

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MANIPULADOR AUTOMÁTICO
APLICADO AL PROCESO DE ENSAMBLE**

**ALBERLY QUINTERO MANZANO
ARBEY HERNANDEZ GRANADOS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
BUCARAMANGA
2004**

UNAB - BIBLIOTECA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MANIPULADOR AUTOMÁTICO
APLICADO AL PROCESO DE ENSAMBLE**

VENDEDOR	FECHA	CLASIFICACION
Obsequio	01 DIC 2004	IMT
PRECIO \$ 30.000 =	059765	1984

**ALBERLY QUINTERO MANZANO
ARBELY HERNANDEZ GRANADOS**



Tesis de Grado

Director

M.S.C. Ing. OMAR LENGERKE PEREZ

Asesores

Ph.D.Dr.Sc.Ing. ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ MONER

M.S.C. Ing. JOHN FABER ARCHILA DIAZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
BUCARAMANGA
2004**

UNAB - BUCARAMANGA

DEDICATORIA

*A Dios, él nos muestra el camino
para alcanzar nuestros ideales.*

*A mi padre, mi maestro y consejero;
A mi madre, por su afecto y cariño;
Ustedes son la base de mi vida profesional*

*A mis hermanos, que siempre han sido mis amigos
y ayuda durante toda mi vida.*

A mis familiares, mi novia, amigos y compañeros.

Alberly

*Primeramente a Dios, porque es quien nos permite
vivir y lograr las metas que nos trazamos.*

*A mis padres quienes a lo largo de estos años me han
aconsejado y apoyado, con mucho esfuerzo y amor.*

*A mis hermanos por estar presentes en los momentos
que los quiero tener cerca.*

A la niña que quiero mucho.

Arbey

AGRADECIMIENTOS

Estos agradecimientos van dirigidos a todas las personas que están presentes brindándonos apoyo y ayuda cuando la necesitamos, también a quienes nos dan alientos para seguir adelante.

A nuestro Decano y Asesor, Eduardo Calderón Porras, fue quien nos asignó éste proyecto y fue nuestro apoyo durante toda su realización; a nuestro Director Omar Lengerke Pérez, por sus consejos y colaboración, al Dr. Faustino Muñoz por su asesoría en la investigación.

A todos aquellos que nos han colaborado para que este trabajo se haya llevado a cabo, y a quienes nos dieron la idea de realizarlo.

A Cada uno de los Maestros durante toda nuestra carrera, sus enseñanzas han sido base primordial en el desarrollo de éste proyecto.

A nuestros amigos de siempre, por ayudarnos en el aprendizaje y trabajo en grupo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
GENERALES	4
ESPECÍFICOS	4
JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA O METODOLOGÍA DEL DISEÑO	5
ANTECEDENTES	8
PARQUE INDUSTRIAL DE ROBOTS	10
DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL	14
1. SISTEMAS DE PRODUCCION	16
1.1 PROCESOS DE ENSAMBLE	16
1.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	16
2. MORFOLOGIA DEL ROBOT	19
2.1 ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN ROBOT	19
2.2 CONFIGURACIONES DE ROBOTS INDUSTRIALES	21
2.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ROBOTS	22
2.4 HERRAMIENTAS PARA LA LOCALIZACIÓN DEL ROBOT	24
2.5 CINEMÁTICA DEL MANIPULADOR	27
2.6 JACOBIANO DIRECTO	30
2.7 JACOBIANO INVERSO	31
2.8 ELEMENTOS TERMINALES	31
3. COMPONENTES MECÁNICOS	34
3.1 POTENCIA	34
3.2 TRANSMISIONES Y REDUCTORES	35
3.3 TRANSMISIONES	35
3.4 MECANISMOS DE TRANSMISIÓN	37
3.5 MECANISMOS DE ENGRANAJES	37
3.6 MECANISMOS DE CADENAS	39
3.7 MECANISMOS DE CORREAS	40
3.8 REDUCTORES	40
4. COMPONENTES ELECTRONICOS	42
4.1 MICROCONTOLADORES	42
4.2 MÓDULO LCD (LIQUID CRISTAL DYSPLAY)	44
4.3 TECLADO DE COMANDOS	44
5. ACTUADORES Y SENSORES	46
5.1 ACTUADORES	46
5.2 SENSORES	52
6. SISTEMAS DE CONTROL	58
6.1 SISTEMAS DE CONTROL REALIMENTADOS	58
6.2 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO	58

6.3	SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO	59
6.4	SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO EN COMPARACIÓN CON LOS SISTEMAS EN LAZO ABIERTO	59
7.	DISEÑO MECATRÓNICO DEL MANIPULADOR AUTOMÁTICO	65
7.1	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	65
7.2	SISTEMA MECÁNICO	68
7.3	SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	79
7.4	MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL MANIPULADOR	89
7.5	SOFTWARE DESARROLLADO PARA EL ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MANIPULADOR	103
7.6	MODELO DE CONTROL DE POSICIÓN DE UN MOTOR DC	111
	CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	119
	GLOSARIO	121
	BIBLIOGRAFIA	122
	ANEXOS	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de Diseño mecatrónico.....	5
Figura 2. Metodología de diseño mecatrónico aplicada al diseño y construcción de un manipulador.	6
Figura 3. Instalaciones anuales de robots industriales, 2001 – 2002 y proyecciones para 2003 – 2006.....	11
Figura 4. Existencias operacionales estimadas de robos industriales 2001 – 2002 y proyecciones para 2003 – 2006.....	11
Figura 5. Número de robots por 10.000 personas empleadas en la industria en 2002.....	12
Figura 6. Número de robots por 10.000 trabajadores en línea de producción en la industria del automóvil, años 2001 y 2002.....	12
Figura 7. Índice de precios de robots industriales a efectos de comparación internacional (basado en la tasa de cambio del dólar \$ en 1990), con y sin ajuste de calidad.....	13
Figura 8. Robots de servicio para uso profesional. Existencias a finales de 2002 e instalaciones proyectadas para 2003 – 2006.....	13
Figura 9. Distintos tipos de articulaciones para robots.....	19
Figura 10. Configuraciones más frecuentes en robots industriales.....	20
Figura 11. Robots planares redundantes.....	22
Figura 12. Representación de un vector en coordenadas cartesianas.....	25
Figura 13. Representación de un vector en coordenadas cilíndricas.....	26
Figura 14. Representación de un vector en coordenadas esféricas.....	27
Figura 15. Mecanismo de dedos paralelos para la sujeción de piezas.....	32
Figura 16. Engranaje de dientes rectos.....	37
Figura 17. Engranajes de dientes cónicos rectos.....	38
Figura 18. Tren de engranajes simple.....	38
Figura 19. Tren de engranajes compuesto.....	39
Figura 20. Mecanismo de transmisión con correa.....	40
Figura 21. Diagrama de un Teclado.....	45
Figura 22. Esquema de cilindro neumático de doble efecto.....	47
Figura 23. Motor DC. Esquema y funciones de transferencia.....	49
Figura 24. Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.....	50
Figura 25. Disposición de un codificador óptico (Encoder).....	54
Figura 26. Esquema de funcionamiento de un resolver.....	54
Figura 27. Esquema de funcionamiento de un LVDT.....	56
Figura 28. Diagrama de bloques de un sistema de control industrial.....	61
Figura 29. Lazo de Control del Sistema PWM para un motor con Encoder.....	62
Figura 30. Esquema de un motor de corriente directa controlado por inducido.....	63
Figura 31. Diagrama de bloques del motor DC controlado por inducido.....	64

Figura 32. Diagrama de Flujo de Metodología.....	66
Figura 33. Ejes de referencia de Antebrazo.....	68
Figura 34. Ejes de referencia de Brazo.....	68
Figura 35. Ejes de referencia de Hombro	69
Figura 36. Ejes de referencia de Base Giratoria	69
Figura 37. Tipo de transmisión de la Articulación de la Base	70
Figura 38. Tipo de transmisión de la Articulación del Brazo	71
Figura 39. Tipo de transmisión de la Articulación del Antebrazo	72
Figura 40. Tipo de transmisión de la Articulación del Gripper.....	74
Figura 41. Configuración del Gripper.....	76
Figura 42. Estructura Mecánica Del Manipulador	77
Figura 43. Condiciones de Carga	78
Figura 44. Diagrama de bloques del sistema de control del robot	79
Figura 45. Diagrama Esquemático del circuito maestro.....	80
Figura 46. Diagrama de flujo del programa para el circuito.	81
Figura 47. Diagrama esquemático del circuito esclavo.	82
Figura 48. Diagrama de flujo del programa para el circuito esclavo.	83
Figura 49. Circuito de Potencia.....	84
Figura 50. Diagrama esquemático de la etapa de alimentación y señal de sensores	85
Figura 51. Asignación de ejes de referencia para el manipulador	89
Figura 52. Geometría Manipulador para determinar Cinemática inversa.....	92
Figura 53. Geometría para determinar Angulo Segunda Articulación.....	94
Figura 54. Vista de programa20 desarrollando la cinemática directa	109
Figura 55. Vista de Programa20 variando los ángulos	109
Figura 56. Vista de programa20 en modo de cinemática inversa	110
Figura 57. Modelo de Control de Posición de un Motor DC	112
Figura 58. Respuesta al paso del motor en lazo abierto.....	113
Figura 59. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado.....	114
Figura 60. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional).114	
Figura 61. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional).115	
Figura 62. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 1.7$, $K_i = 20$	115
Figura 63. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 1.7$, $K_i = 20$ ante un disturbio.....	116
Figura 64. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$	116
Figura 65. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$ ante un disturbio.....	117
Figura 66. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$, $K_d = 0.15$	117
Figura 67. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$, $K_d = 0.15$ ante un disturbio	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de sujeción para robots	32
Tabla 2. Herramientas terminales para robots.	33
Tabla 3. Sistemas de transmisión para robots	36
Tabla 4. Características de reductores para robótica	41
Tabla 5. Tipos de sensores internos de robots.	53
Tabla 6. Propiedades físicas de las piezas	69
Tabla 7. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador	89
Tabla 8. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador según la convención de Craig.	104
Tabla 9. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador	105

INTRODUCCIÓN

Actualmente el éxito de las empresas se ve reflejado por el alto grado de automatización con el que desarrollan sus procesos, estos lineamientos son la base primordial para que éstas puedan ofrecer productos de mejor calidad, con un menor costo y en un menor tiempo, factores que son muy importantes a la hora de pensar en competir con las demás industrias (economía global).

La Robótica y la Automatización Industrial se han caracterizado por periodos de constantes innovaciones tecnológicas, el uso de robots industriales se ha extendido a una diversidad de aplicaciones desde las más sencillas hasta las que tienen un alto grado de complejidad; industrias como la del automóvil, alimentos y farmacéutica marcan la pauta; promueven un constante cambio en estas tecnologías, reflejado primordialmente por el control de calidad que deben poseer sus procesos.

No solamente la Robótica y la Automatización Industrial están presentes en los procesos industriales, estas tecnologías se deben apoyar en herramientas como el diseño asistido por computador (CAD) y la manufactura asistida por computador (CAM) que buscan la precisión en estos procesos, programas muy importantes para simular y emular procedimientos antes de comenzar con su fabricación, por la disminución en el tiempo de fabricación.

Hoy por hoy, el costo que representa a las empresas automatizar sus procesos industriales es muy elevado, causado principalmente por el valor de los equipos requeridos; no solamente se necesita invertir mucho dinero, sino que se requiere realizar un estudio minucioso de las variables que pueden afectar al proceso; tales como: el volumen de producción, eficiencia y precisión.

La evolución de la robótica en nuestro país ha sido muy lenta comparado con el desarrollo logrado por países como: Japón, Estados Unidos y algunos pertenecientes a la comunidad europea. En realidad esto se debe a que las creaciones que logran algunos avances, no contemplan un estudio detallado, y tampoco archivan información como guía para quienes deseen continuar con el desarrollo o mejoramiento de estos diseños.

Fabricar y desarrollar estas máquinas en la región generaría un gran impacto tecnológico que impulsaría al desarrollo de nuevas tecnologías; a la vez que su costo de fabricación sería menor en comparación con equipos extranjeros.

En ésta investigación se plantea construir un manipulador automático aplicado al proceso de ensamble, que mas adelante haga parte de una celda de manufactura que se ubicará en el laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería Mecatrónica. Se espera que la investigación sirva para futuros desarrollos y de base para la continuación de otros proyectos de grado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El proceso de ensamble es una de las aplicaciones industriales que requiere de mucha precisión; los altos volúmenes de producción manejados en las industrias exigen de máquinas más rápidas y precisas para mejorar sus niveles de productividad y competitividad con miras a entrar y/o permanecer en mercados globales. Estos procesos, que hasta hace poco eran realizados por humanos se han ido sustituyendo por el trabajo de máquinas automáticas, llamadas robots; máquinas que se desempeñan muy bien para el desarrollo de tareas hostiles y repetitivas.

Las características más importantes para promover la sustitución de un trabajador humano por un robot son las siguientes:

- El ambiente de trabajo es peligroso para el operario.
- El ciclo de trabajo es repetitivo.
- El manejo de la parte o la herramienta seria difícil para los humanos.
- Es una operación de cambios múltiples.
- Hay largas líneas de producción y los relevos no son frecuentes.

Para incrementar la producción en una factoría se requiere desarrollar máquinas más flexibles, que permitan efectuar diferentes tipos de tareas con el menor costo posible; ésta flexibilidad permite a las industrias ahorrar el tiempo de producción y la maquinaria necesaria para fabricar un producto.

Actualmente, las industrias están adquiriendo máquinas mas poderosas para realizar las tareas de fabricación de una manera automatizada; adquirir estas tecnologías para las empresas de nuestra región representa un alto costo. Esta investigación plantea construir un modelo flexible que básicamente es un manipulador de tipo antropomórfico que pueda realizar la labor de ensamble y transporte de piezas; que además cuente con la tecnología necesaria para poder adaptarlo a las necesidades del sector industrial y empresarial de nuestra nación.

Este proyecto hará parte de una primera fase en la construcción de una celda de manufactura que se ubicará en el Laboratorio de Automatización Industrial.

OBJETIVOS

GENERALES

- Diseñar y construir un manipulador automático aplicado al proceso de ensamble.

