado.

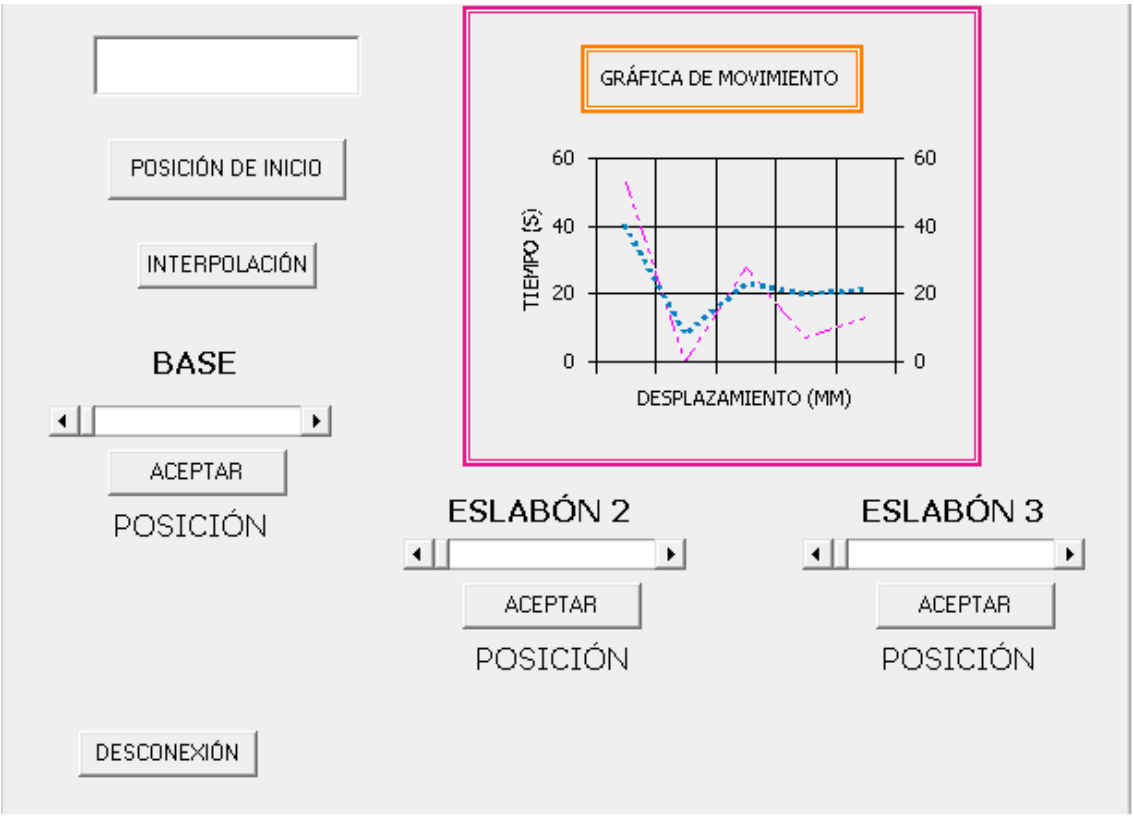


Figura 4.1 Pantalla de Control en Visual Basic

```
Private Sub Interpolacion_Click()
Pantalla.Text = "Interpolando"
End Sub

Private Sub M1_Click()
Pantalla.Text = "B-Activada"
End Sub

Private Sub M2_Click()
Pantalla.Text = "E-1 Activado"
End Sub

Private Sub M3_Click()
Pantalla.Text = "E-2 Activado"
End Sub

Private Sub M4_Click()
Pantalla.Text = "E-3 Activado"
End Sub

Private Sub M5_Click()
Pantalla.Text = "EF Activado"
End Sub

Private Sub Pantalla_Change()

End Sub

Private Sub Paro_Click()
Pantalla.Text = "Paro Automático"
End Sub

Private Sub Image1_Click()

End Sub

Private Sub Inicio_Click(Index As Integer)
Pantalla.Text = "1"
End Sub

Private Sub Salir_Click()
End
End Sub
Private Sub CmdSalir_Click()
Beep
End
End Sub
```

```
Private Sub mnuexitfile_Click()
End
End Sub
Private Sub Terminar_Click()
Pantalla.Text = "0"
End Sub
Private Sub Salir_Click()
End
End Sub
```

4.5 PROGRAMA DEL PIC JET

```
ESTADO      EQU     0x03
PORTA       EQU     0x05
PORTB       EQU     0x06

            org     0

            bsf     ESTADO,5
            clrf    PORTA
            comf    PORTA,1
            clrf    PORTB
            bcf     ESTADO,5

INICIO      btfsc   PORTA,0
            goto    APAGAR
            goto    ENCENFER
APAGAR      bcf     PORTB,0
            goto    INICIO
ENCENDER    bsf     PORTB,0
            goto    INICIO

            end
```

```
; Es una directiva del Ensamblador

; Zona para etiquetas
OPERANDO1 EQU 0x0c ; Define la posición del operando 1
OPERANDO2 EQU 0x0d ; Define la posición del operando 2
RESULTADO EQU 0x0e ; Define la posición del resultado

ORG0 ; Comando que indica al Ensamblador
; la dirección de la memoria de
; programa donde se situará la
; siguiente instrucción

movlw 05
```

```
; 5->W (primera instrucción)
movwf OPERANDO1 ; W->operando1
movlw 02 ; 2->W
movwf OPERANDO2 ; W->operando2
movfw OPERANDO1 ; opernado1 -> W
addwf OPERANDO2,0
```

Programa Piloto para funcionamiento de transmisión de instrucciones

Figura 4.2 Programador

Referencias

[1] Renjish Kaleelazhicathu, *Machine-to-Machine Applications over Mobile Networks*, Networking Lab, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland

[2] Watson, David S., Piette Mary Ann, *Machine to Machine (M2M) Technology in Demand Responsive Commercial Buildings*, 2004

[3] Galitz, Wilbert O., *The Essential Guide to the User Interface Design*, 2002

[4] Johnson, Jeff, *Guide Bloopers 2.0 common user interface design dont's & DOS*, Morgan Kaufmann, 2000

[5] García de Jalón, Javier, Rodríguez, José Ignacio, Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero, Universidad de Navarra, 1999

[6] ECG NTE Electronics, INC., *Semiconductors 11 Edition Technical Guide*, NTE Electronics, INC., 2003

[7] Angulo, U., José María, *Microcontroladores PIC 3a Edición 1ª parte*, McGraw Hill, 2003

[8] Angulo, U., José María, *Microcontroladores PIC 3a Edición 2ª parte*, McGraw Hill, 2003

CAPÍTULO 5

FABRICACIÓN

5.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

Durante el proceso de fabricación fue necesario definir el conjunto de operaciones necesarias para transformar la materia prima. Uno de los aspectos importantes es reconocer el estado en el que se encuentra el equipo para obtener resultados satisfactorios. De la misma forma es necesario pensar en el tipo de material que se empleará para lograr el objetivo, tomando en consideración el aspecto económico y las bondades que los materiales ofrecen.

5.2 FABRICACIÓN DE GUÍAS Y BUJES

Una de las primeras consideraciones para poder realizar el proyecto es que el equipo cumpla con las necesidades técnicas, funcionales y que disponga del herramental necesario para realizar dicha tarea, debido a que pueden presentarse fallas considerables en el momento del maquinado de los materiales que conducen a un bajo desempeño.

La máquina donde se fabrican las guías y el buje para el espárrago del MicroRobot SCARA es el Torno, debido a la presentación del material.

Las características del Torno son: TURRI S. A. -Buenos Aires Argentina Modelo T160

RPM	
1250	2000
800	1600
500	1250
315	1000
200	800
125	630
60	500

Figura 5.1 Torno Convencional

El aluminio cuenta con características especiales como:

- Facilidad en el Maquinado
- Ligereza
- Bajo costo
- Bajo porcentaje de oxidación
- Diferentes presentaciones

La presentación del aluminio es en barra circular Ø = $^{5}/_{16}$" y Ø = ½" con una longitud de 3.66m, posteriormente fue cortada en tramos de 1m aproximadamente para facilidad de manejo.

Procedimiento

Por lo general, cualquier material proveniente de un fabricante presenta imperfecciones. Las piezas que comúnmente se fabrican en el torno son los ejes, tornillos y bujes. Al aluminio se le realizará un "Refrentado" Permite la obtención de superficies planas para producir un buen acoplamiento en el montaje de las piezas torneadas. Para poder efectuar esta operación, la herramienta se debe colocar en un ángulo aproximado de 60º con respecto al porta herramientas.

Figura 5.2 Refrentado

Figura 5.3 Cilindrado

De lo contrario, debido a la excesiva superficie de contacto la punta de la herramienta se puede sobre calentar y romper con facilidad.

Posteriormente se procede a realizar el "Cilindrado", es una operación la cual reduce el diámetro de la barra de material que se está trabajando. Después de este paso se procede a darle forma a la pieza conforme vaya a ser requerida.

Después se realiza el "Acabado" cuya finalidad es obtener una superficie con características adecuadas para una aplicación en particular de lo que se está manufacturando y proporcionarle una mejor presentación. Finalmente, el siguiente paso es el pulido que proporciona una brillantez al material.

Resultando un elemento de sujeción para el espárrago que servirá como tornillo sinfín, debido a que el diámetro del espárrago no se encontró disponible en los rodamientos de línea. Este elemento entrará a presión con el rodamiento que se tiene.

Utilizando un maneral, una broca y machuelo M4 se realiza la cuerda para el buje que entrará a presión en el rodamiento.

Figura 5.4 Maneral

Figura 5.5 Machuelos para 2mm y 4mm

5.3 FABRICACIÓN DE ESLABONES

Al igual que en el proceso de fabricación anterior, se contemplaron y se realizaron pruebas a la máquina para conocer el estado en el que se encuentra.

Las características de la Fresadora utilizada son: Modelo AJAX-Cleveland

Figura 5.6 Máquina Fresadora

Figura 5.7 Cortador de ¼ con 2 gavilanes

RPM

28	224
35	280
45	355
56	450
71	560
90	710
112	900
140	1120
180	1400

La presentación del aluminio es cuadrada con una longitud de 3.66m, Ø = $^{5}/_{16}$" posteriormente fue cortada en tramos de 1m aproximadamente para facilidad de manejo.