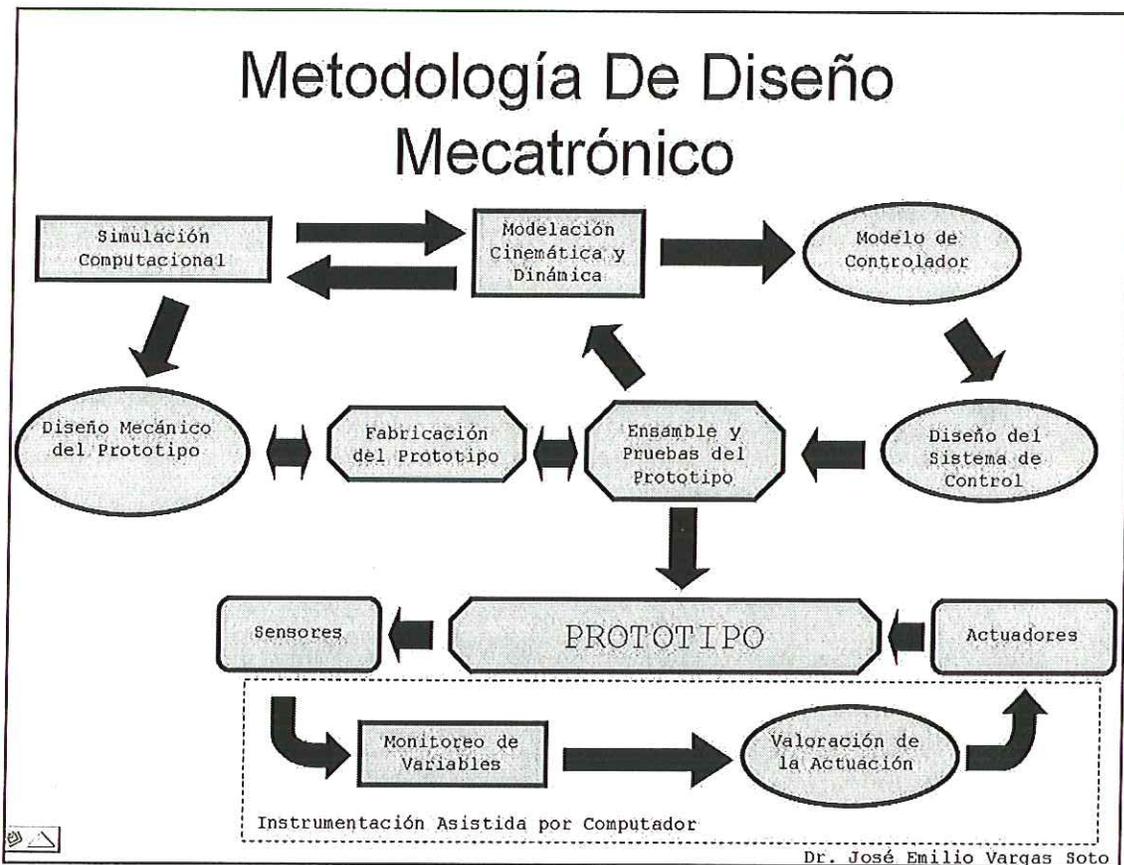
ESPECÍFICOS

- Determinar el número de grados de libertad con los que contará el manipulador para desarrollar el proceso de ensamble.
- Seleccionar el tipo de actuador (neumático, hidráulico, eléctrico) que se encargará de generar el movimiento de los elementos constitutivos del manipulador.
- Cuantificar las variables físicas que afectan el funcionamiento mecánico del manipulador como: la inercia, velocidades, aceleraciones y fuerzas externas.
- Determinar el tipo de configuración industrial que tendrá el manipulador para desarrollar la tarea de ensamble.
- Utilizar la Herramienta matemática Matlab para desarrollar el modelado cinemático del manipulador y asimismo evaluar el comportamiento de éste.
- Crear un modelo sólido computarizado del mecanismo y realizar una animación computarizada de sus respectivos grados de libertad.
- Dotar al manipulador automático de un sistema de percepción de su posición utilizando sensores de posición (encoders) y de presencia.

JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA O METODOLOGÍA DEL DISEÑO

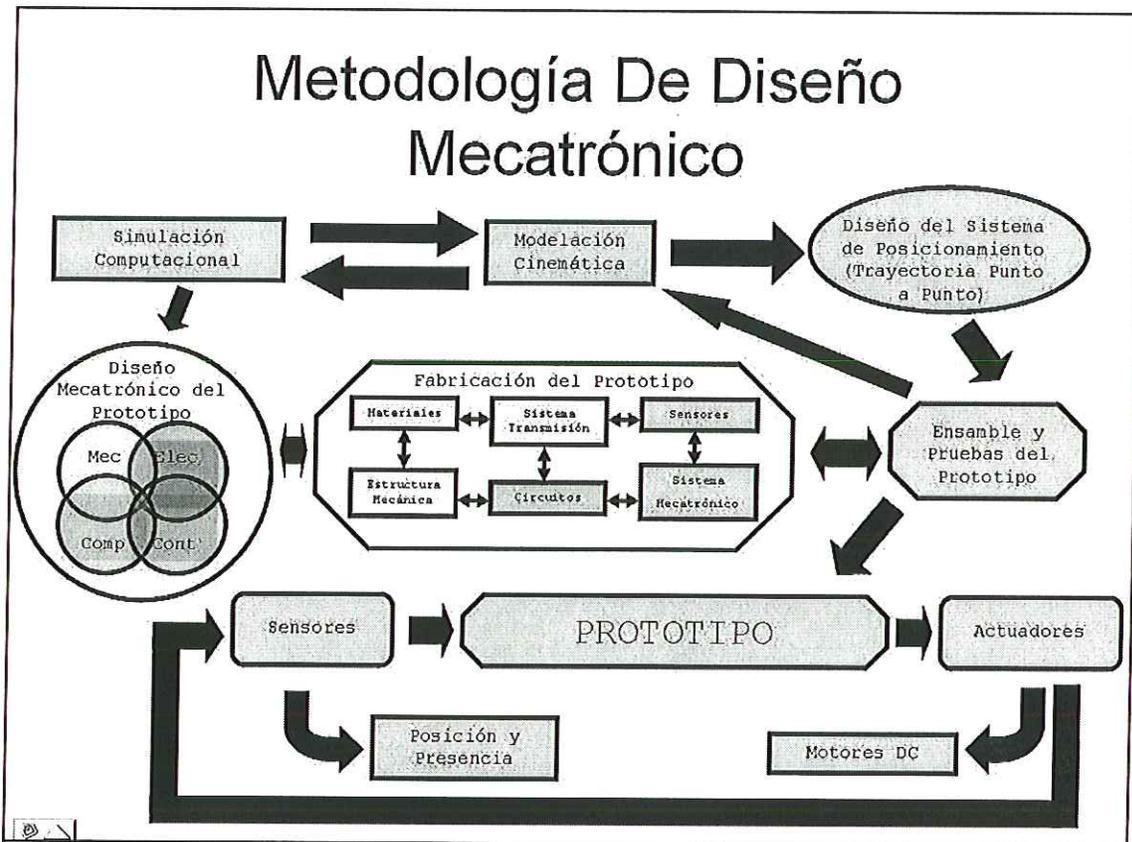
Para el desarrollo y la construcción del manipulador automático se sigue la metodología de diseño mecatrónico planteada por el Doctor José Emilio Vargas Soto; a esta metodología, se le hicieron algunas modificaciones para adaptarla a este proyecto.

Figura 1. Metodología de Diseño mecatrónico.



Dr. José Emilio Vargas Soto

Figura 2. Metodología de diseño mecatrónico aplicada al diseño y construcción de un manipulador.



Del Autor

Dentro de estas etapas se realizan las siguientes acciones

- Recopilación Bibliográfica: realizar una adecuada búsqueda en diferentes fuentes de información (Libros, Internet, Revistas, Tesis) con el fin de obtener conocimiento amplio sobre el tema objeto de estudio.
- Búsqueda de fuentes de información específicas de aquellos elementos que constituyen el modelo: Identificar las características de diseño de cada uno de los elementos que conforman el manipulador, a través de medios de información como catálogos, Datasheets; con el fin de determinar que tan factible sea su utilización.

- Investigación de las variables que intervienen en el proceso: definir que variables físicas afectan el funcionamiento mecánico del manipulador, para evaluar sus posibles incidencias en el funcionamiento normal de éste.

- Desarrollo de un modelo aproximado de la estructura mecánica del manipulador aplicando toda la información que se seleccionó. Se utilizan herramientas de diseño como los programas CAD (Solid Works, Solid Edge) y herramientas computacionales dedicadas a la posición y orientación de robots. Además se realiza el respectivo análisis cinemático para conocer cual es el área de trabajo. Sobre la base de estos lineamientos se construyen las piezas que conforman el modelo, con el material y componentes adecuados. En esta etapa se aplica toda la información consultada, y que requiere el prototipo para el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente.

- Cuando se realizan la ultima etapa que es pruebas finales y puesta en marcha de la metodología de diseño utilizada, debido a que en ésta se van a comprobar las hipótesis propuestas, el funcionamiento correcto de cada una de las partes constitutivas del manipulador automático. Además en dicha etapa se realizan las pruebas hasta conseguir el resultado esperado en el diseño del mecanismo y se efectúan los respectivos cambios para obtener el modelo final.

ANTECEDENTES

A través de los años, el hombre ha querido satisfacer sus necesidades para mejorar su calidad de vida y simplificar las tareas que realiza, para esto ha empleado y desarrollado una serie de máquinas que han evolucionado con el pasar de los años.

Todo comienza con los mismos orígenes de las primeras civilizaciones, realmente no se tiene un registro exacto de cuando empezó ésta revolución tecnológica, pero se cree que los griegos dieron inicio a ésta con la asignación de la palabra *automatos* a máquinas que imitaban los movimientos de los seres vivos; luego aparecieron desarrollos de mecanismos como el gallo de la catedral de Estrasburgo (1352), el león mecánico construido por Leonardo Da Vinci para el rey Luis XII y el pato de Vaucanson. No fue sino hasta finales del siglo XVIII cuando se le dieron aplicaciones industriales a los autómatas; entre las que se destacan las hiladoras hechas por Hargreaves (1770), Crompton (1779), los telares construidos por Cartwright (1785) y Jacquard (1801) éste último se destacaba por poseer una cinta perforada que permitía programar la máquina [5].

A principios de 1920, nace el término robot por intermedio de un escritor checo llamado Karel Capek, quien utilizaba este término en sus obras de ciencia ficción; pero el máximo impulsor de este término y quien llegó a popularizarlo fue el escritor estadounidense de ascendencia rusa Isaac Asimov, el mismo que más tarde enunciaría las tres leyes de la robótica que se van a citar a continuación:

1. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con su inacción permitir que un ser humano sufra daño.
2. Un robot ha de obedecer las órdenes recibidas de un ser humano, excepto si tales órdenes entran en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia mientras tal protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

Tal como sucede como muchas de las ramas de ciencia y tecnología, la robótica nace llena de promesas; con un desarrollo tan rápido que en poco tiempo ha alcanzado metas que se creían para ese momento ciencia ficción.

El posterior desarrollo de la robótica se le debe a firmas como la UNIMATION que hicieron hasta lo imposible para buscar nuevas aplicaciones industriales a la robótica y por hacer de su producto una realidad en los procesos industriales. De ahí en adelante empezaron a aparecer sociedades que se dedicaban a regular y normalizar la robótica, entre las que se destacan la Japan Industrial Robotic Association (JIRA) y La Robotic Industrial Association (RIA).

Desde entonces se ha logrado un gran desarrollo en la robótica y mucho mas en el campo de la robótica industrial; llegando a ser (los robots industriales) un elemento mas, pero importante de la automatización industrial.

El desarrollo del microprocesador ha constituido un gran avance en el campo de la robótica; este pequeño dispositivo puede emplearse como el cerebro de un sistema mecánico. La integración de los sistemas mecánicos y sistemas electrónicos crea el término "Mecatrónico", acuñado por los japoneses para referirse a ellos.

Aportes de la informática en continuo desarrollo y la metodología de la inteligencia artificial, han permitido prever que los robots serian equipos flexibles y capaces de adaptarse a su entorno para tener procesos más productivos en la industria.

Las generaciones de estos robots se siguen una de la otra, la primera generación son brazos capaces de memorizar movimientos repetitivos, manipuladores con sensores internos para realizar sus movimientos con precisión. En la segunda generación estas máquinas poseen sensores externos como tacto o visión para poder retroalimentarse y tomar decisiones sobre su entorno, a estos se les conoce como robots adaptativos. La tercera generación acaba de surgir, emplean inteligencia artificial y hacen uso de la tecnología de los computadores de ahora. Pueden hacer razonamientos lógicos y tomar decisiones, resolver problemas, e interpretar la información proveniente de avanzados sensores.

La robótica industrial ha alcanzado un alto nivel de madurez y la compra e instalación de dichos equipos en las empresas ha dejado de ser aventura para transformarse en una opción razonable de automatización. Aunque el cambio en la apariencia no ha sido significativo, y su estructura y funcionamiento de los modelos modernos son similares a los antiguos a diferente escala, los aspectos mecánicos, de control y programación han sido importantes. Los robots actuales son robustos, rápidos y fiables. Ellos tienen buena capacidad de carga y repetibilidad y su programación es mucho más fácil.

Hacer previsiones sobre robótica, tal como sucede con las tecnologías en rápido desarrollo, es arriesgado. Muchas veces no cumplen con las expectativas y previsiones; no obstante es necesario ver hacia el futuro ya sea a corto o mediano plazo.

Existen algunas publicaciones de congresos internacionales sobre la robótica. Estos son IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), y el International Symposium on Robotics (ISR).

La fuente de información mas importante acerca de la robótica en el mundo y sus previsiones es "World Robotics" [1]. Realizada en conjunto por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE) y la Federación Internacional de Robótica (IFR). La IFR, recopila la información sobre los países asociados y la complementa con los datos macro-económicos reportados por la UNECE. Esta publicación tuvo el nombre de "World Industrial Robots" y a partir de 1998, el título pasó a ser "World Robotics". [3]

PARQUE INDUSTRIAL DE ROBOTS

La publicación mas actualizada de World Robotics [3] para este momento encabeza diciendo: "¿La recuperación esta a la vuelta de la esquina? Los pedidos de robots se incrementaron en un 26 % en la primera mitad del 2003 siendo el nivel más alto grabado hasta el momento. En el periodo del 2003 – 2006 se prevé un crecimiento en todo el mundo con un índice del 7.4 % anual".

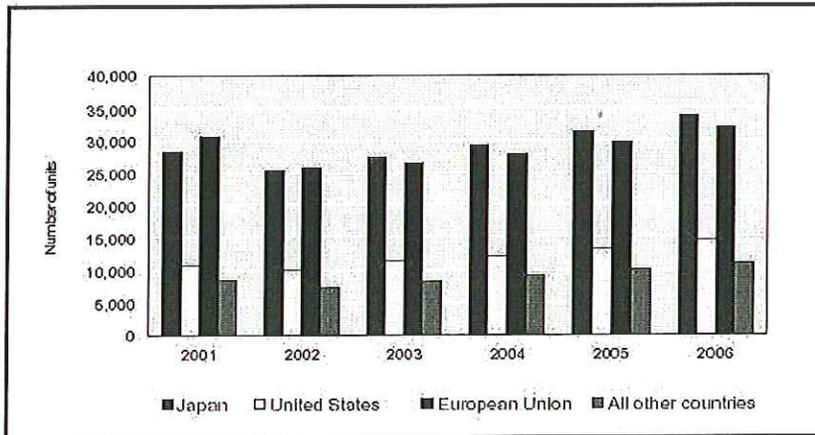
La UNECE/IFR realiza una encuesta trimestral de los pedidos de robots industriales, estas encuestas incluyen las más grandes compañías en el mundo, mostrando un incremento del 26 %, comparado con el periodo del 2002. Este ha sido el mas alto de la historia en todo el mundo exceptuando Norte América, donde fue el tercero mejor reportado en el año. Según las regiones se obtuvieron los siguientes incrementos en los pedidos:

Norte América + 35 %, Europa + 25 %, Asia + 18 %, Otras regiones + 19 %

Los resultados de ventas totales de robots industriales para la primera mitad del 2003 estuvieron por encima de los 80.000, comparados con los 68.600 del mismo periodo del año anterior.