Procedimiento

El material es cortado y montado en la máquina fresadora, preparándola para la fabricación de los eslabones del MicroRobot.

Figura 5.8 Corte de aluminio

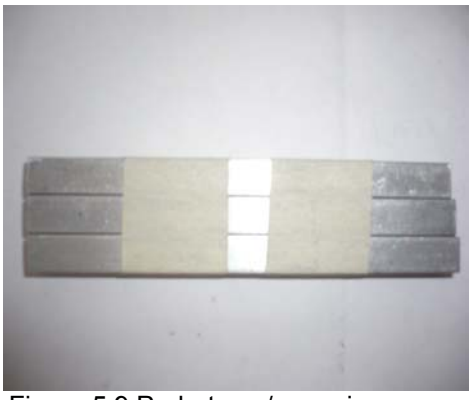


Figura 5.9 Probetas p/ maquinar

Figura 5.10 Fresado de Probetas

Figura 5.11 Probetas Terminadas

Finalmente de haber obtenido las probetas, en el siguiente proceso se realizarán los barrenos necesarios y/o cuerdas para su mejor funcionamiento y montaje de los dispositivos que se encargarán de dar movimiento a la estructura del Micro-Robot. Se debe de tomar en cuenta que la estructura debe de ser lo suficientemente resistente, pero sobre todo ligero debido a que los componentes que en su estructura irán montados, el último paso es el de pulido donde se obtendrá un acabado que dará el toque final de las piezas que han de ser ensambladas y proporcionar una mejor vista al trabajo realizado.

5.4 FABRICACIÓN DE BASE, TAPA Y SOPORTE

Mediante un programa CAD-CAM, se procede a realizar el diseño de las piezas restantes que formarán parte importante del Micro-Robot, para ello fue necesario conocer el material y el equipo necesario para crearlos.

Figura 5.12 Impresora 3-D

Las características de la Impresora a emplear son:

3-D Modelo SST1200

Cartuchos de material: Un cartucho de recarga automática con 922 cm3 (56,3 pulgadas cúbicas) de material ABS. Un cartucho de recarga automática con 922 cm3 (56,3 pulgadas cúbicas) de material de soporte**.**

Conectividad de Red: TCP/IP 100/10 base T

Compatibilidad: Windows NT/Windows 2000/Windows XP

Tamaño máximo: 254 x 254 x 305 mm (10 x 10 x 12 pulgadas)

Tamaño: 838 x 737 x 1.143 mm (33 x 29 x 45 pulgadas)

Peso: 148 Kg (326 lb.)

Requisitos de energía: 110 a 120 V CA, 60 Hz, mínimo
Circuito: 15 A o 220 a 240 V CA, 50/60 Hz, mínimo de 7 A.

Cumplimiento de las normas: CE

Espesor de la Capa: 0,245 mm (0,010 pulgadas) o 0,33 mm (0,013 pulgadas) de material ABS y de soporte depositados con precisión.

Material que emplea:

Plástico ABS en colores estándar blanco, azul, amarillo, negro, rojo, verde o gris acero. Tiene colores personalizados disponibles. La base con la que se empiezan a elaborar las piezas es de fécula de maíz (Biodegradable)

Procedimiento

El software Catalyst importa automáticamente los archivos STL, orienta la pieza, divide el archivo, genera estructuras de soporte (si es necesario) y crea una ruta de ingreso precisa para fabricar el modelo ABS. Se pueden colocar varios modelos dentro del sobre de trabajo para maximizar la eficiencia.

Para la realización de estas piezas se debió a un programa CAD-CAM que es compatible con la impresora 3D y de esta manera poder conseguir las piezas impresas con un buen acabado, si el dibujo presenta errores de diseño será reflejado en la impresión puesto que únicamente imprime lo que se le ordenó.

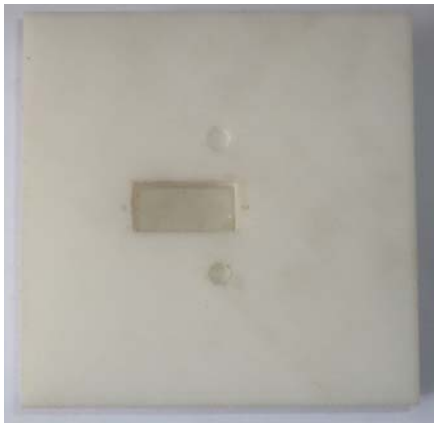


Figura 5.13 Base

Figura 5.14 Eslabón principal

Figura 5.15 Tapa y sinfín

5.5 Fase de Ensamble y Montaje del MicroRobot Terminada

Se refiere a la colocación de las partes involucradas en una estructura, en este aspecto se incluyen el armado de la estructura, los motores, el espárrago, los eslabones, etc., hasta conformar el MicroRobot. La estructura es una de las partes esenciales ya que ella deberá soportar todos los componentes necesarios para que el Micro-Robot pueda existir y funcionar adecuadamente.

5.5.1 Montaje de actuadores

Servomotores. Están compuestos de un motor de cc, una caja reductora y un sistema de control de posición, tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y debe mantenerse estable en dicha posición.

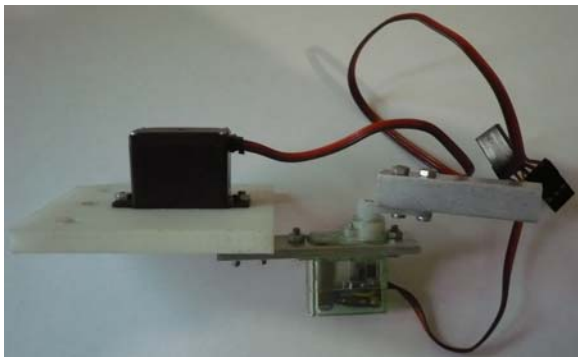


Figura 5.16 Montaje de Servomotores

Figura 5.17 Pico ServoMotor

Figura 5.18 Nano ServoMotor

Características principales proporcionadas por el distribuidor son:

PicoServoMotor

6.0 V.

Torque máximo: 0.6 kg.cm (8.33 oz.in)

Velocidad: 0.08 sec / 60º sin carga

Dimensiones: 19.6 x 8.2 x 23.8mm (0.77 x 0.32 x 0.94in) Largo x Ancho x Alto

Peso: 4.4 g (0.16 oz)

NanoServoMotor

6.0 V.

Torque máximo: 1.2 kg.cm (16.66 oz.in)

Velocidad: 0.17 sec / 60º sin carga

Dimensiones: 22.94 x 12.2 x 24.2mm (0.9 x 0.48 x 0.95in) Largo x Ancho x Alto

Peso: 8 g (0.28 oz)

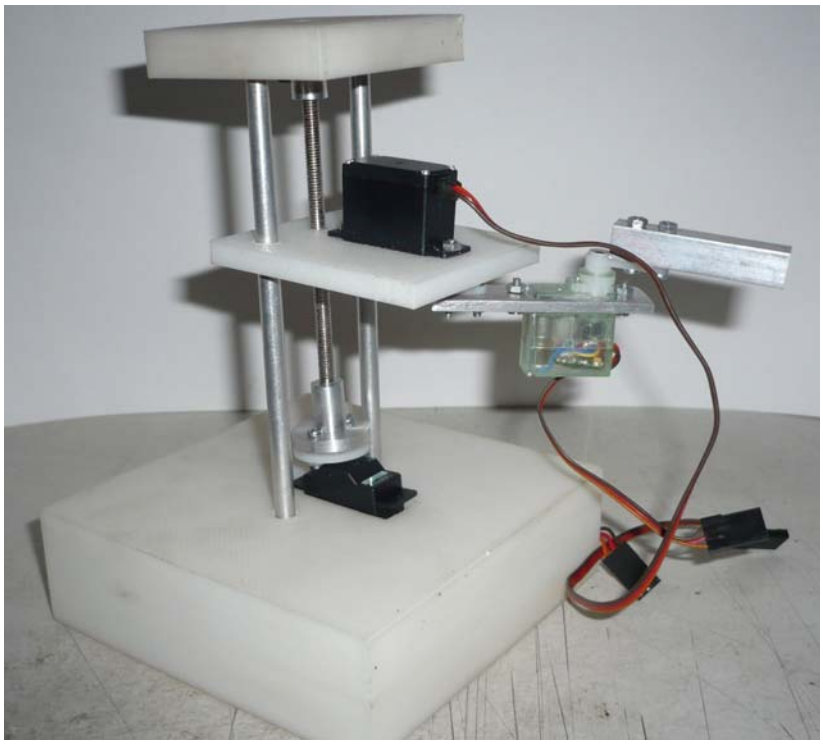


Figura 5.19 MicroRobot terminado

Prototipo

Nombre: MicroMemobot SCARA

País: México

Institución: IPN

Grados de libertad: 3

Peso: 170gr

Altura: 143mm

Eslabón 2: 50mm

Eslabón 3: 38mm

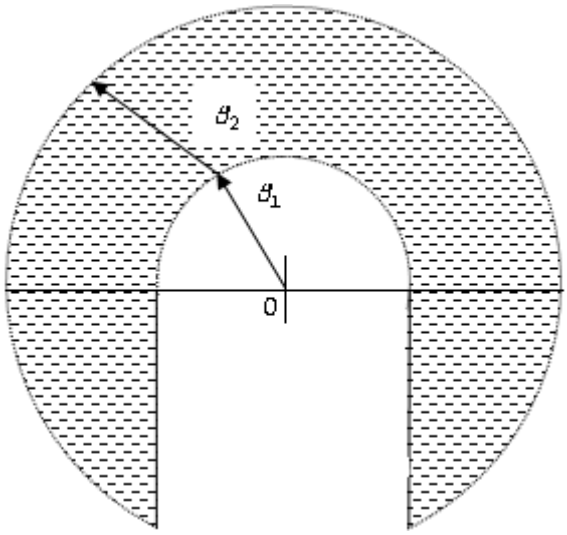
Tornillo Sinfín: 80mm

Material plástico: ABS

Material metálico: Aluminio (Al)

Espacio de trabajo ideal del MicroRobot SCARA

$-90 \leq \theta_1 \leq 90$
$-90 \leq \theta_2 \leq 90$
$+Z$



Vista superior

Referencias

[1] Shigley, Edward Joseph, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Mc Graw Hill, 1985

[2] Villanueva Pruneda Sergio A., Watanave Ramos Jorge, *Manual de Métodos de Fabricación Metalmecánica*, AGT

[3] Mott, L. Robert, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Pearson,

[4] Datos Técnicos de Impresora Tridimensional SST1200, Dimension company

[5] F., Krar Steve, *Machine Tool and Manufacturing Technology*, Delmar Publishers, 1998.