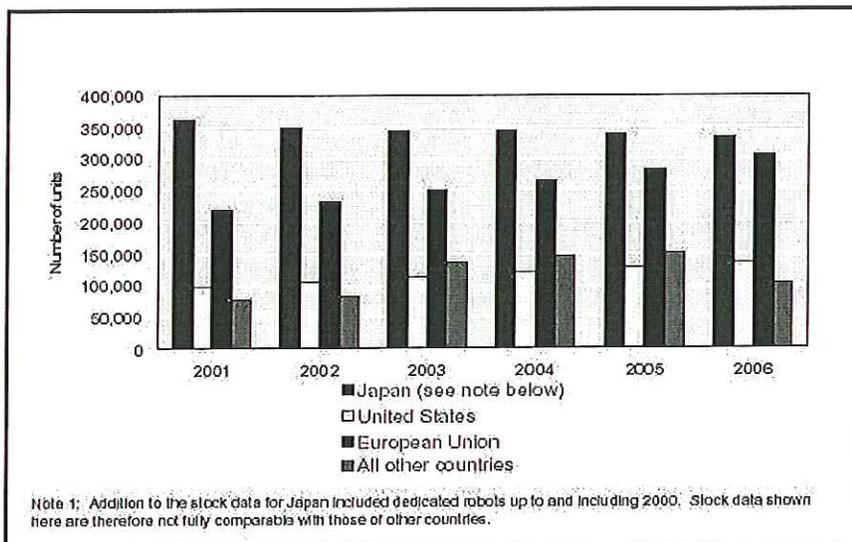
Actualmente el numero de robots presentes en los trabajos industriales es de 770.000 unidades, de las cuales en Japón se encuentran 350.000, 233.000 en la Unión Europea y 104.000 en América del Norte. En Europa, Alemania se encuentra a la cabeza con 105.000 unidades, seguida de Italia 47.000, Francia con 24.000, España con 18.000 y Reino Unido con 14.000.

Figura 3. Instalaciones anuales de robots industriales, 2001 – 2002 y proyecciones para 2003 – 2006.



www.unece.org [3]

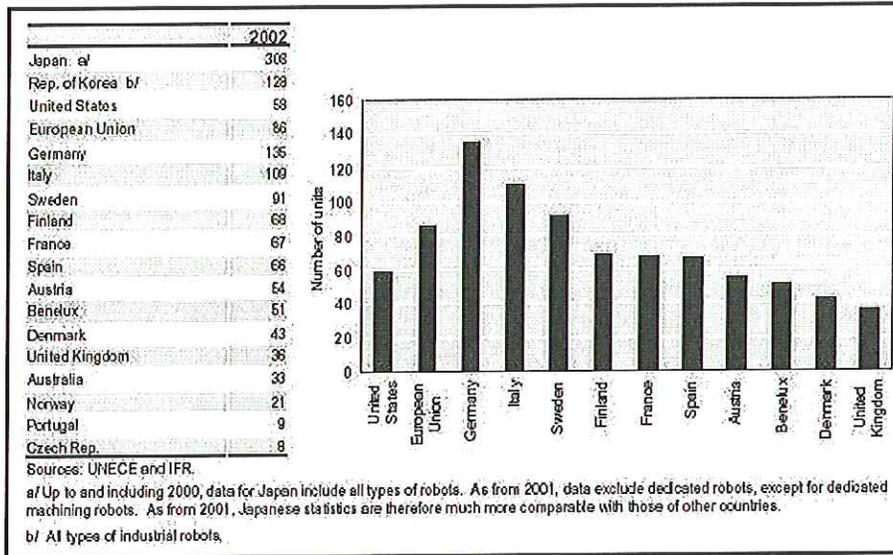
Figura 4. Existencias operacionales estimadas de robos industriales 2001 – 2002 y proyecciones para 2003 – 2006.



www.unece.org [3]

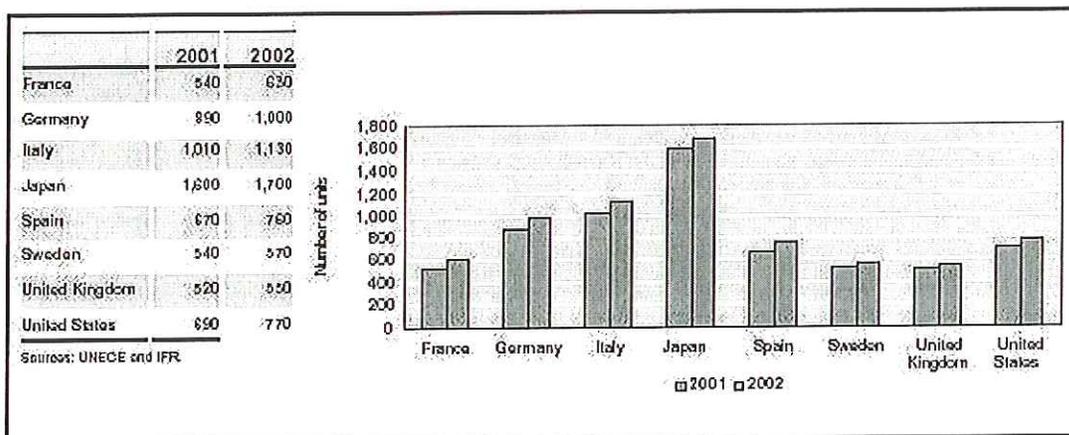
El número de robots presentes en la industria por cada 10.000 empleados para el caso de Japón es de 310, en el caso de Alemania es de 135, 109 en Italia, 91 en Suiza y entre 50 y 70 en Finlandia, Francia, España, Benelux y Estados Unidos. En el sector automotriz el número de robots por cada 10 trabajadores de producción es de uno para el caso de Japón, Alemania e Italia.

Figura 5. Número de robots por 10.000 personas empleadas en la industria en 2002.



www.unece.org [3]

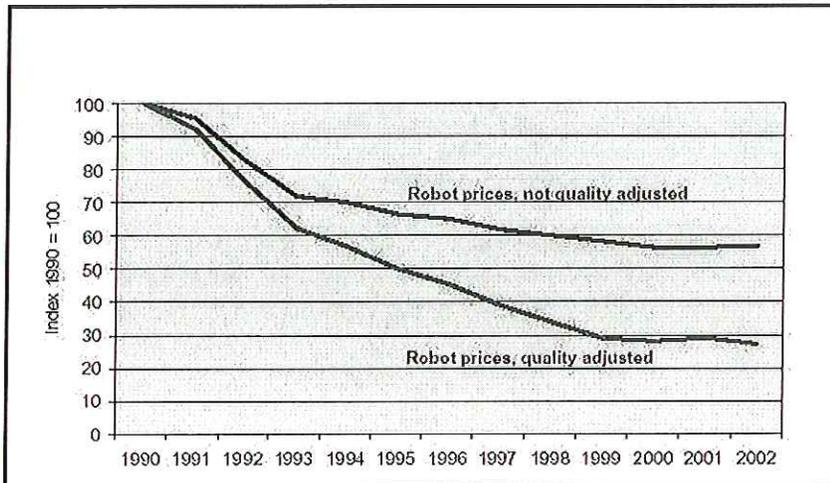
Figura 6. Número de robots por 10.000 trabajadores en línea de producción en la industria del automóvil, años 2001 y 2002



www.unece.org [3]

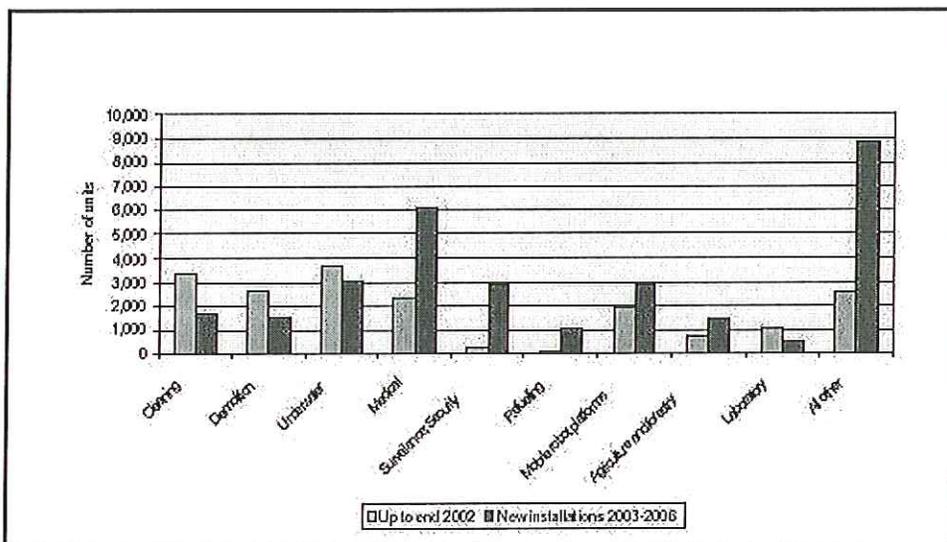
Los precios de los robots industriales han caído de un índice de 100 a 57 para el periodo de 1990-2002, teniendo en cuenta que los robots instalados en los últimos años tienen mayor rendimiento que los instalados en 1990.

Figura 7. Índice de precios de robots industriales a efectos de comparación internacional (basado en la tasa de cambio del dólar \$ en 1990), con y sin ajuste de calidad.



www.unce.org [3]

Figura 8. Robots de servicio para uso profesional. Existencias a finales de 2002 e instalaciones proyectadas para 2003 – 2006



DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL

En la actualidad el robot industrial cuenta con muchas definiciones; que varían según el ente o la norma que los rigen. La característica antropomórfica de un robot industrial más usada es un brazo mecánico. A continuación se enumeran las más relevantes.

- La Japan Industrial Robot Association (JIRA) los define como *"una máquina capaz de realizar movimientos versátiles parecidos a los de nuestras extremidades superiores, con cierta capacidad sensorial y de reconocimiento y capaces de controlar su comportamiento"*.
- La Robot Industrial Association (RIA) de los EUA proporciona la siguiente definición del robot industrial: *"manipulador multifuncional programable capaz de mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales según variadas trayectorias, programadas para realizar diferentes tareas"*.
- La International Standard Organization (ISO) define a un robot como *"un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas"*.
- La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot.

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

Robot: "Manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables, reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tienen la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca."

Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material”.

- La International Federation of Robotics (IFR) en su informe técnico ISO/TR (Sep. 1988) distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots:

“Por robot industrial de manipulación se entiende a una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o mas ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial”.

Clasificación del robot industrial. La clasificación de un robot se puede realizar de diferentes maneras, pero para nosotros su funcionalidad es la más importante, que es la manera como clasifica el robot la Internacional Federation of Robotics (IFR):

- Robot Secuencial
- Robot de trayectoria Controlable
- Robot Adaptativo
- Robot Telemanipulador [5]

1. SISTEMAS DE PRODUCCION

1.1 PROCESOS DE ENSAMBLE

En la actualidad una gran variedad de artículos y productos que salen al mercado son diseñados de tal manera que su construcción sea lo mas sencilla posible, en los procesos para su fabricación se emplean cadenas de producción que van unidas a una serie de complejos sistemas de manufactura para que el desarrollo del producto sea lo más rápido posible; a su vez se emplean técnicas conocidas como procesos de ensamble para la obtención del producto final.

Los procesos de ensamble se pueden caracterizar en dos tipos básicos:

1.1.1 Ensamble Manual. Este tipo de ensamble es realizado por personas que se disponen de tal manera que las operaciones para ensamble de un producto sea secuencial. Todo comienza poniendo la primera pieza en la línea de producción y a medida que ésta avanza, se le van añadiendo las demás partes hasta obtener el producto final.

1.1.2 Ensamble Automatizado. Este tipo de ensamble es realizado por máquinas especializadas que van agregando automáticamente las piezas a ensamblar. Para este procedimiento se emplean dispositivos conocidos como celdas, que generalmente se componen de un robot y de una serie de actuadores neumáticos e hidráulicos que facilitan el posicionamiento de las piezas; también cuenta con elementos sensoriales que le permiten conocer la ubicación de cada una de las piezas a ensamblar.

1.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Con el transcurso del tiempo, las personas han ido evolucionando su manera de hacer las cosas; con los constantes cambios de tecnología que han sucedido, el hombre debe actualizarse para lograr conseguir nuevas soluciones a los problemas o actividades que realiza. Los periodos que demarcan mayores cambios son: Era Agrícola, Era Industrial y Era de la información.

En la primera se presentan un cambio significativo; el hombre ahora puede razonar y sabe que necesita alimentarse, entonces empieza a estudiar agricultura, y a socializar para poder ofrecer estos productos. Poco a poco también se da cuenta que necesita mejorar la forma de cultivar (mejorar la preparación de la tierra, regadío y siembra) y debe empezar a buscar una manera de suplir este arduo trabajo que tenían que hacer los hombres y los animales. Esto llevo al hombre a fabricar maquinas que transformaran la energía (molinos de agua y maquinas de vapor) y desde aquí comienza la segunda era denominada anteriormente como era industrial. La ultima era esta marcada por los grandes avances de la ciencia a mediados del siglo XX, con el desarrollo de la electrónica surgen los procesadores y los computadores dando comienzo a la era de la información, también se desarrollan otros dispositivos como radio, televisión y día a día crecen las formas de comunicación y de transferencia de información. En la medida en que todo avanza, se espera que las labores físicas sean cada vez menos realizadas por los hombres y que más bien se dedique a la operación de tareas que requieran de su intelecto. Con el surgimiento de esta variedad de tecnologías nacieron los sistemas autónomos, base primordial de la automatización industrial.

La automatización industrial es un campo de la fabricación de procesos en la que intervienen los procesos de ensamble automatizado, actualmente éste campo ha tenido un fuerte desarrollo y se esta aplicando a una gran cantidad de tipos de industria, como la del automóvil, farmacéutica y la de los computadores. Esto da como resultado una eficiencia en los procedimientos de construcción de un producto, un alto grado de calidad y precisión. Cuando se incorpora la robótica a la automatización industrial aparecen los sistemas de fabricación flexible.

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial:

- Automatización fija.
- Automatización programable.
- Automatización flexible.

1.2.1 Automatización fija. Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

1.2.2 Automatización programable. Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

1.2.3 Automatización flexible. Es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

2. MORFOLOGIA DEL ROBOT

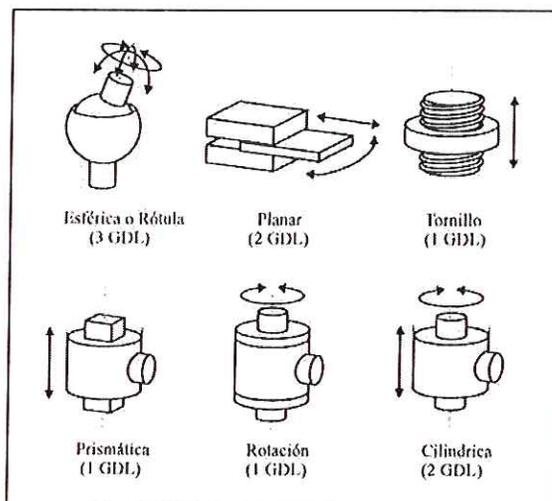
Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales. [5]

2.1 ESTRUCTURA MECÁNICA DE UN ROBOT

Mecánicamente, 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 guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro, o de una combinación de ambos. De este modo son posibles los seis tipos diferentes de articulaciones como se muestra en la figura 9, aunque, en la práctica, en los robots solo se emplean la de rotación y la prismática. [5]

Figura 9. Distintos tipos de articulaciones para robots

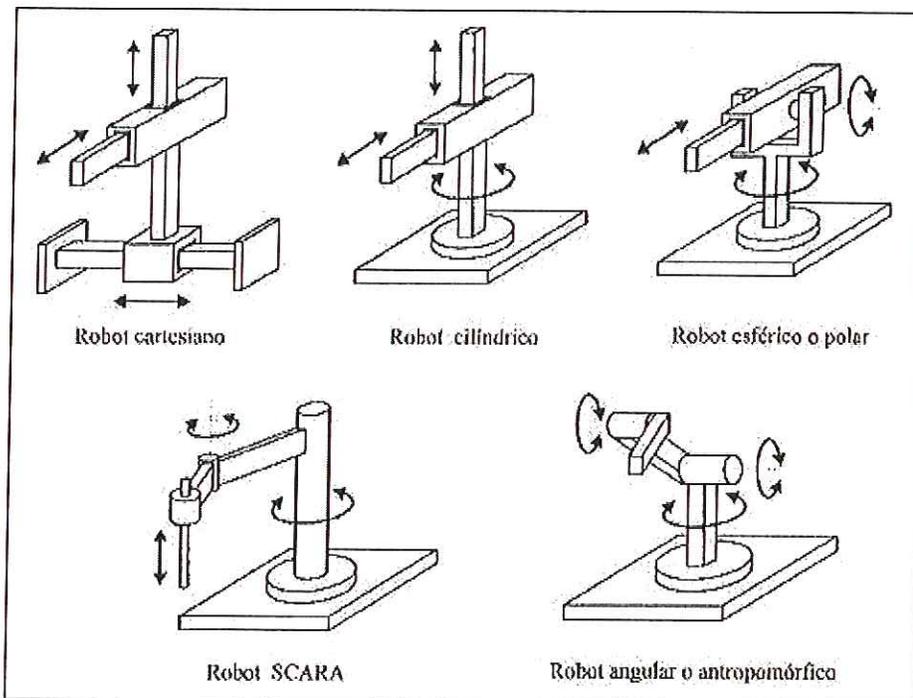


Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad (GDL). En la Figura 9 se indica el número de GDL de cada articulación. El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los grados de libertad de las articulaciones que lo componen. Puesto que las articulaciones empleadas actualmente en los robots industriales son únicamente las de rotación y prismática con un solo GDL cada una, el número de GDL del robot suele coincidir con el número de articulaciones de que se compone.

El empleo de diferentes articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación. Las combinaciones más frecuentes son las representadas en la Figura 10 donde se atiende únicamente a las tres primeras articulaciones del robot, que son las más importantes a la hora de posicionar su extremo en un punto del espacio. [5]

Figura 10. Configuraciones más frecuentes en robots industriales



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

2.2 CONFIGURACIONES DE ROBOTS INDUSTRIALES

2.2.1 Robot cartesiano. Sus tres primeras articulaciones son prismáticas en ejes perpendiculares. El área de trabajo tiene forma paralelepípeda. Su variante porticada es muy costosa pero puede llegar a soportar grandes cargas.

2.2.2 Robot cilíndrico. Su primera articulación es de revolución (eje vertical de cadera) y la segunda y tercera son prismáticas (ejes vertical y horizontal). Suele ser asimétrico.

2.2.3 Robot esférico. Sus dos primeras articulaciones son de revolución (eje vertical de cadera y horizontal de hombro) y la tercera es prismática (con eje perpendicular a la segunda articulación). Puede ser simétrico o asimétrico. El área de trabajo es esférica. Es una configuración robusta que se suele utilizar para robots pesados.

2.2.4 Robot SCARA. (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Con tres ejes verticales, dos son de revolución y uno prismático (suele ser el tercero, pero también puede ser el primero). Se le suele acoplar una muñeca de solamente un giro en eje vertical. Diseñado especialmente para ensamblado y montajes verticales en superficies horizontales.

2.2.5 Robot angular o antropomórfico. Sus tres primeras articulaciones son de revolución (eje vertical de cadera, y dos ejes horizontales de hombro y codo). Puede ser simétrico o asimétrico. El área de trabajo es prácticamente esférica. Es el robot típico y el más utilizado, debido principalmente a su bajo coste.

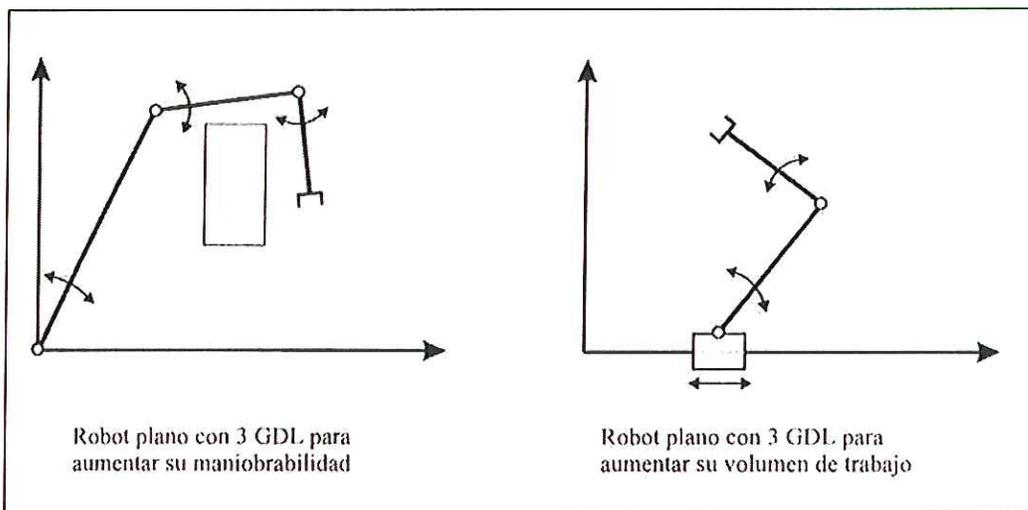
En la práctica, a pesar de ser necesarios seis GDL para tener total libertad en el posicionado y orientación del extremo del robot, muchos robots industriales cuentan con sólo cuatro o cinco GDL, por ser suficientes para llevar a cabo las tareas que se les encomiendan.

Existen también casos opuestos, en los que se precisan más de seis GDL para que el robot pueda tener acceso a todos los puntos de su entorno. Así, si se trabaja en un entorno con obstáculos, el dotar al robot con grados de libertad adicionales le permitirá acceder a posiciones y orientaciones de su extremo a las que, como consecuencia de los obstáculos, no hubiera llegado con seis GDL. Otra situación frecuente es la de dotar al robot de un GDL adicional que le permita

desplazarse a lo largo de un carril, aumentando así el volumen del espacio al que puede acceder. Cuando el número de grados de libertad del robot es mayor que los necesarios para realizar una determinada tarea se dice que el robot es redundante. [5]

La Figura 11 representa las dos situaciones comentadas para el caso de robots planares a los que les bastaría con dos GDL para posicionar su extremo en cualquier punto del plano.

Figura 11. Robots planares redundantes



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

2.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ROBOTS

2.3.1 Área de trabajo o Alcance. Región del espacio hasta donde puede llegar a situarse el punto de referencia de la herramienta del robot. A veces existen ciertas regiones del espacio en que el alcance tiene restricciones, debido a que los ejes de rotación no siempre cubren los 360°.

2.3.2 Capacidad de Carga. Esta característica se fija como un máximo a no ser sobrepasado. La carga afecta a todas las características del robot y hay que contemplarla como una variable, debido a que para cada carga habrá unas flexiones, velocidades, aceleraciones, etc., distintas.

2.3.3 Repetibilidad. La repetibilidad es el radio polar máximo de la envolvente de los distintos puntos alcanzados por el punto de referencia de la herramienta, en ciclos repetidos, en las mismas condiciones de carga y temperatura.

2.3.4 Precisión. La precisión es el grado en que se ajusta la posición del punto medio del punto de referencia de la herramienta respecto a la posición programada, con carga nominal y temperatura normal.

2.3.5 Resolución. La resolución es el incremento mínimo de movimientos que puede ser producido en el punto de referencia de la herramienta.

2.3.6 Velocidad. Esta característica es muy importante en los movimientos largos que realiza el robot, ya que en los cortos no se alcanza, la velocidad máxima. En los robots de montaje acostumbra a ser un factor primordial, pero en otros casos es poco importante, por ejemplo en los robots para soldadura al arco.

2.3.7 Aceleración. Por el contrario esta característica es muy importante en los movimientos cortos del robot. Para conseguir que la aceleración sea grande hay que procurar que las masas de todos los elementos móviles sean pequeñas y que los centros de masa de los elementos que giran estén en el eje de giro, aspecto muy difícil de conseguir, en primer lugar porque al existir varios ejes de giro concatenados, las distintas posiciones de cada articulación desplazan el centro de masas de forma arbitraria; y en segundo lugar porque el contrapesado de cada elemento resulta a veces incómodo para la morfología del robot. Los actuadores deben ser potentes y ligeros al mismo tiempo.

2.3.8 Error por cambio de sentido. El error por cambio de sentido es análogo al error que se aprecia en todos los aparatos de medición de tipo mecánico. Estos nos dan medidas distintas, si nos acercamos con al punto de equilibrio en dos sentidos opuestos.

2.3.9 Deriva. Tendencia a un cierto desplazamiento del punto medio, a lo largo de muchos ciclos, de las posiciones alcanzadas por el punto de referencia de la herramienta.

2.3.10 Fiabilidad. Esta característica informa sobre la disponibilidad de un robot, funcionando correctamente. Los robots más sofisticados incorporan el autodiagnóstico.

2.3.11 Vida. Los bienes de equipo tienen dos clases de muerte, por obsolescencia del diseño o por un coste excesivo de las reparaciones, fenómeno que se produce cuando dejan de encontrarse recambios en el mercado. Un robot bien construido puede trabajar satisfactoriamente durante unos diez años. No obstante, su vida variará según la cantidad de tiempo que trabaje, la dureza del trabajo y el entorno en donde se trabaje. [5]

2.4 HERRAMIENTAS PARA LA LOCALIZACIÓN DEL ROBOT

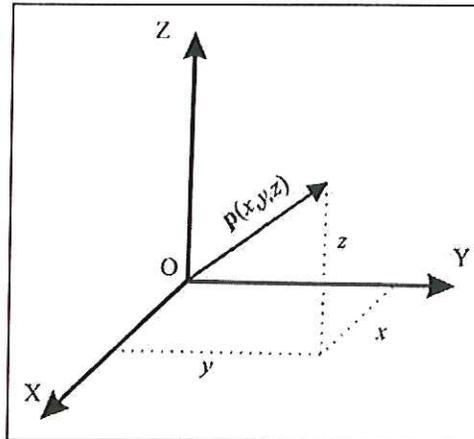
2.4.1 Representación de orientación y posición. La manipulación de piezas llevada a cabo por un robot implica el movimiento espacial de su extremo. Asimismo, para que el robot pueda recoger una pieza, es necesario conocer la posición y orientación de ésta con respecto a la base del robot. Por esto es necesario contar con una serie de herramientas matemáticas que permitan especificar la posición y orientación en el espacio de las piezas, herramientas y, en general, de cualquier objeto. [5]

2.4.2 Representación de la posición. Para localizar un cuerpo rígido en el espacio es necesario contar con una herramienta que permita la localización espacial de sus puntos. En un plano el posicionamiento tiene dos grados de libertad, y por tanto la posición de un punto vendrá definida por dos componentes independientes. En el caso de un espacio tridimensional será necesario emplear tres componentes.

La forma más intuitiva y utilizada de especificar la posición de un punto son *coordenadas cartesianas*. Existen además otros métodos, como son las coordenadas polares para dos dimensiones, y las cilíndricas y esféricas para espacios de tres dimensiones. [5]

2.4.3 Sistema cartesiano de referencia. Los sistemas cartesianos se definen mediante ejes perpendiculares entre sí con un origen definido. En el espacio tridimensional, el sistema cartesiano OXYZ está compuesto por una terna ortonormal de vectores coordenados OX, OY y OZ. A continuación se puede ver en la Figura 12 la representación de un vector en coordenadas cartesianas. [5]

Figura 12. Representación de un vector en coordenadas cartesianas



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

2.4.4 Coordenadas cartesianas. Para representar un punto en un sistema cartesiano tridimensional, éste vendrá expresado por las componentes (x, y, z) correspondientes a los ejes coordenados del sistema OXYZ. Este punto tiene asociado un vector $p(x, y, z)$, que va desde el origen O del sistema OXYZ hasta el punto en concreto. Por tanto, la posición del extremo del vector p está caracterizado por las tres componentes (x, y, z) , denominadas coordenadas cartesianas del vector que son las proyecciones del vector p sobre los ejes OX, OY y OZ. [5]

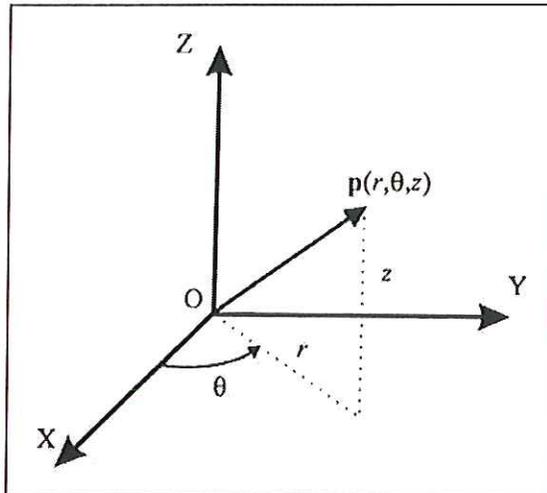
2.4.5 Coordenadas polares y cilíndricas. Las coordenadas polares se utilizan para dos dimensiones. Para trabajar en tres dimensiones se utilizan las coordenadas cilíndricas. [5]

Un punto representado en coordenadas cilíndricas sobre un sistema de referencia cartesiano OXYZ viene definido por: $p(r, \theta, z)$, donde:

- r: distancia desde el origen O del sistema hasta el extremo del vector p .
- θ : ángulo que forma el vector p con el eje OX.
- z: proyección sobre el eje OZ del vector p .