[6] Gerling, Heinrich, *Alrededor de las Máquinas Herramientas*, Reverté 2ª Edición, 1997.

CONCLUSIONES

1. El diseño estructural del prototipo idealizado cumplió con los requisitos originales que fueron planteados, contemplando factores importantes que afectan directamente un proyecto. De este modo, es como se concibió el prototipo.

2. La dificultad en el proceso de la transformación del material se complicó en gran medida por el uso del equipo convencional que se tiene disponible, debido a las dimensiones en las que se trabaja. Algunas de las tareas realizadas fueron artesanales, donde se percibió la complejidad para obtener los elementos deseados y de esta forma aproximarse a los objetivos planteados.

3. Otro punto importante que se consideró fue la interfaz de comunicación entre hombre-máquina y máquina-máquina dando como resultado una ayuda al usuario por las bondades que éste aporta reduciendo la complejidad de la programación de tareas simples que efectuará el MicroRobot para conocer la respuesta de operación.

4. Los actuadores empleados en el prototipo no proporcionan un posicionamiento ideal en la ejecución de la tarea encomendada. Por ende, es necesario mejorar este aspecto para acercarse al objetivo planteado.

RECOMENDACIONES FUTURAS

- Realizar pruebas para determinar los esfuerzos mecánicos producidos por el MicroRobot en cada uno de sus elementos mecánicos.

- Diseñar y construir el efector final idóneo para este prototipo, obteniendo de esta forma un mejor resultado de su desempeño.

- Realizar una evaluación total del MicroRobot en conjunto con su efector final propio.

- Realizar las adaptaciones y pruebas necesarias para saber si es factible introducir al MicroRobot en el área médica en tareas sencillas y posteriormente aumentar la complejidad de las mismas para beneficio del ser humano.

- Mejorar el sistema de control para obtener mejores resultados

ANEXOS

MANTENIMIENTO DEL MICROROBOT

- *Mantener al MicroRobot seco*. Las precipitaciones, la humedad y todos los tipos de líquidos o humedad contienen minerales que corroen los circuitos electrónicos. En caso de que llegue a mojarse, inmediatamente debe ser desenergizado y tomar acciones contra ello.

- *No utilizar ni guardar al MicroRobot en lugares sucios o polvorientos*. Las piezas móviles y los componentes electrónicos podrían dañarse.

- *No guardarlo en lugares fríos*. Cuando el MicroRobot recupere su temperatura normal, puede formarse humedad en su interior, lo cual puede dañar los circuitos electrónicos.

- *No dejarlo caer, ni golpear, ni sacudirlo bruscamente*. Los manejos bruscos pueden dañar los circuitos del MicroRobot y los mecanismos delicados.

- *No pintar al MicroRobot*. La pintura puede obstruir las piezas móviles e impedir la operación apropiada.

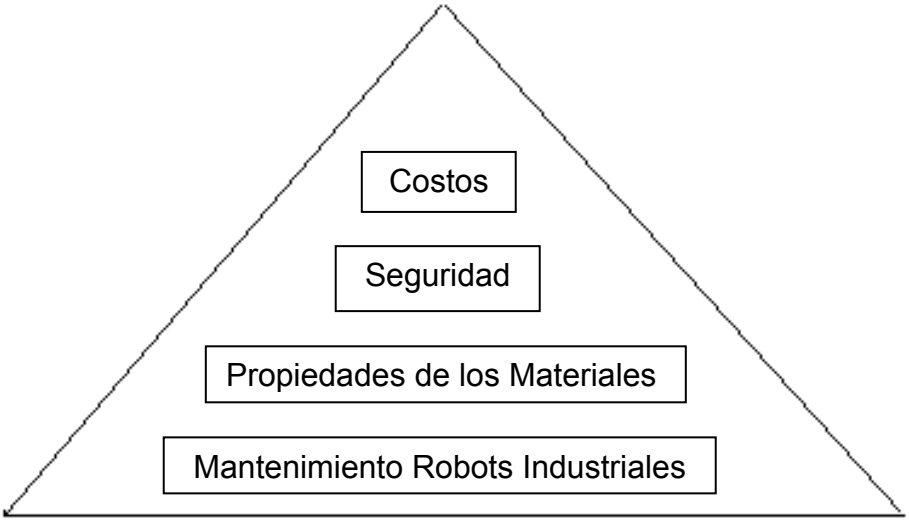
- Para su limpieza utilice un paño suave, limpio y seco.

- Seguir las indicaciones de mantenimiento preventivo e instalación

Recomendaciones de seguridad para el MicroRobot

- El MicroRobot y sus accesorios pueden contener piezas muy pequeñas que pueden ser ingeridas fácilmente por el ser humano.

- Mantener al MicroRobot a una distancia mínima 15.3 cm alejado del cuerpo en caso de que una persona porte un dispositivo médico que pueda ser afectado por el funcionamiento del MicroRobot.



COSTOS

Generalmente en la industria se considera que la vida de los equipos para generar los productos que consumimos es el mismo que el tiempo de vida del producto a fabricar. Sin embargo se debe tomar en cuenta que un robot tiene la capacidad de ser versátil en las tareas que se le encomiendan. Ya que un robot es una máquina multifuncional y reprogramable por lo mismo es capaz de adaptarse a cualquier entorno sin producir un elevado costo.

Esto hace indicar que el robot no esta sujeto al ciclo de vida de un producto, más bien, él cuenta con un ciclo de vida propio y por ello resulta ser rentable. Pero se debe tomar en cuenta que aunque el robot sea programable no garantiza que al terminar el ciclo de vida del producto, el robot pueda adaptarse sin problema alguno a una nueva tarea.

Por otro lado, generalmente el robot es usado en procesos de fabricación en ciclos de vida cortos. Lo que a veces explica que para la primera aplicación del mismo sea complicado justificar su inversión.

TABLA DE COSTOS

Cantidad	Artículo	Precio Unitario
1	Rodamiento F688Z Fabricante NCK	$52
1	Barra de Aluminio Redonda $^{5}/_{16}$", 3.66m	$76,71
1	Microcontrolador PIC16F877A	$80
1	Broca 1/8"	$10
1	Barra de Aluminio Cuadrada 1/2",3.66m	$126
1	Maneral p/Machuelo	$127
1	Pasta para soldar 25grs	$13
1	Metro de Cable Plano	$16.522
1	Cortador HS de 2 Gavilanes	$160
1	Broca 1/16"	$25
1	NanoServoMotor 180º	$250
1	PicoServoMotor 180º	$250
1	NanoServoMotor 360º	$280
1	PicoServoMotor 360º	$280
1	Cloruro Férrico 220ml	$34
1	Tarjeta Programadora DV164120	$811.50
1	Espárrago 4mm de 1m	$50
1	Machuelo M4	$50
1	Barra de Aluminio Cuadrada $^{5}/_{16}$",3.66m	$76,71
1	Cautín 30W	$83
1	Rollo de soldadura de 100grs	$99
2	cerámicos	$1.739
2	Placa de Cobre 20x20	$43
2	Protoboard	$99
3	ABS cm3	$
3	Conectores	$3.478
4	Machuelos M2	$240
5	Resistencias ¼ w	$0.609
5	Diodos Led 5mm	$1
5	Capacitores electrolíticos	$2.609
3	Maquinado Convencional	$250
10	Tornillos con Tuerca 1,5 mm	$100

SEGURIDAD EN ROBOTS INDUSTRIALES

La seguridad es el método y técnica usada para evitar accidentes. La necesidad de salvaguardar la maquinaria para la protección del operador ha sido combinada últimamente con alta productividad y automatización.

Aunque existe similitud entre robots y máquinas convencionales, tres diferencias principales pueden ser identificadas ya que son la preocupación del personal de seguridad:

a) Velocidad de movimiento
b) Previsión de movimiento
c) Zonas de riesgo

La principal diferencia entre la maquinaria convencional y los robots es que un robot puede ser reprogramado para realizar diferentes tareas y reaccionar a cambios en el proceso, aún tomando decisiones desde un limitado número de elecciones. La seguridad en la ingeniería debe estar incluida en las consideraciones usuales del hombre, la máquina y en las estaciones de trabajo, el entorno y en el comportamiento de la interfase pero también se debe considerar el software.

El diseño del hardware del robot debe estar basado en las prácticas de ingeniería de sonido, especialmente aquellas principales salvaguardas que tradicionalmente han sido utilizadas donde el humano interactúa con las máquinas durante su operación.

De acuerdo a Hammer, los accidentes inician a través de:

a) Deficiencias en el diseño
b) Falta de procedimientos apropiados
c) Programación inadecuada

Por consiguiente, los interruptores de paro de emergencia deben aparecer en el panel de control y también sumarle el control portátil en el modo de enseñanza en donde el programador u operador lo pueden mover sobre el área de trabajo del robot. Por seguridad los movimientos del robot deberán ser lentos en el modo de enseñanza.

Cuando considerar la seguridad en la Robótica

La seguridad es la primera cosa en lo que se debe de pensar acerca del funcionamiento del Robot. La seguridad en la Robótica debe empezar a ser practicado tan pronto como el proyecto avance. La seguridad humana debe ser incluida dentro de los sistemas robóticos desde la salida del mismo, aún cuando nunca se espera que los humanos se aventuren dentro del área de trabajo del Robot.

Causas de accidentes

Para prevenir los posibles accidentes ocasionados por los Robots, hay que comenzar detectando *qué* tipo de accidentes se producen, para después analizar el *porqué* se originan y determinar *cómo* pueden evitarse. Los tipos de accidentes causados por los Robots, además de los ocasionados por causas tradicionales, son debidos a:

- Colisión entre robots y hombre
- Proyección de una pieza o material transportada por el Robot
- Desviación de la trayectoria al realizar una tarea

Estas causas son agravadas por la gran velocidad con la que los Robots pueden realizar sus movimientos. Establecidos los tipos principales de accidentes, es preciso localizar cuáles son las causas que los originan.