A continuación se puede ver el vector p representado en un en coordenadas cilíndricas sobre un sistema de referencia cartesiano.

Figura 13. Representación de un vector en coordenadas cilíndricas



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

2.4.6 Coordenadas esféricas. También es posible utilizar coordenadas esféricas para realizar la localización de un vector en un espacio de tres dimensiones. Utilizando el sistema de referencia OXYZ, el vector p tendrá como coordenadas esféricas (r, θ, ϕ) . A continuación se muestra la representación en este sistema de coordenadas:

Un punto representado en coordenadas esféricas sobre un sistema de referencia cartesiano OXYZ viene definido por: $p(r, \theta, z)$, donde:

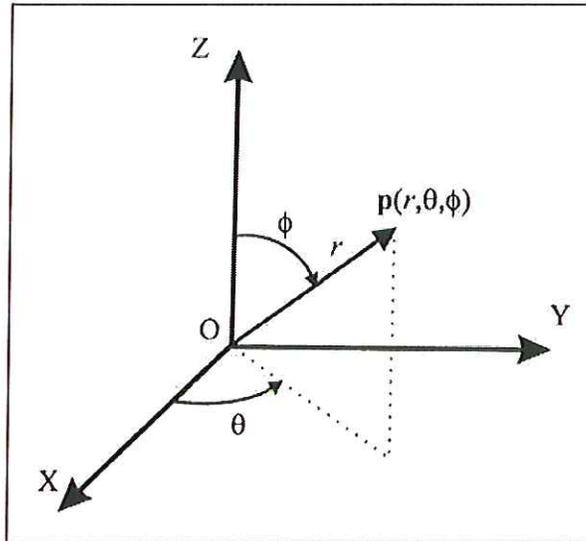
r : distancia desde el origen O hasta el extremo del vector p

θ : ángulo formado por la proyección del vector p sobre el plano OXY con el eje OX.

ϕ : ángulo formado por el vector p con el eje OZ.

A continuación se puede ver el vector p representado en un en coordenadas esféricas sobre un sistema de referencia cartesiano. [5]

Figura 14. Representación de un vector en coordenadas esféricas



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

2.5 CINEMÁTICA DEL MANIPULADOR

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares.

Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot; el primero de ellos se conoce como el **problema cinemática directo**, y consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia; conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot; el segundo, denominado **problema cinemática inverso**, resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas. [5]

2.5.1 Problema cinemático directo. La cinemática directa permite encontrar las relaciones entre la localización del extremo del robot (punto en el espacio) y sus coordenadas articulares (rotaciones). Conocidos los valores de las rotaciones se puede saber donde quedará ubicado el extremo del manipulador en el espacio.

2.5.2 Algoritmo Denavit - Hartenberg. Denavit y Hartenberg propusieron un método sistemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo. Este método utiliza una matriz de transformación homogénea para describir la relación espacial entre dos elementos rígidos adyacentes, reduciéndose el problema cinemática directo a encontrar una matriz de transformación homogénea 4 x 4 que relacione la localización espacial del extremo del robot con respecto al sistema de coordenadas de su base. [5]

- Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se enumerará como eslabón 0 a la base fija del robot.
- Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando con n.
- Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.
- Para i de 0 a n-1, situar el eje z_i sobre el eje de la articulación i+1.
- Situar el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con z_0 .
- Para i de 1 a n-1, situar el sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuesen paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación i+1.
- Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .
- Situar y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .

- Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la dirección de z_{i-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .
- Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para x_{i-1} y x_i queden paralelos.
- Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de z_{i-1} , que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.
- Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincidiese con $\{S_i\}$.
- Obtener α_i como el ángulo que habría que girar entorno a x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}), para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese con $\{S_i\}$.
- Obtener cada una de las matrices de transformación ${}^{i-1}A_i$.
- Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0A_1, {}^1A_2, \dots, {}^{n-1}A_n$.
- La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de translación) del extremo de la base en función de las n coordenadas articulares.

2.5.3 Cinemática inversa. La cinemática inversa permite encontrar los valores que deben tener cada una de las articulaciones (rotaciones $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5$) para que el extremo del manipulador quede posicionado en un punto del espacio según especificaciones del usuario. [5]

Se utiliza el método desacoplo cinemática para disminuir la complejidad en el desarrollo de la cinemática inversa; pues se realizan por aparte las tres primeras articulaciones (definen posición) y luego las dos últimas (definen la orientación del manipulador).

2.6 JACOBIANO DIRECTO

El Jacobiano del manipulador relaciona las velocidades articulares con las velocidades cartesianas del extremo:

$${}^0v = {}^0J(q) \cdot q' \quad (2.1)$$

expresión en la cual se ha tomado como referencia el sistema $\{0\}$. Obsérvese como el Jacobiano se expresa en un determinado sistema de referencia. Asimismo, nótese como, para unos determinados valores de las variables articulares, las relaciones de las velocidades articulares y las velocidades en el espacio cartesiano son lineales. [6]

El vector de las velocidades en el espacio cartesiano puede escribirse como:

$${}^0v = \begin{bmatrix} {}^0v \\ {}^0\omega \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

siendo 0v un vector de 3 x 3 de velocidades lineales, y ${}^0\omega$ un vector 3 x 3 de velocidades rotacionales.

En un robot con seis articulaciones, q' es un vector 6 x 1 de velocidades de las articulaciones. Por consiguiente, en este caso, J es una matriz 6 x 6.

En general, el número de columnas de J es el número de articulaciones y el número de filas el de grados de libertad.

El Jacobiano no es necesariamente cuadrado. En efecto, en robots redundantes el número de columnas es mayor que el de filas.

Existen diferentes métodos para obtener el Jacobiano de un determinado robot. El más evidente es el de la obtención analítica de expresiones de las velocidades cartesianas en función de las velocidades articulares.

2.7 JACOBIANO INVERSO

La obtención de las velocidades articulares en función de las velocidades cartesianas en el extremo involucra la consideración de la inversa del Jacobiano. Si la matriz es no singular puede escribirse:

$$q' = J^{-1}(q) \cdot v \quad (2.3)$$

Sin embargo, es frecuente que existan valores de q para los que el Jacobiano es singular. Estas singularidades se presentan en los límites del espacio de trabajo, o en su interior cuando dos o más ejes de articulaciones están alineados.

En las singularidades se produce pérdidas de grados de libertad en el espacio cartesiano; es decir, direcciones o subespacios en los que no es posible mover el órgano terminal. [5]

2.8 ELEMENTOS TERMINALES

Los elementos terminales, también llamados efectores finales (end effector) son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Pueden ser tanto elementos de sujeción como herramientas.

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

Se puede establecer una clasificación de los elementos terminales atendiendo a si se trata de un elemento de sujeción o de una herramienta. Los primeros se pueden clasificar según el sistema de sujeción empleado. En la Tabla 1 se presentan estas opciones, así como los usos más frecuentes.

Los elementos de sujeción se utilizan para agarrar y sostener los objetos y se suelen denominar pinzas. Se distingue entre las que utilizan dispositivos de agarre

mecánico, y las que utilizan algún otro tipo de dispositivo (ventosas, pinzas magnéticas, adhesivas, ganchos, etc.). [5]

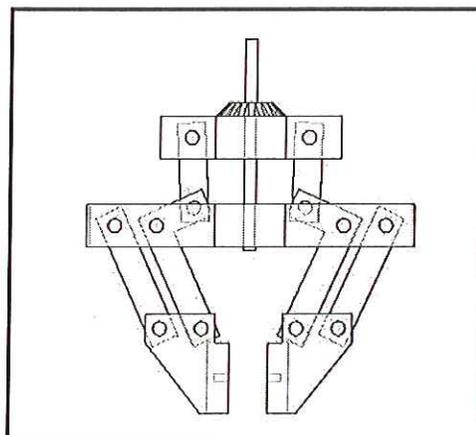
Tabla 1. Sistemas de sujeción para robots

Tipos de Sujeción	Accionamiento	Uso
Pinza de Presión	Neumático o Eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar
Pinza de Enganche	Neumático o Eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Ventosas de Vacío	Neumático	Cuerpos con superficie lisa poco porosa (cristal, plástico, etc.)
Electroimán	Eléctrico	Piezas Ferromagnéticas

Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

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

Figura 15. Mecanismo de dedos paralelos para la sujeción de piezas



Del Autor

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

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

En muchas aplicaciones el robot ha de realizar operaciones que no consisten en manipular objetos, sino que implican el uso de una herramienta. El tipo de herramientas con las que puede dotarse a un robot es muy amplio. Por ejemplo se utilizan pistolas de pulverización de pintura y pinzas de soldadura por puntos. Normalmente la herramienta está fijada rígidamente al extremo del robot aunque en ocasiones se dota a éste de un dispositivo de cambio automático, que permita al robot usar herramientas diferentes durante su tarea. La Tabla 2 enumera algunas de las herramientas más frecuentes. [5]

Tabla 2. Herramientas terminales para robots.

Tipo de Herramienta	Comentarios
Pinza Soldadura por Puntos	Dos electrodos que se cierran sobre la pieza a soldar
Soplete Soldadura al Arco	Aportan el flujo de electrodo que se funde
Cucharón para Colada	Para trabajos de Fundición
Atornillador	Suelen incluir la Alimentación de Tornillos
Fresa - Lija	Para Perfilar, eliminar rebabas, pulir, etc.
Pistola Pintura	Por Pulverización de la Pintura
Cañón Láser	Para corte de materiales, soldadura e inspección
Cañón de Agua a Presión	Para corte de Materiales

Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

3. COMPONENTES MECÁNICOS

3.1 POTENCIA

Es un concepto que mide la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. En algunos casos, el elemento se mueve siguiendo una línea recta, en un movimiento alternativo. El trabajo se produce cuando el elemento produce el desplazamiento de otro objeto, debido a la fuerza aplicada al objeto en la misma dirección y sentido que el desplazamiento. La potencia mecánica se incrementa cuando se puede producir el mismo trabajo en un tiempo inferior, de manera que

$$P = F \cdot V \quad (3.1)$$

P: potencia mecánica
F: fuerza aplicada al objeto
V: velocidad del objeto

Entre las máquinas capaces de generar trabajo están los motores, estos se acoplan a mecanismos que permiten reducir o incrementar la velocidad en un sistema que a su vez produce un cambio en la potencia. Estas máquinas se ven sometidas a cargas externas que generan por consiguiente un par resistente, que varía con la magnitud de la fuerza y el radio de una rueda dentada para el caso de un engranaje

$$T = F \cdot r \quad (3.2)$$

T: par resistente
F: fuerza resistente
r: radio del engranaje

La potencia mecánica desarrollada depende del par resistente y de la velocidad de giro del elemento según

$$P = T \cdot \omega \quad (3.3)$$

ω : velocidad de giro en el eje

En cualquier caso, la potencia útil proviene de la potencia suministrada por los elementos motores de la máquina o mecanismo, y se define un rendimiento de la forma

$$\eta = \frac{P_{\text{Útil}}}{P_{\text{Motor}}} \quad (3.4)$$

η : rendimiento
 P útil: potencia útil
 P motor: potencia suministrada

Cuando el rendimiento es del 100% ($\eta = 1$), no hay pérdidas mecánicas y la potencia útil coincide con la potencia suministrada. En estas circunstancias, la potencia disponible puede destinarse a aumentar la velocidad, a expensas de la fuerza o el par resistentes. Si lo que interesa es aumentar la fuerza o el par útil, la máquina o mecanismo disminuye su velocidad. [7]

En un mecanismo de transmisión el par útil se determina como:

$$T_{\text{Útil}} = \frac{T_{\text{Motor}}}{i} \quad (3.5)$$

T útil: par útil
 T motor: par en el árbol motor
 i : relación de transmisión

3.2 TRANSMISIONES Y REDUCTORES

Las transmisiones son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Los reductores son los elementos encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del motor. [5]

3.3 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 al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores, por lo general pesados, estén lo más cerca posible de la base del robot. Esta circunstancia obliga a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento hasta las articulaciones, especialmente a las situadas en el extremo del robot. Asimismo, las transmisiones pueden ser utilizadas para convertir movimiento circular en lineal o viceversa, lo que en ocasiones puede ser necesario.

Un buen sistema de transmisión debe cumplir 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 un gran rendimiento.

Aunque no existe un sistema de transmisión específico para robots, sí existen algunos usados con mayor frecuencia y que se recogen clasificados en la Tabla 3. La clasificación se ha realizado con base al tipo de movimiento posible en la entrada y la salida: lineal o circular. [5]

Tabla 3. Sistemas de transmisión para robots

Entrada - Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular - Circular	Engranaje	Pares Altos	Holguras
	Correa	Distancia Grande	-
	Dentada		
	Cadena	Distancia Grande	Ruido
	Paralelogramo	-	Giro Limitado
Circular - Lineal	Cable	-	Deformabilidad
	Tornillo Sin Fin	Poca Holgura	Rozamiento
Lineal - Circular	Cremallera	Holgura Media	Rozamiento
	Panel	-	Control Difícil
	Articulado		
	Cremallera	Holgura Media	Rozamiento

Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

Las transmisiones más habituales son aquellas que cuentan con movimiento circular tanto en la entrada como a la salida. Incluidas en éstas se hallan los engranajes, las correas dentadas y las cadenas.

3.4 MECANISMOS DE TRANSMISIÓN

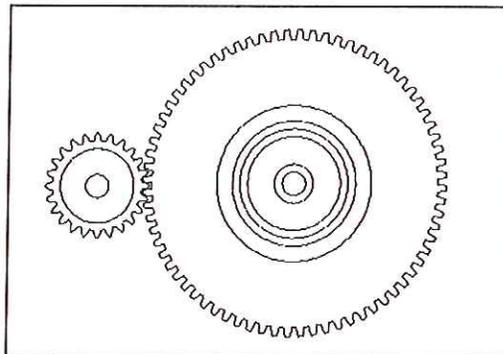
Son mecanismos encargados de la transmisión de potencia entre dos árboles o ejes que estén separados por una distancia prudente. Existe un eje conductor que es el que transmite el movimiento al eje conducido. Se diseñan de tal manera que las velocidades angulares y los momentos de torsión sean los deseados; esto lo da la relación de transmisión.

3.5 MECANISMOS DE ENGRANAJES

Son ruedas dentadas engranadas entre sí que permiten transmitir potencia entre dos ejes separados, su limitación es la distancia de separación de los ejes. Uno de sus usos más significativos es reducir o multiplicar la velocidad en un eje, esto se realiza mediante el acople de varios engranajes. [7]

3.5.1 Engranajes Cilíndricos de Dientes Rectos. Son aquellos en donde la sección de corte se mantiene constante a lo largo de su sentido axial. Son los más sencillos de fabricar. Se utilizan en situaciones en donde es necesario la transmisión de potencia entre dos ejes paralelos. [7]

Figura 16. Engranaje de dientes rectos

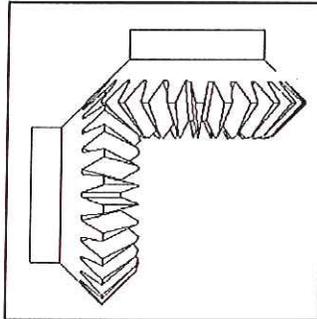


Del Autor

3.5.2 Engranajes Cilíndricos de Dientes Inclinados. Son aquellos donde se ha creado un ángulo entre el recorrido de los dientes con respecto al eje axial con el fin de asegurar una entrada más progresiva del contacto entre diente y diente, reduciendo el ruido de funcionamiento y aumentando la resistencia de los dientes del engranaje. [7]

3.5.3 Engranajes Cónicos de Dientes Rectos. Son utilizados para efectuar una reducción de velocidad con ejes a 90° (perpendiculares); su uso se limita por el ruido que generan.

Figura 17. Engranajes de dientes cónicos rectos

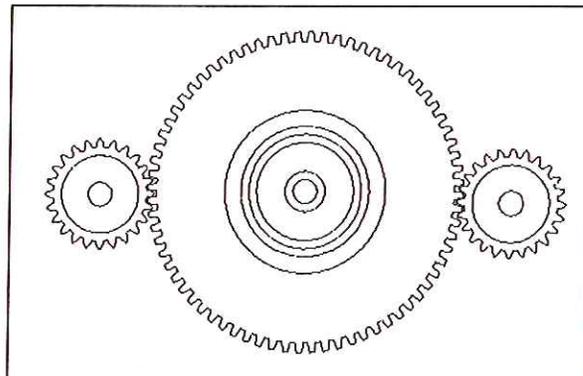


Del Autor

3.5.4 Engranajes Cónicos de Dientes Inclınados. Son utilizados para efectuar una reducción de velocidad con ejes a 90° (perpendiculares). Se diferencian de los cónicos rectos en que los dientes no recorren un sentido radial al centro del eje del engranaje. Presentan una mayor superficie de contacto que los hace más silenciosos. [7]

3.5.5 Tren de engranajes simple. Este mecanismo se conforma por varias ruedas dentadas simples, que engranan entre si. Existe una rueda motriz que transmite la potencia a la rueda final a través de una serie de engranajes, conocidos como locos.

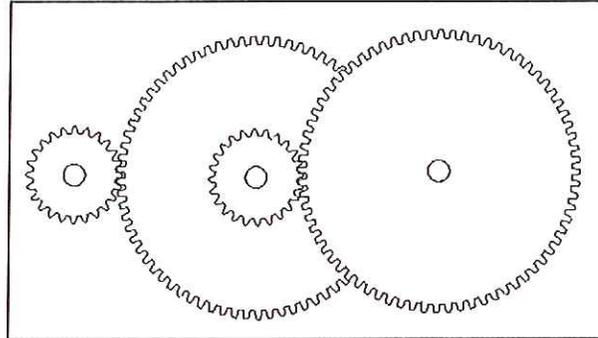
Figura 18. Tren de engranajes simple



Del Autor

3.5.6 Tren de engranajes compuesto. Este mecanismo se conforma por varias ruedas dentadas compuestas, que engranan entre si. Las ruedas compuestas constan de dos o más ruedas dentadas simples solidarias a un mismo árbol o eje.

Figura 19. Tren de engranajes compuesto



Del Autor

3.5.7 Relación de transmisión. En un sistema de transmisión de movimiento, se define la relación de transmisión del mecanismo como el cociente de las velocidades angulares de los ejes:

$$i = w \text{ conducido} / w \text{ motor} \quad (3.6)$$

i: relación de transmisión

w conducido: velocidad angular del eje conducido

w motor: velocidad angular del eje motor

Esta magnitud es adimensional. Existe una relación entre el momento de torsión y la relación de transmisión que es inversa. Cuando la velocidad angular del eje conducido es mayor que la del eje motor el momento de torsión es menor, y si la velocidad angular del eje conducido es menor que la del eje motor el momento de torsión es mayor. [7]

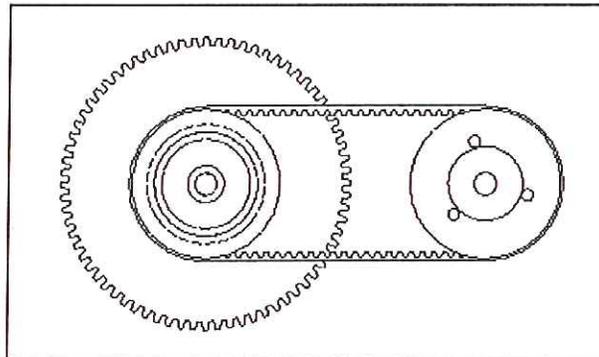
3.6 MECANISMOS DE CADENAS

Se utilizan para transmitir potencia entre dos ejes cuando la distancia de separación de estos es significativa. Una ventaja de este mecanismo en comparación con los mecanismos de correas es que no se presenta patinamiento. El factor que los coloca en desventaja es el excesivo ruido que generan. [7]

3.7 MECANISMOS DE CORREAS

Su funcionamiento es parecido a los mecanismos de cadenas excepto por el elemento de acople de los ejes, para acoplar los ejes se utiliza una correa que normalmente es de un material flexible, se utilizan poleas como elementos de acople de las correas. Este mecanismo permite que los ejes se enfrenten a diferentes ángulos debido a la flexibilidad de la correa. Una desventaja notoria de este mecanismo es el deslizamiento que se genera cuando las cargas aplicadas a los ejes son muy altas. [7]

Figura 20. Mecanismo de transmisión con correa



Del Autor

3.8 REDUCTORES

En la práctica los reductores empleados en robótica deben cumplir con ciertas condiciones de funcionamiento. La exigencia de estas características viene motivada por las altas prestaciones que se le piden al robot en cuanto a precisión y velocidad de posicionamiento. La Tabla 4 muestra valores típicos de reductores para robótica actualmente empleados.

Se buscan reductores de bajo peso, reducido tamaño, bajo rozamiento y que al mismo tiempo sean capaces de realizar una reducción elevada de velocidad en un único paso. Se tiende también a minimizar su momento de inercia, de negativa influencia en el movimiento del motor, especialmente crítico en motores de baja inercia. [7]

Tabla 4. Características de reductores para robótica

Características	Valores Típicos
Relación de Reducción	50 ÷ 300
Peso y Tamaño	0.1 ÷ 30 Kg.
Momento de Inercia	10 ⁻⁴ Kg. m ²
Velocidades de entrada máxima	6000 ÷ 7000 rpm.
Par de Salida Nominal	5700 N-M
Par de Salida Máximo	7900 N-m
Juego Angular	0 ÷ 2"
Rigidez Torsional	10 ÷ 2000 Nm/Rad.
Rendimiento	85 % ÷ 98 %

Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

Los reductores, por motivos de diseño, tienen una velocidad máxima de entrada admisible, que como regla general aumenta a medida que disminuye el tamaño del motor. 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 relación:

$$T_2 = \eta \cdot T_1 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.7)$$

donde el rendimiento (η) puede llegar a ser cerca del 100% y la relación de reducción de velocidades (ω_1 = velocidad de entrada; ω_2 = velocidad de salida) varía entre 50 y 300.

Puesto que los robots trabajan en ciclos cortos que implican continuos arranques y paradas, es de gran importancia que el reductor sea capaz de soportar pares elevados puntuales. También se busca que el juego angular o backlash sea lo menor posible. Éste se define como el ángulo que gira el eje de salida cuando se cambia su sentido de giro sin que llegue a girar el eje de entrada. Por último, es importante que los reductores para robótica posean una alta rigidez torsional, definida como el par que hay que aplicar sobre el eje de salida para que, manteniendo bloqueado el de entrada, aquél gire un ángulo unitario.

4. COMPONENTES ELECTRONICOS

4.1 MICROCONTOLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura de un microcomputador, o sea, CPU (Unidad Central de Proceso), memoria RAM, memoria ROM, circuitos de entrada-salida (i/o) y otros módulos con aplicaciones especiales. Es llamado microcontrolador debido a su tamaño y a que se utiliza principalmente para controlar otros circuitos o dispositivos eléctricos, mecánicos, etc.

La posibilidad de manejar señales de entrada y de salida, así como su capacidad para procesar datos y tomar decisiones, lo convierten en un elemento electrónico muy versátil. Los dispositivos de entrada son elementos que pueden cambiar su estado ante una determinada condición y generar una señal que pueda ser utilizada por el microcontrolador para tomar alguna decisión; por ejemplo un teclado, un interruptor, un sensor, un transductor, etc. Los dispositivos de salida, pueden ser indicadores visuales, audibles o actuadores, entre otros.

4.1.1 Microcontroladores Motorola. Los microcontroladores Motorola se derivaron del microprocesador 6800 y han sido optimizados para aplicaciones de control especializado, formando parte de aparatos de producción masiva.

Los microcontroladores Motorola tienen la reputación de ser muy confiables, fáciles de programar y, ante todo, ser unos de los mas utilizados en todo el mundo.

4.1.2 Microcontrolador Motorola Mc68hc908gp32. Este microcontrolador pertenece a la familia *HC08* de Motorola, cuyas principales características son:

- Modelo de programación HC05 mejorado, con registro de 16 bits.
- Control de bucles optimizado.
- Set de instrucciones muy amplias y varios modos de direccionamiento.
- 16 modos de direccionamiento.
- Registro de 16 bits y stack pointer manipulable por el usuario.

- Instrucciones de transferencia de datos de memoria a memoria.
- Instrucciones de multiplicación rápida de 8x8.
- Instrucciones de división rápida de 16/8.
- Instrucciones BCD (Binary Coded Decimal).
- Optimización para aplicaciones de control.
- Fácil soporte de lenguajes de alto nivel como el C.

Las características principales del microcontrolador *MC68HC908GP32* son:

- CPU 08 de 8 bits.
- Operación interna a 8 MHz.
- Rango de operación desde 3V.
- LVI: protección de bajo voltaje.
- Fuentes de interrupciones totalmente vectorizadas.
- Modos de bajo consumo (STOP y WAIT).
- Software 100% compatible con la familia 05.
- Arquitectura de alto rendimiento M68HC08 optimizada para compiladores C.
- Código de seguridad para la lectura y programación de la memoria FLASH.
- Firmware On-chip para la programación desde PC.
- Programable en el circuito.

Sistemas de protección:

- "Watch Dog" opcional (Computer Operating Properly (COP) reset).
- Detección de baja tensión con reset opcional.
- Detección de código ilegal con reset.
- Detección de direccionamiento ilegal con reset.
- Diseño de bajo consumo, completamente estático y varios modos de operación:
 - 32 Kbytes de memoria FLASH programable en circuito.
 - 512 bytes de memoria RAM.
 - Módulo de interfaz serie asíncrono (SPI).
 - Módulo de interfaz serie síncrono (SCI).
 - Dos temporizadores de 2 canales de 16 bits (TIM1 y TIM2) con captura de entrada seleccionable, comparadores y capacidad de PWM en cada canal.

- 8 canales para conversión AD por aproximaciones sucesivas de 8 bits.
- Módulo generador de reloj con PLL "On-chip".
- Hasta 33 pines de entradas / salidas de propósito general.
- Pull - ups seleccionables en los puertos A, C, y D. La selección puede ser de forma individual, por bit.

Para ver más especificaciones ver anexo A 5.

4.2 MÓDULO LCD (LIQUID CRISTAL DISPLAY)

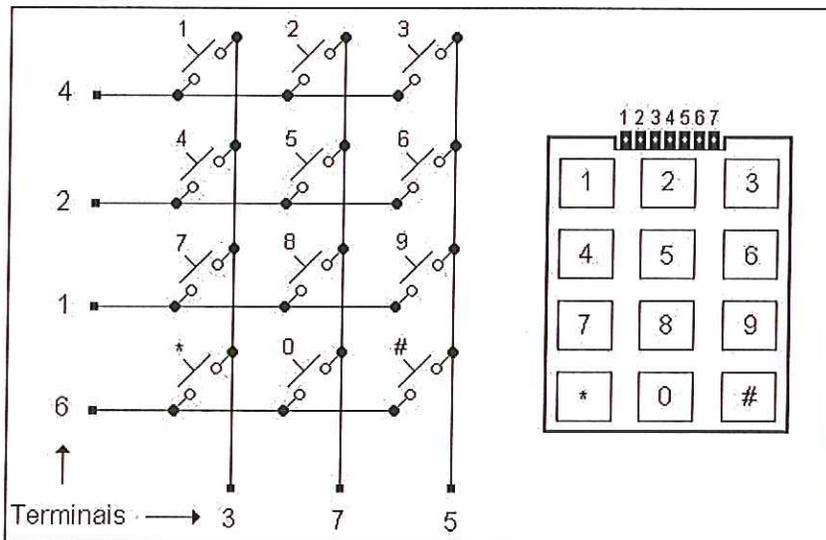
Un modulo LCD o pantalla de cristal liquido es un dispositivo que se utiliza como periférico de salida, en él se pueden mostrar datos correspondientes a una aplicación desarrollada. Se clasifican en dos grupos. El primer grupo esta referido a los módulos LCD de caracteres (solamente se podrán presentar caracteres y símbolos especiales en las líneas predefinidas en el modulo LCD) y el segundo grupo esta referido a los módulos LCD matriciales (Se podrán presentar caracteres, símbolos especiales y gráficos).

4.3 TECLADO DE COMANDOS

Es un dispositivo, que se utiliza para la entrada de datos. Desde el punto de vista eléctrico, cada tecla de un teclado es un mecanismo idéntico a un pulsador. La aportación del teclado consiste en la configuración de las teclas para que necesite pocas líneas de entrada en la detección de la que se ha presionado.

Para disminuir las líneas necesarias para detectar la tecla pulsada, estas se agrupan de forma matricial de 16 teclas solo precisa 8 líneas para su gestión. Si cada tecla actuase como un pulsador individual se precisarían 16 líneas de E/S para gestionarlas.

Figura 21. Diagrama de un Teclado



5. ACTUADORES Y SENSORES

5.1 ACTUADORES

Los actuadores generan las fuerzas o pares necesarios para animar la estructura mecánica. [6] Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica [5]. En la actualidad se ha extendido el uso de motores eléctricos, y en especial de motores de corriente continua servocontrolados, empleándose en algunos casos motores paso a paso y otros actuadores electromecánicos sin escobillas [6]. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son entre otras:

- Potencia
- Controlabilidad.
- Peso y volumen.
- Precisión.
- Velocidad.
- Mantenimiento.
- Coste.