Los accidentes provocados por los Robots se deben normalmente a:

- ♦ Un mal funcionamiento del sistema de control (software, hardware, sistemas de potencia)
- ♦ Acceso indebido del personal a la zona de trabajo del Robot.
- ♦ Errores humanos en las etapas de mantenimiento, programación, etc.
- ♦ Liberación de energía almacenada (eléctrica, hidráulica, potencial, etc.)
- ♦ Rotura de partes mecánicas por corrosión o fatiga.
- ♦ Medio ambiente o herramienta peligrosa (láser, corte por chorro de agua, oxicorte, etc.)

Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño del Robot

En el diseño del Robot y de su sistema de control debe considerarse siempre la posibilidad de un accidente, tomando las acciones oportunas para evitarlo.

- Supervisión del sistema de control: El sistema de control debe realizar una continua supervisión del correcto funcionamiento de todos los subsistemas (accionamientos, etc.)

- Paradas de emergencia: deben disponerse paradas de emergencia que desenergicen completamente al Robot.

- Velocidad máxima limitada: el sistema de control asegurará que la velocidad máxima de los movimientos cuando una persona se encuentra en las proximidades del robot (fase de programación) sea inferior a la nominal.

- Detectores de sobre esfuerzo: se incluirá detectores de sobreesfuerzo en los accionamientos que los desactiven cuando sobre pase un valor excesivo (caso de colisión)

- Interruptor de seguridad: Las consolas de programación dispondrán de un dispositivo de seguridad (interruptor de hombre muerto) que impidan el movimiento accidental del Robot.

- Código de acceso: El acceso a la unidad de control y el arranque, parada y modificación del programa, estarán limitados mediante el empleo de llaves, códigos de seguridad, etc.

- Comprobación de señales de auto-diagnóstico: En la unidad de control previamente al primer funcionamiento.

NORMAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD EN ROBÓTICA

American National Standards Institute (ANSI)

R15.06-1999, Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements. Provides requirements for industrial robot manufacture, remanufacture and rebuild; robot system integration/installation; and methods of safeguarding to enhance the safety of personnel associated with the use of robots and robot systems. This second review further limits the potential requirements for any retrofit of existing systems, revises the description of control reliable circuitry, and reorganizes several clauses to enhance understanding.

TR R15.106-2006, Technical Report on Teaching Multiple Robots. Robotics Industries Association (RIA). Provides additional safety information relative to teaching (programming) multiple industrial robots in a common safeguarded space in an industrial setting. It supplements the ANSI/RIA R15.06-1999 robot safety standard.

B11.TR3-2000, Risk Assessment and Risk Reduction - A Guide to Estimate, Evaluate and Reduce Risks Associated with Machine Tools. Provides a means to identify hazards associated with a particular machine or system when used as intended, and provides a procedure to estimate, evaluate, and reduce the risks of harm to individuals associated with these hazards under the various conditions of use of that machine or system.

The ANSI safety standard for industrial robots, ANSI/RIA R15.06-1986, is very informative and presents certain basic requirements for protecting the worker. However, when a robot is to be used in a workplace, the employer should accomplish a comprehensive operational safety/health hazard analysis and then devise and implement an effective safeguarding system which is fully responsive to the situation. (Various effective safeguarding techniques are described in ANSI B11.19-1990.)

International Organization for Standardization (ISO)

TC 184, Industrial automation systems and integration

ISO 10218-1:2006, Robots for industrial environments - Safety requirements - Part 1: Robot. Robotics Industries Association (RIA). Specifies requirements and guidelines for the inherent safe design, protective measures, and information for use of industrial robots. It describes basic hazards associated with robots, and provides requirements to eliminate or adequately reduce the risks associated with these hazards.

Note: ISO 10218-1:2006 does not apply to non-industrial robots although the safety principles established in ISO 10218 may be utilized for these other robots.

Examples of non-industrial robot applications include, but are not limited to: undersea, military and space robots; tele-operated manipulators; prosthetics and other aids for the physically impaired; micro-robots (displacement <1 mm); surgery or healthcare; and service or consumer products.

Canadian Standards Association (CSA)

Z434-03, Industrial Robots and Robot Systems. Applies to the manufacture, remanufacture, rebuild, installation, safeguarding, maintenance and repair, testing and start-up, and personnel training requirements for industrial robots and robot systems.

American Welding Society (AWS)

D16.1M/D16.1, Specification for Robotic Arc Welding Safety. Identifies hazards involved in maintaining, operating, integrating, and setting up arc welding robot systems.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

Introduction

Industrial robots are programmable multifunctional mechanical devices designed to move material, parts, tools, or specialized devices through variable programmed motions to perform a variety of tasks. An industrial robot system includes not only industrial robots but also any devices and/or sensors required for the robot to perform its tasks as well as sequencing or monitoring communication interfaces.

Robots are generally used to perform unsafe, hazardous, highly repetitive, and unpleasant tasks. They have many different functions such as material handling, assembly, arc welding, resistance welding, machine tool load and unload functions, painting, spraying, etc. See Appendix IV:4-1 for common definitions. Most robots are set up for an operation by the teach-and-repeat technique. In this mode, a trained operator (programmer) typically uses a portable control device (a teach pendant) to teach a robot its task manually. Robot speeds during these programming sessions are slow.

This instruction includes safety considerations necessary to operate the robot properly and use it automatically in conjunction with other peripheral equipment. This instruction applies to fixed industrial robots and robot systems only. See Appendix IV:4-2 for the systems that are excluded.

A. ACCIDENTS: PAST STUDIES.

1. Studies in Sweden and Japan indicate that many robot accidents do not occur under normal operating conditions but, instead during programming, program touch-up or refinement, maintenance, repair, testing, setup, or adjustment. During many of these operations the operator, programmer, or corrective maintenance worker may temporarily be within the robot's working envelope where unintended operations could result in injuries.

2. Typical accidents have included the following:

a. A robot's arm functioned erratically during a programming sequence and struck the operator.

b. A materials handling robot operator entered a robot's work envelope during operations and was pinned between the back end of the robot and a safety pole.

c. A fellow employee accidentally tripped the power switch while a maintenance worker was servicing an assembly robot. The robot's arm struck the maintenance worker's hand.

B. ROBOT SAFEGUARDING.

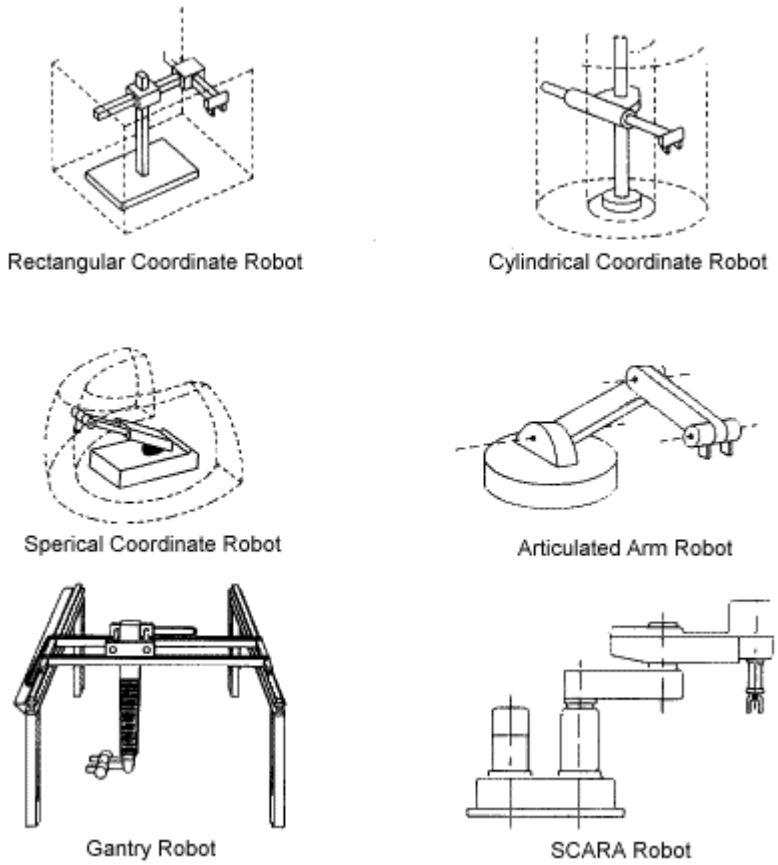
1. The proper selection of an effective robotic safeguarding system should be based upon a hazard analysis of the robot system's use, programming, and maintenance operations. Among the factors to be considered are the tasks a robot will be programmed to perform, start-up and command or programming procedures, environmental conditions, location and installation requirements, possible human errors, scheduled and unscheduled maintenance, possible robot and system malfunctions, normal mode of operation, and all personnel functions and duties.

2. An effective safeguarding system protects not only operators but also engineers, programmers, maintenance personnel, and any others who work on or with robot systems and could be exposed to hazards associated with a robot's operation. A combination of safeguarding methods may be used. Redundancy and backup systems are especially recommended, particularly if a robot or robot system is operating in hazardous conditions or handling hazardous materials. The safeguarding devices employed should not themselves constitute or act as a hazard or curtail necessary vision or viewing by attending human operators.

II. TYPES AND CLASSIFICATION OF ROBOTS.

Industrial robots are available commercially in a wide range of sizes, shapes, and configurations. They are designed and fabricated with different design configurations and a different number of axes or degrees of freedom. These factors of a robot's design influence its working envelope (the volume of working or reaching space). Diagrams of the different robot design configurations are shown in Figure IV: 4-1.

FIGURE IV:4-1. ROBOT ARM DESIGN CONFIGURATIONS.



A. SERVO AND NONSERVO.

All industrial robots are either servo or nonservo controlled. Servo robots are controlled through the use of sensors that continually monitor the robot's axes and associated components for position and velocity. This feedback is compared to pretaught information which has been programmed and stored in the robot's memory. Nonservo robots do not have the feedback capability, and their axes are controlled through a system of mechanical stops and limit switches.

B. TYPE OF PATH GENERATED. Industrial robots can be programmed from a distance to perform their required and preprogrammed operations with different types of paths generated through different control techniques. The three different types of paths generated are Point-to-Point Path, Controlled Path, and Continuous Path.

1. Point-to-Point Path. Robots programmed and controlled in this manner are programmed to move from one discrete point to another within the robot's working envelope. In the automatic mode of operation, the exact path taken by the robot will vary slightly due to variations in velocity, joint geometries, and point spatial locations. This difference in paths is difficult to predict and therefore can create a potential safety hazard to personnel and equipment.

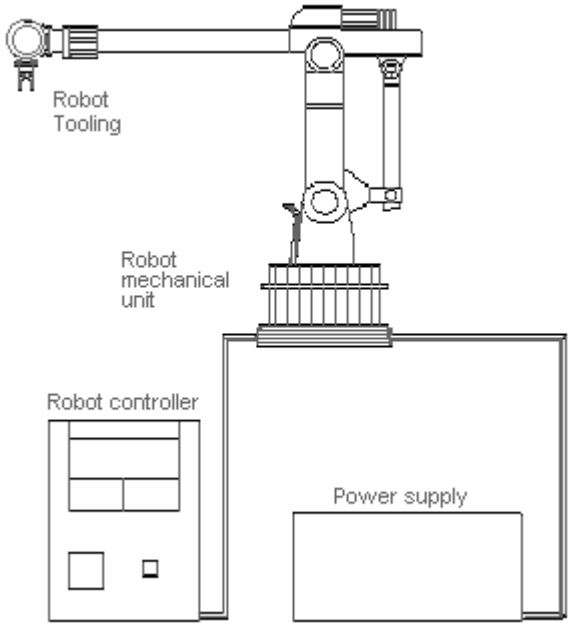
2. Controlled Path. The path or mode of movement ensures that the end of the robot's arm will follow a predictable (controlled) path and orientation as the robot travels from point to point. The coordinate transformations required for this hardware management are calculated by the robot's control system computer. Observations that result from this type of programming are less likely to present a hazard to personnel and equipment.

3. Continuous Path. A robot whose path is controlled by storing a large number or close succession of spatial points in memory during a teaching sequence is a continuous path controlled robot. During this time, and while the robot is being moved, the coordinate points in space of each axis are continually monitored on a fixed time base, e.g., 60 or more times per second, and placed into the control system's computer memory. When the robot is placed in the automatic mode of operation, the program is replayed from memory and a duplicate path is generated.

C. ROBOT COMPONENTS. Industrial robots have four major components: the mechanical unit, power source, control system, and tooling (Figure IV: 4-2).

1. Mechanical Unit. The robot's manipulative arm is the mechanical unit. This mechanical unit is also comprised of a fabricated structural frame with provisions for supporting mechanical linkage and joints, guides, actuators (linear or rotary), control valves, and sensors. The physical dimensions, design, and weight-carrying ability depend on application requirements.

FIGURE IV:4-2. INDUSTRIAL ROBOTS:
MAJOR COMPONENTS.



2. Power Sources.

a. Energy is provided to various robot actuators and their controllers as pneumatic, hydraulic, or electrical power. The robot's drives are usually mechanical combinations powered by these types of energy, and the selection is usually based upon application requirements. For example, pneumatic power (low-pressure air) is used generally for low weight carrying robots.

b. Hydraulic power transmission (high-pressure oil) is usually used for medium to high force or weight applications, or where smoother motion control can be achieved than with pneumatics. Consideration should be given to potential hazards of fires from leaks if petroleum-based oils are used.

c. Electrically powered robots are the most prevalent in industry. Either AC or DC electrical power is used to supply energy to electromechanical motor-driven actuating mechanisms and their respective control systems. Motion control is much better, and in an emergency an electrically powered robot can be stopped or powered down more safely and faster than those with either pneumatic or hydraulic power.

D. CONTROL SYSTEMS.

1. Either auxiliary computers or embedded microprocessors are used for practically all control of industrial robots today. These perform all of the required computational functions as well as interface with and control associated sensors, grippers, tooling, and other associated peripheral equipment. The control system performs the necessary sequencing and memory functions for on-line sensing, branching, and integration of other equipment. Programming of the controllers can be done on-line or at remote off-line control stations with electronic data transfer of programs by cassette, floppy disc, or telephone modem.

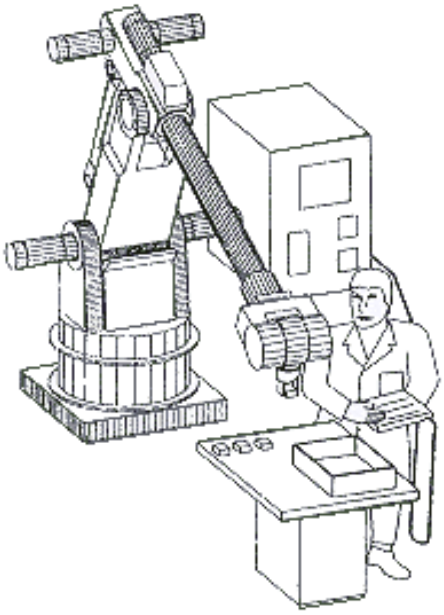
2. Self-diagnostic capability for troubleshooting and maintenance greatly reduces robot system downtime. Some robot controllers have sufficient capacity, in terms of computational ability, memory capacity, and input-output capability to serve also as system controllers and handle many other machines and processes. Programming of robot controllers and systems has not been standardized by the robotics industry; therefore, the manufacturers use their own proprietary programming languages which require special training of personnel.

E. ROBOT PROGRAMMING BY TEACHING METHODS. A program consists of individual command steps which state either the position or function to be performed, along with other informational data such as speed, dwell or delay times, sample input device, activate output device, execute, etc.

When establishing a robot program, it is necessary to establish a physical or geometrical relationship between the robot and other equipment or work to be serviced by the robot. To establish these coordinate points precisely within the robot's working envelope, it is necessary to control the robot manually and physically teach the coordinate points. To do this as well as determine other functional programming information, three different teaching or programming techniques are used: lead-through, walk-through, and off-line.

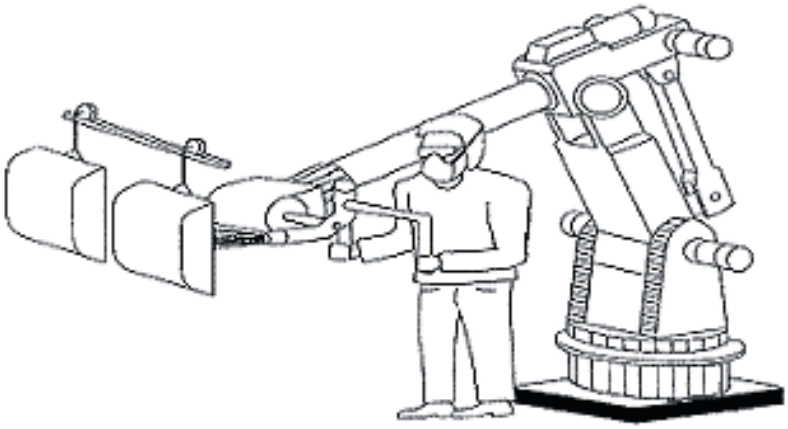
1. **Lead-Through Programming or Teaching**. This method of teaching uses a proprietary teach pendant (the robot's control is placed in a "teach" mode), which allows trained personnel physically to lead the robot through the desired sequence of events by activating the appropriate pendant button or switch. Position data and functional information are "taught" to the robot, and a new program is written (Figure IV:4-3). The teach pendant can be the sole source by which a program is established, or it may be used in conjunction with an additional programming console and/or the robot's controller. When using this technique of teaching or programming, the person performing the teach function can be within the robot's working envelope, with operational safeguarding devices deactivated or inoperative.

FIGURE IV:4-3. ROBOT LEAD-THROUGH PROGRAMMING OR TEACHING.



2. **Walk-Through Programming or Teaching**. A person doing the teaching has physical contact with the robot arm and actually gains control and walks the robot's arm through the desired positions within the working envelope (Figure IV:4-4).

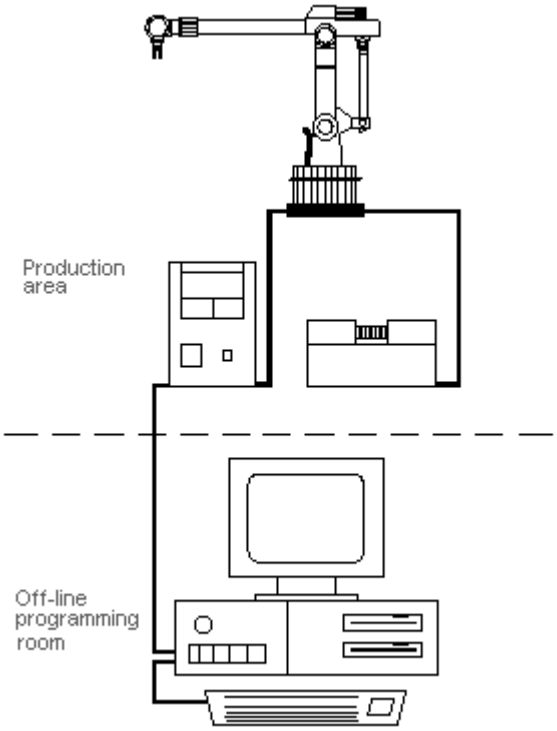
FIGURE IV:4-4. WALK-THROUGH PROGRAMMING OR TEACHING.



During this time, the robot's controller is scanning and storing coordinate values on a fixed time basis. When the robot is later placed in the automatic mode of operation, these values and other functional information are replayed and the program run as it was taught. With the walk-through method of programming, the person doing the teaching is in a potentially hazardous position because the operational safeguarding devices are deactivated or inoperative.

Off-Line Programming. The programming establishing the required sequence of functional and required positional steps is written on a remote computer console (Figure IV:4-5). Since the console is distant from the robot and its controller, the written program has to be transferred to the robot's controller and precise positional data established to achieve the actual coordinate information for the robot and other equipment. The program can be transferred directly or by cassette or floppy discs. After the program has been completely transferred to the robot's controller, either the lead-through or walk-through technique can be used for obtaining actual positional coordinate information for the robot's axes.

FIGURE IV:4-5. OFF-LINE PROGRAMMING OR TEACHING.