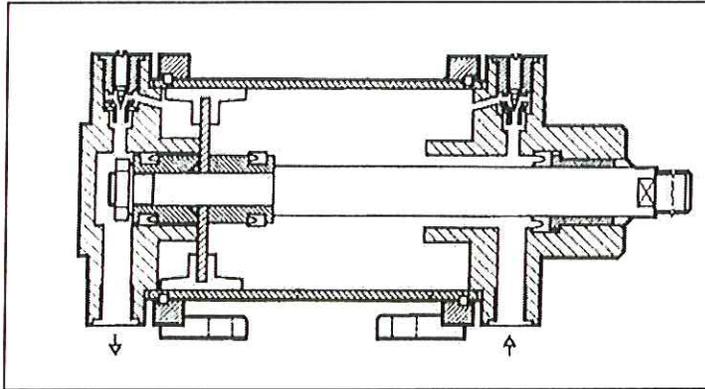
5.1.1 Actuadores Neumáticos. En ellos la fuente de energía es aire a presión entre 5 y 10 bar. Existen dos tipos de actuadores neumáticos:

- Cilindros neumáticos.
- Motores neumáticos (de aletas rotativas o de pistones axiales).

En los primeros se consigue el desplazamiento de un émbolo encerrado en un cilindro, como consecuencia de la diferencia de presión en ambos lados de aquel (Figura 22). Los cilindros neumáticos pueden ser de simple o doble efecto. En los primeros, el émbolo se desplaza en un sentido como resultado del empuje ejercido por el aire a presión, mientras que en el otro sentido se desplaza como consecuencia del efecto de un muelle (que recupera al émbolo a su posición de reposo). En los cilindros de doble efecto el aire a presión es el encargado de

empujar al émbolo en las dos direcciones, al poder ser introducido de forma arbitraria en cualquiera de las dos cámaras. [5]

Figura 22. Esquema de cilindro neumático de doble efecto



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

5.1.2 Actuadores Hidráulicos. Este tipo de actuadores emplea aceites minerales a presión comprendida normalmente entre los 50 y 100 bar, llegándose en ocasiones a superar los 300 bar. Existen, como en el caso de los neumáticos, actuadores del tipo cilíndrico y del tipo motores de aletas y pistones.

Sin embargo, las características del fluido utilizado en los actuadores hidráulicos marcan ciertas diferencias con los neumáticos. En primer lugar, el grado de compresibilidad de los aceites usados es considerablemente inferior al del aire, por lo que la precisión obtenida en este caso es mayor. Por motivos similares, es más fácil en ellos realizar un control continuo, pudiendo posicionar su eje en todo un rango de valores (haciendo uso de servocontrol) con notable precisión. Además, las elevadas presiones de trabajo, diez veces superiores a las de los actuadores neumáticos, permiten desarrollar elevadas fuerzas y pares.

Por otra parte, este tipo de actuadores presenta estabilidad frente a cargas estáticas. Esto indica que el actuador es capaz de soportar cargas, como el peso o una presión ejercida sobre una superficie, sin aporte de energía (para mover el émbolo de un cilindro sería preciso vaciar éste de aceite). También es destacable su elevada capacidad de carga y relación potencia-peso, así como sus características de autolubricación y robustez. [5]

5.1.3 Actuadores Eléctricos. Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos hacen de estos los más usados en los robots industriales. Dentro de los actuadores eléctricos los más importantes son:

- **Motores de corriente continua (DC).** Son los más usados en la actualidad por su facilidad de control. En muchos casos, el propio motor incluye un codificador de posición (encoder) para poder realizar su control.

Los motores DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua:

- El inductor, también denominado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado de excitación.
- El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por él y del campo magnético de excitación. Recibe la corriente del exterior a través del colector de delgas, en el que se apoyan unas escobillas de grafito.

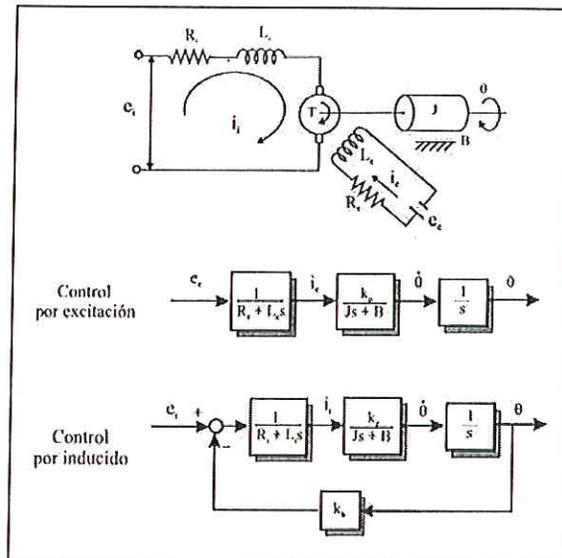
Para que se pueda realizar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre sí. Esta transformación es máxima cuando ambos campos se hallan en cuadratura. El control de velocidad para estos motores se puede realizar de dos formas:

- **Control por inducido:** La intensidad del inductor se mantiene constante, mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro.
- **Control por excitación:** Se actúa al contrario que en la excitación por inducido.

Del estudio de ambos tipos de motores, y realizándose las simplificaciones correspondientes, se obtiene que la relación entre tensión de control y velocidad de giro (función de transferencia), responde a un sistema de primer

orden en los controlados por inducido, mientras que en el caso de los motores controlados por excitación, esta relación es la de un segundo orden (Figura 23). [5]

Figura 23. Motor DC. Esquema y funciones de transferencia.



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro originado por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza contraelectromotriz. Por estos motivos, de los motores DC es el controlado por inducido el que se usa en el accionamiento de robots.

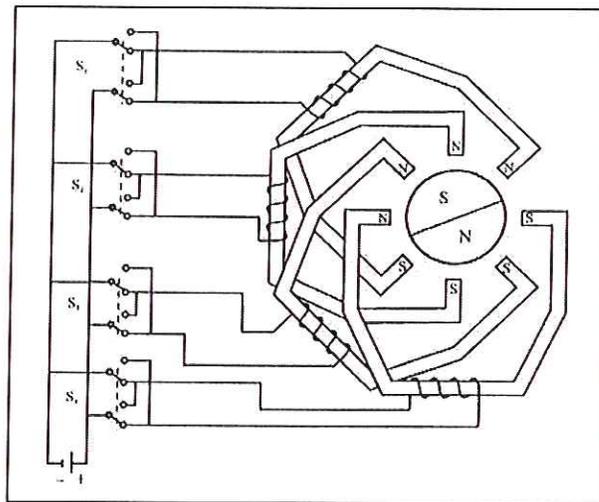
Para mejorar el comportamiento de este tipo de motores, el campo de excitación se genera mediante imanes permanentes, con lo que se evitan fluctuaciones del mismo.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 rpm., con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Las potencias que pueden manejar pueden llegar a los 10 kW. [5]

- **Motores paso a paso.** En los últimos años se han desarrollado motores paso a paso con pares suficientemente grandes en pequeños pasos, lo que los ha hecho válidos para su uso en accionamientos industriales. Existen tres tipos de motores paso a paso:
 - De imanes permanentes.
 - De reluctancia variable.
 - Híbridos

En los primeros, de imanes permanentes (Figura 24, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator. En los motores de reluctancia variable, el rotor es formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas del estator. Los motores híbridos combinan el modo de funcionamiento de los dos tipos anteriores. [5]

Figura 24. Esquema de un motor paso a paso de imanes permanentes con cuatro fases.



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

En los motores paso a paso la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados. [5]

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias del arranque y parada impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantáneamente, por lo que ésta, y por tanto la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente.

La principal ventaja respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además de forma continua, con velocidad variable, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a secuencias complejas de funcionamiento, etc.

Se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables y fáciles de controlar, pues al ser cada estado de excitación del estator estable, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de realimentación.

Entre sus inconvenientes se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que pueden alcanzar.

Su potencia nominal es baja y su precisión (mínimo ángulo girado) llega típicamente hasta $1,8^\circ$. Se emplean par el posicionamiento de ejes que no necesitan grandes potencias (giro de pinza) o para robots pequeños (educacionales); también son muy utilizados en dispositivos periféricos del robot, como mesas de coordenadas. [5]

- **Motores de corriente alterna (AC).** Estos motores no tenían aplicación en el campo de la robótica hasta hace unos años, debido fundamentalmente a la dificultad de su control. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas síncronas hacen que se presenten como un claro competidor a los motores de corriente continua. Esto se debe principalmente a tres factores:
 - La construcción de rotores síncronos sin escobillas.
 - Uso de convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia (y así la velocidad de giro) con facilidad y precisión.
 - Empleo de microelectrónica que permite una gran capacidad de control.

El inductor se sitúa en el rotor y está constituido por imanes permanentes, mientras que el inducido, situado en el estator, está formado por tres devanados iguales decalados 120° eléctricos y se alimenta con un sistema trifásico de tensiones.

En los motores síncronos la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la tensión que alimenta al inducido. Para poder variar ésta con precisión, el control de velocidad se realiza mediante un convertidor de frecuencia. Para evitar el riesgo de pérdida de sincronismo se utiliza un sensor de posición continuo que detecta la posición del rotor y permite mantener en todo momento el ángulo que forman los campos del estator y el rotor. Este método de control se conoce como autosíncrono o autopilotado. [5]

El motor síncrono autopilotado excitado con imán permanente, también llamado motor senoidal, no presenta problemas de mantenimiento debido a que no posee escobillas y tiene una gran capacidad de evacuación de calor, ya que los devanados están en contacto directo con la carcasa. El control de posición se puede realizar sin la utilización de un sensor externo adicional, aprovechando el detector de posición del rotor que posee el propio motor. Además permite desarrollar, a igualdad de peso, una potencia mayor que el motor de corriente continua. En la actualidad diversos robots industriales emplean este tipo de accionamientos con notables ventajas frente a los motores de corriente continua.

En el caso de los motores asíncronos, no se ha conseguido resolver satisfactoriamente los problemas de control que presentan. Esto ha hecho que hasta el momento no tengan aplicación en robótica. [5]

5.2 SENSORES

Los sensores son dispositivos de entrada que permiten al robot tener conocimiento de su estado (sensores internos) y del estado de su entorno (sensores externos). Esta información la evalúa el controlador para generar una acción de control sobre los actuadores; cada dispositivo cambia dependiendo del uso o aplicación que tenga el robot.

En la Tabla 5 se resumen los sensores más comúnmente empleados, para obtener información de presencia, posición y velocidad en robots industriales. [5]

Tabla 5. Tipos de sensores internos de robots.

Presencia		Inductivo Capacitivo Efecto Hall Célula Reed Óptico Contacto
		Ultrasonido
Posición	Analógicos	Potenciómetros Resolver Sincro LVDT
	Digitales	Encoders Absolutos Encoders Incrementales Regla Óptica
Velocidad		Tacogeneratríz

Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

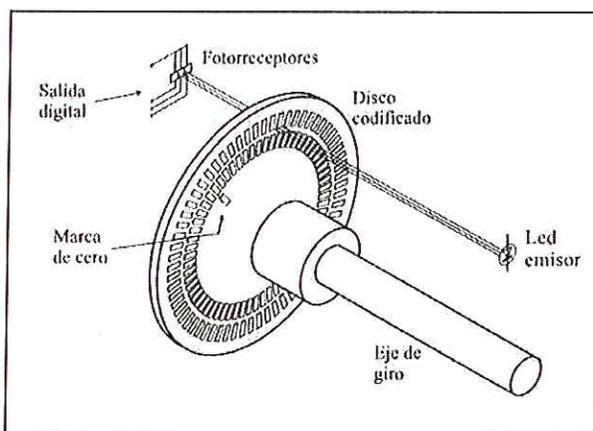
5.2.1 Sensores de posición. Para el control de posición angular se emplean fundamentalmente los denominados encoders y resolvers. Los potenciómetros dan bajas prestaciones por lo que no se emplean salvo en contadas ocasiones (robots educativos, ejes de poca importancia).

5.2.2 Codificadores angulares de posición (encoders). Los codificadores ópticos o encoders incrementales constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes y entre sí; de un sistema de iluminación en el que la luz es colimada de forma correcta, y de un elemento fotorreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente. Con esta disposición, a medida que el eje gire se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada marca, y llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje. [5]

Existe, sin embargo, el problema de no saber si en un momento dado se está realizando giro en un sentido o en otro, con el peligro que supone no estar contando adecuadamente. Una solución a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas, desplazada de la anterior de manera que el tren de pulsos que con ella se genere esté desplazado 90° eléctricos con respecto al generado

por la primera franja. De esta manera, con un circuito relativamente sencillo es posible obtener una señal adicional que indique cuál es el sentido de giro, y que actúe sobre el contador correspondiente indicando que incrementa o decrementa la cuenta que se este realizando. [5]

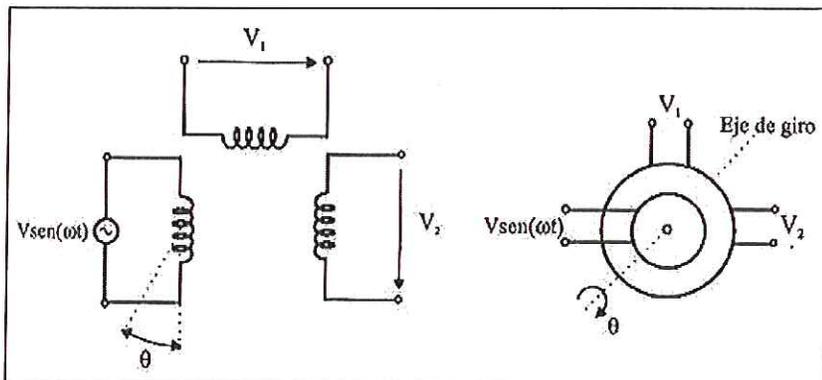
Figura 25. Disposición de un codificador óptico (Encoder)



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

5.2.3 Captadores angulares de posición (sincro-resolvers). Se trata de captadores analógicos con resolución teóricamente infinita. El funcionamiento de los resolvers se basa en la utilización de una bobina solidaria al eje excitada por una portadora, generalmente de 400 Hz, y por dos bobinas fijas situadas a su alrededor (Figura 26).

Figura 26. Esquema de funcionamiento de un resolver.



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

El giro de la bobina móvil hace que el acoplamiento con las bobinas fijas varíe, consiguiendo que la señal resultante en éstas dependa del seno del ángulo de giro. La bobina móvil excitada con tensión $V \cdot \text{sen}(\omega t)$ y girada un ángulo θ induce en las bobinas fijas situadas en cuadratura las siguientes tensiones:

$$V_1 = V \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot \text{sen}\theta \quad (5.1)$$

$$V_2 = V \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot \cos\theta \quad (5.2)$$

que es la llamada representación de θ en formato resolver.