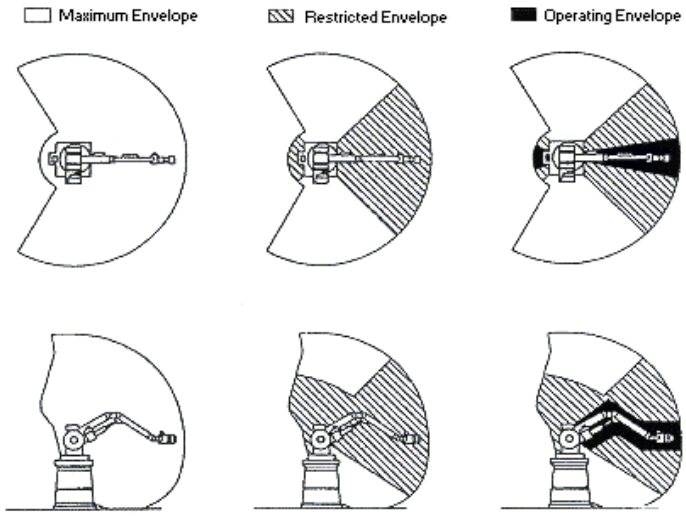
When programming robots with any of the three techniques discussed above, it is generally required that the program be verified and slight modifications in positional information made. This procedure is called program touch-up and is normally carried out in the teach mode of operation. The teacher manually leads or walks the robot through the programmed steps. Again, there are potential hazards if safeguarding devices are deactivated or inoperative.

3. DEGREES OF FREEDOM. Regardless of the configuration of a robot, movement along each axis will result in either a rotational or a translational movement. The number of axes of movement (degrees of freedom) and their arrangement, along with their sequence of operation and structure, will permit movement of the robot to any point within its envelope. Robots have three arm movements (up-down, in-out, side-to-side). In addition, they can have as many as three additional wrist movements on the end of the robot's arm: yaw (side to side), pitch (up and down), and rotational (clockwise and counterclockwise).

III. **HAZARDS**.

The operational characteristics of robots can be significantly different from other machines and equipment. Robots are capable of high-energy (fast or powerful) movements through a large volume of space even beyond the base dimensions of the robot (see Figure IV:4-6). The pattern and initiation of movement of the robot is predictable if the item being "worked" and the environment are held constant. Any change to the object being worked (i.e., a physical model change) or the environment can affect the programmed movements.

FIGURE IV:4-6. A ROBOT'S WORK ENVELOPE.



Some maintenance and programming personnel may be required to be within the restricted envelope while power is available to actuators. The restricted envelope of the robot can overlap a portion of the restricted envelope of other robots or work zones of other industrial machines and related equipment. Thus, a worker can be hit by one robot while working on another, trapped between them or peripheral equipment, or hit by flying objects released by the gripper.

A robot with two or more resident programs can find the current operating program erroneously calling another existing program with different operating parameters such as velocity, acceleration, or deceleration, or position within the robot's restricted envelope. The occurrence of this might not be predictable by maintenance or programming personnel working with the robot. A component malfunction could also cause an unpredictable movement and/or robot arm velocity.

Additional hazards can also result from the malfunction of or errors in, interfacing or programming of other process or peripheral equipment. The operating changes with the process being performed or the breakdown of conveyors, clamping mechanisms, or process sensors could cause the robot to react in a different manner.

I. TYPES OF ACCIDENTS. Robotic incidents can be grouped into four categories: a robotic arm or controlled tool causes the accident, places an individual in a risk circumstance, an accessory of the robot's mechanical parts fails, or the power supplies to the robot are uncontrolled.

a. **Impact or Collision Accidents**. Unpredicted movements, component malfunctions, or unpredicted program changes related to the robot's arm or peripheral equipment can result in contact accidents.

b. **Crushing and Trapping Accidents**. A worker's limb or other body part can be trapped between a robot's arm and other peripheral equipment, or the individual may be physically driven into and crushed by other peripheral equipment.

c. **Mechanical Part Accidents**. The breakdown of the robot's drive components, tooling or end-effector, peripheral equipment, or its power source is a mechanical accident. The release of parts, failure of gripper mechanism, or the failure of end-effector power tools (e.g., grinding wheels, buffing wheels, deburring tools, power screwdrivers, and nut runners) are a few types of mechanical failures.

d. **Other Accidents**. Other accidents can result from working with robots. Equipment that supplies robot power and control represents potential electrical and pressurized fluid hazards. Ruptured hydraulic lines could create dangerous high-pressure cutting streams or whipping hose hazards. Environmental accidents from arc flash, metal spatter, dust, electromagnetic, or radio-frequency interference can also occur. In addition, equipment and power cables on the floor present tripping hazards.

II. **SOURCES OF HAZARDS**. The expected hazards of machine to humans can be expected with several additional variations, as follows.

1. Human Errors. Inherent prior programming, interfacing activated peripheral equipment, or connecting live input-output sensors to the microprocessor or a peripheral can cause dangerous, unpredicted movement or action by the robot from human error. The incorrect activation of the "teach pendant" or control panel is a frequent human error. The greatest problem, however, is overfamiliarity with the robot's redundant motions so that an individual places himself in a hazardous position while programming the robot or performing maintenance on it.

2. Control Errors. Intrinsic faults within the control system of the robot, errors in software, electromagnetic interference, and radio frequency interference are control errors. In addition, these errors can occur due to faults in the hydraulic, pneumatic, or electrical subcontrols associated with the robot or robot system.

3. Unauthorized Access. Entry into a robot's safeguarded area is hazardous because the person involved may not be familiar with the safeguards in place or their activation status.

4. Mechanical Failures. Operating programs may not account for cumulative mechanical part failure, and faulty or unexpected operation may occur.

5. Environmental Sources. Electromagnetic or radio-frequency interference (transient signals) should be considered to exert an undesirable influence on robotic operation and increase the potential for injury to any person working in the area. Solutions to environmental hazards should be documented prior to equipment start-up.

6. Power Systems. Pneumatic, hydraulic, or electrical power sources that have malfunctioning control or transmission elements in the robot power system can disrupt electrical signals to the control and/or power-supply lines. Fire risks are increased by electrical overloads or by use of flammable hydraulic oil. Electrical shock and release of stored energy from accumulating devices also can be hazardous to personnel.

7. Improper Installation. The design, requirements, and layout of equipment, utilities, and facilities of a robot or robot system, if inadequately done, can lead to inherent hazards.

IV. INVESTIGATION GUIDELINES.

. MANUFACTURED, REMANUFACTURED, AND REBUILT ROBOTS.

1. All robots should meet minimum design requirements to ensure safe operation by the user. Consideration needs to be given to a number of factors in designing and building the robots to industry standards. If older or obsolete robots are rebuilt or remanufactured, they should be upgraded to conform to current industry standards.

2. Every robot should be designed, manufactured, remanufactured, or rebuilt with safe design and manufacturing considerations. Improper design and manufacture can result in hazards to personnel if minimum industry standards are not conformed to on mechanical components, controls, methods of operation, and other required information necessary to insure safe and proper operating procedures. To ensure that robots are designed, manufactured, remanufactured, and rebuilt to ensure safe operation, it is recommended that they comply with Section 4 of the ANSI/RIA R15.06-1992 standard for Manufacturing, Remanufacture, and Rebuild of Robots.

I. INSTALLATION.

1. A robot or robot system should be installed by the users in accordance with the manufacturer's recommendations and in conformance to acceptable industry standards. Temporary safeguarding devices and practices should be used to minimize the hazards associated with the installation of new equipment. The facilities, peripheral equipment, and operating conditions which should be considered are:

a. Installation specifications;
b. Physical facilities;
c. Electrical facilities;
d. Action of peripheral equipment integrated with the robot;
e. Identification requirements;
f. Control and emergency stop requirements; and
g. Special robot operating procedures or conditions.

2. To ensure safe operating practices and safe installation of robots and robot systems, it is recommended that the minimum requirements of Section 5 of the ANSI/RIA R15.06-1992, Installation of Robots and Robot Systems be followed. In addition, OSHA's Lockout/Tagout standards (29 CFR 1910.147 and 1910.333) must be followed for servicing and maintenance.

V. CONTROL AND SAFEGUARDING PERSONNEL.

For the planning stage, installation, and subsequent operation of a robot or robot system, one should consider the following.

0. **RISK ASSESSMENT**. At each stage of development of the robot and robot system a risk assessment should be performed. There are different system and personnel safeguarding requirements at each stage. The appropriate level of safeguarding determined by the risk assessment should be applied. In addition, the risk assessments for each stage of development should be documented for future reference.

1. **SAFEGUARDING DEVICES**. Personnel should be safeguarded from hazards associated with the restricted envelope (space) through the use of one or more safeguarding devices:

a. Mechanical limiting devices;
b. Nonmechanical limiting devices;
c. Presence-sensing safeguarding devices;
d. Fixed barriers (which prevent contact with moving parts); and
e. Interlocked barrier guards.

2. **AWARENESS DEVICES**. Typical awareness devices include chain or rope barriers with supporting stanchions or flashing lights, signs, whistles, and horns. They are usually used in conjunction with other safeguarding devices.

2. **SAFEGUARDING THE TEACHER**. Special consideration must be given to the teacher or person who is programming the robot. During the teach mode of operation, the person performing the teaching has control of the robot and associated equipment and should be familiar with the operations to be programmed, system interfacing, and control functions of the robot and other equipment. When systems are large and complex, it can be easy to activate improper functions or sequence functions improperly. Since the person doing the training can be within the robot's restricted envelope, such mistakes can result in accidents. Mistakes in programming can result in unintended movement or actions with similar results. For this reason, a restricted speed of 250 mm/§ or 10 in/§ should be placed on any part of the robot during training to minimize potential injuries to teaching personnel.

Several other safeguards are suggested in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard to reduce the hazards associated with teaching a robotic system.

4. **OPERATOR SAFEGUARDS**. The system operator should be protected from all hazards during operations performed by the robot. When the robot is operating automatically, all safeguarding devices should be activated, and at no time should any part of the operator's body be within the robot's safeguarded area.

For additional operator safeguarding suggestions, see the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.6.

5. **ATTENDED CONTINUOUS OPERATION**. When a person is permitted to be in or near the robots restricted envelope to evaluate or check the robots motion or other operations, all continuous operation safeguards must be in force. During this operation, the robot should be at slow speed, and the operator would have the robot in the teach mode and be fully in control of all operations.

Other safeguarding requirements are suggested in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.7.

6. **MAINTENANCE AND REPAIR PERSONNEL**. Safeguarding maintenance and repair personnel is very difficult because their job functions are so varied. Troubleshooting faults or problems with the robot, controller, tooling, or other associated equipment is just part of their job. Program touchup is another of their jobs as is scheduled maintenance, and adjustments of tooling, gages, recalibration, and many other types of functions.

While maintenance and repair is being performed, the robot should be placed in the manual or teach mode, and the maintenance personnel perform their work within the safeguarded area and within the robots restricted envelope. Additional hazards are present during this mode of operation because the robot system safeguards are not operative.

To protect maintenance and repair personnel, safeguarding techniques and procedures as stated in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.8, are recommended.

7. **MAINTENANCE**. Maintenance should occur during the regular and periodic inspection program for a robot or robot system. An inspection program should include, but not be limited to, the recommendations of the robot manufacturer and manufacturer of other associated robot system equipment such as conveyor mechanisms, parts feeders, tooling, gages, sensors, and the like.

These recommended inspection and maintenance programs are essential for minimizing the hazards from component malfunction, breakage, and unpredicted movements or actions by the robot or other system equipment. To ensure proper maintenance, it is recommended that periodic maintenance and inspections be documented along with the identity of personnel performing these tasks.

8. **SAFETY TRAINING**. Personnel, who program, operate, maintain, or repair robots or robot systems should receive adequate safety training, and they should be able to demonstrate their competence to perform their jobs safely. Employers can refer to OSHA's publication 2254 (Revised), "Training Requirements in OSHA Standards and Training Guidelines."

9. **GENERAL REQUIREMENTS**. To ensure minimum safe operating practices and safeguards for robots and robot systems covered by this instruction, the following sections of the ANSI/RIA R15.06-1992 must also be considered:

a. Section 6 - Safeguarding Personnel;
b. Section 7 - Maintenance of Robots and Robot Systems;
c. Section 8 - Testing and Start-up of Robots and Robot Systems; and
d. Section 9 - Safety Training of Personnel.

Robots or robotic systems must comply with the following regulations: Occupational Safety and Health Administration, OSHA 29 CFR 1910.333, Selection and Use of Work Practices, and OSHA 29 CFR Part 1910.147, The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout).

Robotics in the Workplace

Robot Applications

Robots are machines that load and unload stock, assemble parts, transfer objects, or perform other tasks.

Robots are used for replacing humans who were performing unsafe, hazardous, highly repetitive, and unpleasant tasks. They are utilized to accomplish many different types of application functions such as material handling, assembly, arc welding, resistance welding, machine tool load/unload functions, painting/spraying, etc.

Studies in Sweden and Japan indicate that many robot accidents have not occurred under normal operating conditions but rather during programming, program touch-up, maintenance, repair, testing, setup, or adjustment. During many of these operations, the operator, programmer or corrective maintenance worker may temporarily be within the robot's working envelope where unintended operations could result in injuries.

All industrial robots are either servo or non-servo controlled. Servo robots are controlled through the use of sensors which are employed to continually monitor the robot's axes for positional and velocity feedback information.

This feedback information is compared on an on-going basis to pre-taught information which has been programmed and stored in the robot's memory. Non-servo robots do not have the feedback capability of monitoring the robot's axes and velocity and comparing with a pre-taught program. Their axes are controlled through a system of mechanical stops and limit switches to control the robot's movement.

Type of potential hazards

The use of robotics in the workplace also can pose potential mechanical and human hazards.

Mechanical hazards might include workers colliding with equipment, being crushed, or trapped by equipment, or being injured by falling equipment components. For example, a worker could collide with the robot's arm or peripheral equipment as a result of unpredicted movements, component malfunctions, or unpredicted program changes.

A worker could be injured by being trapped between the robot's arm and other peripheral equipment or being crushed by peripheral equipment as a result of being impacted by the robot into this equipment.

Mechanical hazards also can result from the mechanical failure of components associated with the robot or its power source, drive components, tooling or end-effector, and/or peripheral equipment. The failure of gripper mechanisms with resultant release of parts, or the failure of end-effector power tools such as grinding wheels, buffing wheels, deburring tools, power screwdrivers, and nut runners to name a few.

Human errors can result in hazards both to personnel and equipment. Errors in programming, interfacing peripheral equipment, connecting input/output sensors, can all result in unpredicted movement or action by the robot which can result in personnel injury or equipment breakage.

Human errors in judgment result frequently from incorrectly activating the teach pendant or control panel. The greatest human judgment error results from becoming so familiar with the robot's redundant motions that personnel are too trusting in assuming the nature of these motions and place themselves in hazardous positions while programming or performing maintenance within the robot's work envelope.

Robots in the workplace are generally associated with the machine tools or process equipment. Robots are machines, and as such must be safeguarded in ways similar to those presented for any hazardous remotely controlled machine.

Various techniques are available to prevent employee exposure to the hazards which can be imposed by robots. The most common technique is through the installation of perimeter guarding with interlocked gates. A critical parameter relates to the manner in which the interlocks function. Of major concern is whether the computer program, control circuit, or the primary power circuit, is interrupted when an interlock is activated. The various industry standards should be investigated for guidance; however, it is generally accepted that the primary motive power to the robot should be interrupted by the interlock.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL MICROROBOT

Aluminio

Aluminio de símbolo Al, es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 13 y se encuentra en el grupo 13 de la tabla periódica.

Propiedades

Es de color plateado y muy ligero, su masa atómica es 26,9815; tiene un punto de fusión de 660 ºC, un punto de ebullición de 2.467 ºC y una densidad relativa de 2,7. Es un metal muy electropositivo y altamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva.

Tiene la propiedad de reducir muchos compuestos metálicos a sus metales básicos. Entre sus compuestos más importantes están el óxido, el hidróxido, el sulfato y el sulfato mixto. El óxido de aluminio es anfótero, es decir, presenta a la vez propiedades ácidas y básicas. El cloruro de aluminio anhidro es importante en la industria petrolífera. Muchas gemas (el rubí y el zafiro, por ejemplo) consisten principalmente en óxido de aluminio cristalino.

Estado natural

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre; sólo los elementos no metálicos oxígeno y silicio son más abundantes. Se encuentra normalmente en forma de silicato de aluminio puro o mezclado con otros metales como sodio, potasio, hierro, calcio y magnesio, pero nunca como metal libre. Los silicatos no son menos útiles ya que es extremamente difícil y por tanto muy caro extraer el aluminio de ellas. La bauxita, un óxido de aluminio hidratado impuro es la fuente comercial de aluminio y de sus compuestos.

Aplicaciones

Un volumen dado de aluminio pesa menos de 1/3 del mismo volumen de acero. Los únicos metales más ligeros son el litio, el sodio, el berilio y el magnesio. Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios, automóviles y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de combustión interna.

Solamente presenta un 63% de la conductividad eléctrica del cobre para alambres de un tamaño dado, pero pesa menos de la mitad. Un alambre de aluminio de conductividad comparable a un alambre de cobre es más grueso, pero sigue siendo más ligero que el de cobre. El peso tiene mucha importancia en la transmisión de electricidad de alto voltaje a larga distancia, y actualmente se usan conductores de aluminio para transmitir electricidad a 700.000 voltios o más.

Este metal se utiliza cada vez más en arquitectura tanto con propósitos estructurales como ornamentales. Las tablas, las contraventanas y las láminas de aluminio constituyen excelentes materiales de construcción. Se utiliza también en reactores nucleares a baja temperatura porque absorbe relativamente pocos neutrones. Con el frío el aluminio se hace más resistente, por lo que se usa a temperaturas criogénicas. El papel de aluminio de 0,018 cm de espesor, actualmente muy utilizado en usos domésticos, protege los alimentos y otros productos perecederos. Debido a su poco peso se moldea fácilmente y es compatible con comidas y bebidas, el aluminio se usa mucho en contenedores, envoltorios flexibles, botellas y latas de fácil apertura. El reciclado de dichos recipientes es una medida de ahorro de energía cada vez más importante. La resistencia del aluminio a la corrosión por el agua de mar también lo hace útil para fabricar cascos de barco y otros mecanismos acuáticos.

Se puede preparar una amplia gama de aleaciones que funcionen como recubrimientos y aleaciones forjadas que proporcionen al metal más fuerza, resistencia a la corrosión y a temperaturas elevadas. Algunas de las nuevas aleaciones pueden utilizarse como planchas de blindaje para tanques y otros vehículos militares

Plásticos

La palabra plástico se usó originalmente como adjetivo para denotar un cierto grado de movilidad y facilidad de adquirir una forma. En la actualidad los plásticos se clasifican en: termoplásticos y termofijos que son los dos tipos fundamentales de plásticos en base a sus características de deformación a altas temperaturas.

Termoplásticos se componen de moléculas ramificadas pero no unidas por enlaces transversales. Al calentarse las cadenas individuales se deslizan y provocan un flujo plástico. Por tanto, se pueden derretir y moldear una y otra vez por calentamiento y enfriamiento, lo que permite utilizar de nuevo los desperdicios. No ocurren cambios químicos durante la deformación, pero el termoplástico puede quemarse en alguna medida. En consecuencia, debe tenerse cuidado de no degradar, descomponer o inflamar estos materiales. Su temperatura de reblandecimiento varía con el tipo y la calidad del polímero. Son solubles en disolventes específicos. En general ofrecen mayor resistencia al impacto, más facilidad de tratamiento y adaptabilidad a diseños complejos.

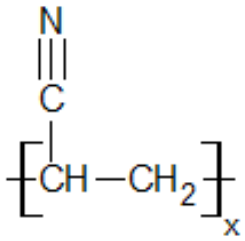
Termofijos son resinas que experimentan un cambio químico llamado curado, durante su elaboración a fin de formar estructuras con enlaces transversales y tornarse permanentemente insolubles e infusibles. Por tanto, no se pueden derretir y procesar de nuevo. Los desperdicios de polímeros termofijos deben ser desechados o utilizados como relleno de bajo costo en otros productos. Se suministran en forma líquida o como polvo de moldeo sólido parcialmente polimerizado. Cuando aún no han sido curados, los termofijos se pueden moldear para darles la forma al producto terminado con o sin aplicación mediante productos químicos (agentes de curado) o calor.

ABS

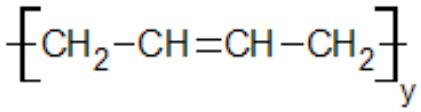
El ABS es el nombre dado a una familia de termoplásticos. El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno.

Las primeras formulaciones se fabricaban a través de la mezcla mecánica de, o los ingredientes secos, o la mezcla del látex de un caucho basado en butadieno y la resina del copolímero acrilonitrilo-estireno (SAN). Aunque este producto tenía buenas propiedades comparado con otros materiales disponibles en aquellos años, tenía varias deficiencias entre las que se puede contar una mala capacidad para ser procesado así como también una falta de homogeneidad.

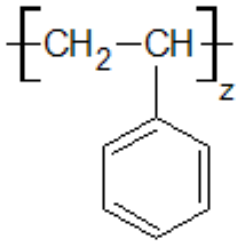
Poliacrilonitrilo



Polibutadieno



Poliestireno



Para mejorar sus propiedades se fueron incorporando modificaciones en el proceso. El más exitoso de estos consistió en la polimerización del acrilonitrilo–estireno en presencia del caucho. El caucho en un principio tenía un alto contenido en acriolonitrilo y fueron reemplazados por otros con bajo contenido como el polibutadieno, el caucho natural, el caucho estireno butadieno y elastómeros acrílicos.

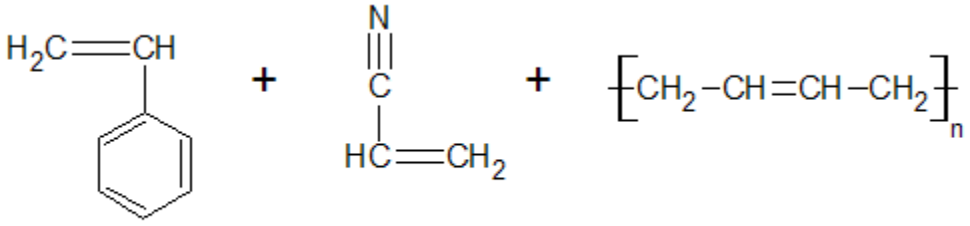
En la actualidad el **ABS** se produce, preponderantemente, por medio de la polimerización del estireno y el acrilonitrilo en presencia de polibutadieno, quedando como producto una estructura de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN (estireno acrilonitrilo) injertados en él.

Características del ABS

El rasgo más importante del ABS es su gran tenacidad, incluso a baja temperatura (sigue siendo tenaz a -40°C). Además es duro y rígido; resistencia química aceptable; baja absorción de agua, por lo tanto buena estabilidad dimensional; alta resistencia a la abrasión; se recubre con una capa metálica con facilidad. El ABS se puede, en una de sus variantes, cromar por electrólisis dándole distintos baños de metal a los cuales es receptivo.

Estructura del ABS

La estructura del ABS es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno – acrilonitrilo) y un compuesto elástico principalmente el polímero de butadieno. La estructura con la fase elastómera del polibutadieno (forma de burbujas) inmersa en una dura y rígida matriz SAN.



Estireno Acrilonitrilo Polibutadieno

El ABS es un plástico más fuerte, por ejemplo, que el poliestireno debido a los grupos nitrilo. Estos son muy polares, así que se atraen mutuamente permitiendo que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas de ABS, haciendo el material más fuerte. También el polibutadieno, con su apariencia de caucho, hace al ABS más resistente que el poliestireno.

Estructura Química

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura así como dureza, propiedades muy apreciadas en ciertas aplicaciones como son equipos pesados o aparatos electrónicos.

Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos.

El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

Esta mezcla de propiedades, llamada por los ingenieros químicos sinergia, indica que el producto final contiene mejores propiedades que la suma de ellos.

Propiedades Físicas

Fuerza tensil: 40-50Mpa
Fuerza al Impacto: 10-20Kj/m^2
Coeficiente de expansión térmica: 70-90x10^{-6}
Temperatura de uso máximo: 80-95ºC
Densidad: 1.0-1.05 g/cm^3

Resistencia a químicos

Ácido diluido: Excelente
Álcali diluido: Excelente
Aceites y grasas: Excelente
Hidrocarburos alifáticos: Moderado
Hidrocarburos halogenados: Pobre
Hidrocarburos aromáticos: Pobre
Alcoholes: Pobre (variable)

MANTENIMIENTO A ROBOTS INDUSTRIALES

El mantenimiento con en cualquier máquina es importante ya que de ello depende su funcionalidad, por lo cual es imprescindible tener algunas consideraciones para el cuidado del Robot y con ello se prolongará la vida del mismo. La facilidad de mantenimiento y reparación debe ser un objeto primordial en el diseño del Robot.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo involucra las condiciones apropiadas para el funcionamiento del Robot. Cosas así reducen el riesgo de calor, estancamiento, vibración, ruido eléctrico, rocíos líquidos, gases, partículas dañinas, riegos de incendio y explosiones que necesitan ser tomadas en cuenta cuando se determina el lugar de trabajo del Robot. Los elementos clave del mantenimiento preventivo pueden ser llevados a cabo durante la fase de diseño del proyecto del Robot porque muchos problemas potenciales pueden diseñarse fuera del mismo. Esto es debido a que la gente debería estar involucrada en el mantenimiento desde la etapa de diseño.

La seguridad de los trabajadores. Controlando el Robot o sólo pasando por el área del Robot debiera ser una consideración primaria.

La seguridad del Robot. Debe ser la siguiente área de interés.

Mantenimiento periódico fijo

Es importante establecer un mantenimiento de este tipo ya que podemos reducir en gran medida el tiempo en el cual esté destinado a un mantenimiento completo del Robot, de esta forma estaremos seguros al utilizarlo porque cada sistema que integre al Robot estará continuamente supervisado. La inspección del Robot se hace al principio o final de un cambio de turno del personal u herramental ya que deben incluirse pruebas de todo el equipo de seguridad y las señales de uso, goteras de cualquier tipo, basura o la propia lubricación.

El Robot necesita estar limpio y en buenas condiciones de trabajo para que sea mejor su desempeño. Su sistema de ventilación debe estar limpio ya que sin la ventilación apropiada, las partes eléctricas y electrónicas no funcionarán apropiadamente. Los movimientos inesperados o ruidos deben ser investigados ya que pueden ser signos de un problema mayor. La calidad del trabajo del Robot debe ser revisada.

Calibración del Robot

Los movimientos mecánicos producen un uso físico y electrónico de las fuentes de alimentación, sensores y convertidores analógicos-digitales cambian su valor con el tiempo provocando que la exactitud y repetibilidad de los movimientos del Robot disminuyan. Los suministros de energía están fuera de tolerancia y son síntomas de que una otra pieza del Robot está defectuosa. El mantenimiento preventivo debe ser incluido totalmente para revisar los posibles problemas de la exactitud y repetibilidad.

Cuando estos problemas surgen pueden ser corregidos a través de la recalibración del Robot, el ajuste o reemplazo de partes mecánicas ó electrónicas. Si la programación del Robot esta basada en la tarea, puede ser necesario volver a hacer la programación. En cualquier arreglo si la calibración del robot no se verifica y se corrige periódicamente, la calidad del trabajo hecha por el Robot disminuirá con su uso.

Los siguientes tres tipos de calibración son de gran utilidad:

1. Verificar que el Robot se detenga cuando regrese a su posición de inicio en el momento que se le dé la orden hacerlo.

2. Verificar que las salidas eléctricas de energía estén dentro de sus tolerancias.

3. Verificar que la presión (hidráulica o neumática) que salga del suministro esté dentro de los límites requeridos.

Programas de Diagnóstico

Es trabajo del diseñador el realizar programas de diagnóstico de un Robot que son usados para determinar si el Robot está trabajando apropiadamente o no. Si el robot no está trabajando apropiadamente el diagnóstico intenta identificar cual es el error. El Robot debe también venir con manuales de mantenimiento que ofrecen indicaciones adicionales en los problemas y soluciones. En algunos casos es usada la inteligencia artificial que ayuda a diagnosticar problemas con el Robot. Pero esta inteligencia toma la forma de un sistema experto. Cuando el programa de diagnóstico del sistema experto empieza, pregunta al operador por una información específica acerca del problema y le indica al operador que prueba debe de realizar.

Generalmente el diagnóstico debe ser dirigido como si el Robot estuviera dividido en sistemas separados.

- Fuente de alimentación
- Sistema de potencia
- Sistema de control
- Robot

Si el controlador tiene una interfase de computadora e incluye las señales que están siendo enviadas al Robot puede ser posible usar una computadora externa para revisar la salida del controlador del Robot con el controlador desconectado del resto del Robot. Si el sistema de alimentación del Robot no es la adecuada puede originar problemas. Antes de concluir que el Robot esta mal es necesario revisar la salida de la fuente de alimentación. Si es posible la fuente de alimentación debe ser revisada aparte mientras esté separada del Robot.

Si el controlador del Robot y la fuente de alimentación están funcionando correctamente, el problema está probablemente en el Robot. Si el Robot usa un sistema servo-controlado de lazo abierto se le puede ordenar moverse y las mediciones pueden ser tomadas para saber que tan bien lleva a cabo la orden. Si el Robot tiene sensores, la lectura del sensor puede ser comparado con la posición actual del Robot.

Si el Robot usa un sistema servo-controlado de lazo cerrado los esfuerzos del sistema del servo por corregir la posición del Robot pueden enmascarar los problemas reales del Robot. Un problema con el sistema del servo y un problema con el Robot pueden parcialmente cancelar otra salida. Es por lo tanto deseable desconectar primero el sistema de servo corrección para simplificar el diagnóstico. El Robot puede ser ordenado para moverse a una posición y ser revisado para una respuesta adecuada, mientras el sistema de servo corrección puede ser revisado por su habilidad para generar señales de corrección.

Referencias

[1] Mangonon, Pat L., *Ciencia de Materiales Selección y Diseño*, Prentice Hall, 2001

[2] Barrientos, Peñín, Balaguer, Aracil *Fundamentos de Robótica 2ª edición,* Mc Graw Hill, 2007

[3] American National Standards Institute (ANSI), *Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements*

[4] Seling, J. M., *Introductory Robotics*, Prentice Hall

[5] Driver, Walter E., *Química y Tecnología de los Plásticos*, Compañía Editorial, 1991

[6] Grandilli, Peter A., *Technician's Handbook of Plastics*, Van Nostrand Reinhold Company, 1981

[7] Brown, R. L. E., *Design and Manufacture of Plastic Parts*, Wiley-Intercience Publication1980.

[8] International Organization for Standardization (ISO), *Robots for industrial environments - Safety requirements*

[9] Canadian Standards Association (CSA), *Industrial Robots and Robot Systems. Applies to the manufacture*

[10] American Welding Society (AWS), *Specification for Robotic Arc Welding Safety*

[11] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *Robotics in the Workplace*