El funcionamiento de los sincros es análogo al de los resolvers, excepto que las bobinas fijas forman un sistema trifásico de estrella. Para un ángulo θ de la bobina móvil excitada con tensión $V \cdot \text{sen}(\omega t)$, admitiendo que los acoplamientos y los desfases son los mismos para todos los devanados, se obtienen las siguientes tensiones entre las fases del estator:

$$V_{13} = \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\omega t) \cdot \text{sen}\theta \quad (5.3)$$

$$V_{32} = \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\omega t) \cdot \text{sen}(\theta + 120^\circ) \quad (5.4)$$

$$V_{21} = \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\omega t) \cdot \text{sen}(\theta + 240^\circ) \quad (5.5)$$

que es la llamada representación del ángulo θ en formato sincro.

El cambio de formato sincro a formato resolver o viceversa es inmediato, ya que se puede pasar de uno a otro a través de la llamada red de Scott, de funcionamiento bidireccional. [6]

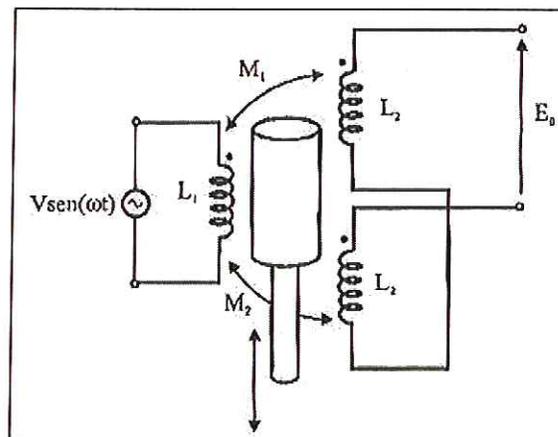
Para poder tratar en el sistema de control la información generada por los resolvers y los sincros es necesario convertir las señales analógicas en digitales. Para ello se utilizan los llamados convertidores resolver/digital (R/D), que tradicionalmente se basan en dos tipos de estructuras distintas: seguimiento (tracking) y muestreo (sampling). Ambos captadores son de tipo absoluto en cada vuelta del eje acoplado a ellos. Entre sus ventajas destacan su buena robustez mecánica durante el funcionamiento y su inmunidad a contaminación, humedad, altas temperaturas y vibraciones. Debido a su reducido momento de inercia, imponen poca carga mecánica al funcionamiento del eje.

5.2.4 LVDT (Transformador diferencial de variación lineal). El transformador diferencial de variación lineal (LVDT) destaca entre los sensores de posición lineales, debido a su casi infinita resolución, poco rozamiento y alta repetibilidad. Su funcionamiento se basa en la utilización de un núcleo de material ferromagnético unido al eje cuyo movimiento se quiere medir. Este núcleo se mueve linealmente entre un devanado primario y dos secundarios, haciendo con su movimiento que varíe la inductancia entre ellos. La Figura 27 presenta un breve esquema de su funcionamiento. [5]

Los dos devanados secundarios conectados en oposición serie ven como la inducción de la tensión alterna del primario, al variar la posición del núcleo, hace crecer la tensión en un devanado y disminuirla en el otro. Del estudio de la tensión E_0 se deduce que ésta es proporcional a la diferencia de inductancias mutuas entre el devanado primario con cada uno de los secundarios, y que por tanto depende linealmente del desplazamiento del vástago solidario al núcleo.

Además de las ventajas señaladas, el LVDT presenta una alta linealidad, gran sensibilidad y una respuesta dinámica elevada. Su uso está ampliamente extendido, a pesar del inconveniente de poder ser aplicado únicamente en la medición de pequeños desplazamientos.

Figura 27. Esquema de funcionamiento de un LVDT.



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

5.2.5 Sensores de velocidad. La captación de la velocidad se hace necesaria para mejorar el comportamiento dinámico de los actuadores del robot. La información de la velocidad del movimiento de cada actuador se realimenta

normalmente a un bucle de control analógico implementado en el propio accionador del elemento motor. No obstante, en ocasiones en las que el sistema de control del robot lo exija, la velocidad de giro de cada actuador es llevada hasta la unidad de control del robot.

Normalmente, y puesto que el bucle de control de velocidad es analógico, el captador usado es una tacogeneratriz que proporciona una tensión proporcional a la velocidad de giro de su eje (valores típicos pueden ser 10 milivoltios por rpm.).

Otra posibilidad, usada para el caso en que la unidad de control del robot precise valorar la velocidad de giro de las articulaciones, consiste en derivar la información de posición que ésta posee. [5]

5.2.6 Sensores de presencia. Este tipo de sensor es capaz de detectar la presencia de un objeto dentro de un radio de acción determinado. Esta detección puede hacerse con o sin contacto con el objeto. En el segundo caso se utilizan diferentes principios físicos para detectar la presencia, dando lugar a los diferentes tipos de captadores (ver Tabla 5). En el caso de detección con contacto, se trata siempre de un interruptor, normalmente abierto o normalmente cerrado según interese, actuado mecánicamente a través de un vástago u otro dispositivo. Los detectores de presencia se utilizan en robótica principalmente como auxiliares de los detectores de posición, para indicar los límites de movimiento de las articulaciones y permitir localizar la posición de referencia de cero de éstos en el caso que sean incrementales. [5]

Además de esta aplicación, los sensores de presencia se usan como sensores externos, siendo muy sencillos de incorporar al robot por su carácter binario y su costo reducido. Los detectores inductivos permiten detectar la presencia o contar el número de objetos metálicos sin necesidad de contacto. Presentan el inconveniente de distinto comportamiento según el material de que se trate. El mismo tipo de aplicación tienen los detectores capacitivos, más voluminosos, aunque en este caso los objetos a detectar no precisan ser metálicos. En cambio presentan problemas de trabajo en condiciones húmedas y con puestas a tierra defectuosas.

Los sensores basados en el efecto Hall detectan la presencia de objetos ferromagnéticos por la deformación que éstos provocan sobre un campo magnético. Los captadores ópticos, sin embargo, pueden detectar la reflexión del rayo de luz procedente del emisor sobre el objeto.

6. SISTEMAS DE CONTROL

6.1 SISTEMAS DE CONTROL REALIMENTADOS

Un sistema que mantiene una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina *sistema de control realimentado*. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (la temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se conserve en un nivel cómodo sin considerar las condiciones externas.

Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella. Por ejemplo, el cuerpo humano es un sistema de control realimentado muy avanzado. Tanto la temperatura corporal como la presión sanguínea se conservan constantes mediante una realimentación fisiológica. De hecho, la realimentación realiza una función vital: vuelve el cuerpo humano relativamente insensible a las perturbaciones externas, por lo cual lo habilita para funcionar en forma adecuada en un ambiente cambiante. [8]

6.2 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO

Los sistemas de control realimentados se denominan también *sistemas de control en lazo cerrado*. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. [8]

6.3 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan *sistemas de control en lazo abierto*. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el enjuague en la lavadora operan con una base de tiempo.

La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Observe que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo es en lazo abierto. Por ejemplo, el control del tránsito mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. [8]

6.4 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO EN COMPARACIÓN CON LOS SISTEMAS EN LAZO ABIERTO

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante. [8]

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas

cuando se presentan perturbaciones impredecibles y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema. Observe que la valoración de la energía de salida determina en forma parcial el costo, el peso y el tamaño de un sistema de control. La cantidad de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes. Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y en lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema general.

6.4.1 Clasificación de los controladores industriales. Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

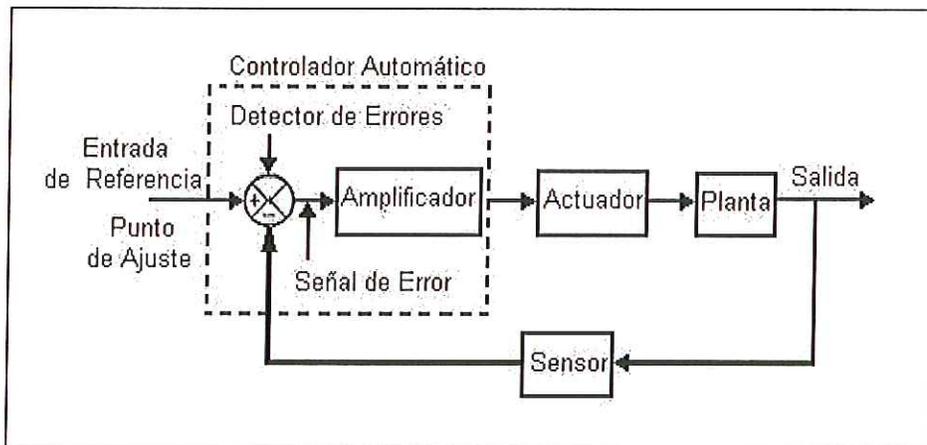
- De dos posiciones o de encendido y apagado (on / off)
- Proporcionales
- Integrales
- Proporcionales-integrales
- Proporcionales-derivativos
- Proporcionales-integrales-derivativos

Casi todos los controladores industriales emplean como fuente de energía la electricidad o un fluido presurizado, tal como el aceite o el aire. Los controladores también pueden clasificarse, de acuerdo con el tipo de energía que utilizan en su operación, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos. El tipo de controlador que se use debe decidirse con base en la naturaleza de la planta y las condiciones operacionales, incluyendo consideraciones tales como seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño. [8]

6.4.2 Controlador automático, actuador y sensor (elemento de medición). La figura 28 es un diagrama de bloques de un sistema de control industrial que consiste en un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor (elemento de medición). El controlador detecta la señal de error, que por lo general, está en un nivel de potencia muy bajo, y la amplifica a un nivel lo suficientemente alto. La salida de un controlador automático se alimenta a un actuador, tal como un motor o una **válvula** neumáticos, un motor hidráulico, o un motor eléctrico. (El actuador es un dispositivo de potencia que produce la entrada para la planta de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia.).

El sensor, o elemento de medición, es un dispositivo que convierte la variable de salida en otra variable manejable, tal como un desplazamiento, una presión, o un voltaje, que pueda usarse para comparar la salida con la señal de entrada de referencia. Este elemento está en la trayectoria de realimentación del sistema en lazo cerrado. El punto de ajuste del controlador debe convertirse en una entrada de referencia con las mismas unidades que la señal de realimentación del sensor o del elemento de medición. [8]

Figura 28. Diagrama de bloques de un sistema de control industrial



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

6.4.3 Sistema de Control de Velocidad. El sistema de control de velocidad a implementar en los motores que van actuar cada una de las articulaciones consiste en un lazo de control cerrado (realimentado) para determinar las variaciones. El dispositivo de realimentación a utilizar es un encoder que va acoplado al eje del motor, éste tiene la función de generar una secuencia de pulsos que se traducen en la posición y velocidad del eje del motor.

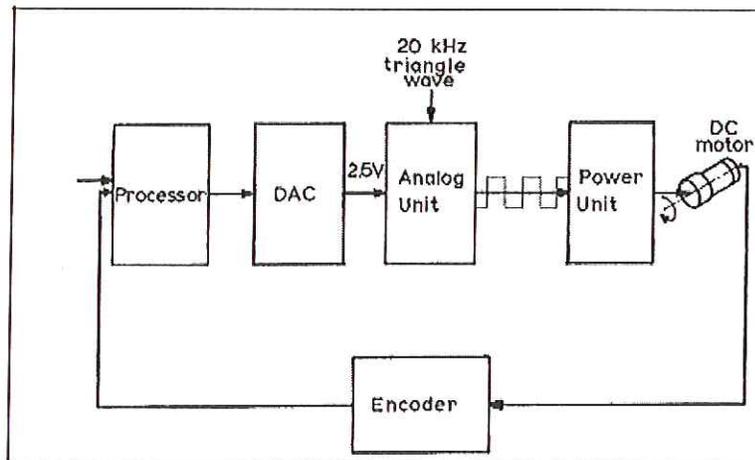
Para el control de un motor DC se genera una onda cuadrada con una frecuencia definida que oscila entre un voltaje positivo y negativo; a ésta se le varía el ancho de pulso obteniéndose una variación DC.

El ajuste de la velocidad a los motores está predefinido; básicamente son tres tipos de velocidades, alta, media, baja; este parámetro es digitalizado por medio de un conversor A/D para ser enviado al controlador con el cual se variará la velocidad del motor.

Para lograr que la velocidad deseada se mantenga, se utiliza un sistema de realimentación, en este caso un encoder, que nos da la velocidad del eje del motor; esto se hace en llegado que una fuerza externa tienda a modificar el valor de velocidad. [8]

La señal real (encoder) es comparada con la señal de referencia (velocidad predefinida) y el controlador se encarga de tomar la respectiva acción de control.

Figura 29. Lazo de Control del Sistema PWM para un motor con Encoder



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

6.4.4 Modulación de Ancho de Pulso. La modulación por ancho de pulso es uno de los métodos mas empleados para realizar control a motores de corriente directa de baja potencia y para realizar conversión análoga digital con la implementación de un filtro pasabajo.

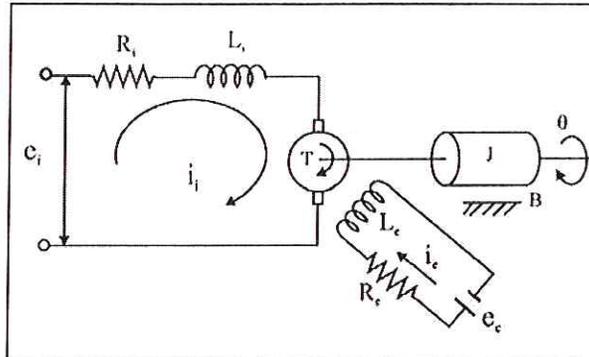
6.5 MODELO DE UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA CONTROLADO POR INDUCIDO

Cuando el rotor gira, se induce en él una tensión e_b directamente proporcional a la velocidad angular y que se conoce como fuerza contraelectromotriz:

$$e_b = k_b \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (6.1)$$

$$w = \frac{d\theta}{dt} \quad (6.2)$$

Figura 30. Esquema de un motor de corriente directa controlado por inducido



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

La velocidad de giro se controla mediante la tensión e_a , la salida del amplificador de potencia. La ecuación diferencial del circuito del rotor es:

$$L_a \cdot \frac{di}{dt} + Ri + e_b = e_a \quad (6.3)$$

El par que desarrolla el motor es proporcional al flujo en el entrehierro ψ y la corriente i , el flujo de entrehierro es:

$$\psi = K_f \cdot i_f \quad (6.4)$$

Donde i_f es la corriente de campo, de esta manera el par desarrollado por el motor es:

$$\tau = K_t \cdot i \cdot \psi \quad (6.5)$$

Para una corriente de campo i_f constante, el flujo se vuelve constante, y el par es directamente proporcional a la corriente que circula por el rotor: [5]

$$\tau = K_p \cdot i \quad (6.6)$$

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} = \tau - \tau_p \quad (6.7)$$

Sin tener en cuenta las perturbaciones externas el par es:

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} = \tau \quad (6.8)$$

Las ecuaciones en el plano complejo s son:

$$E_b = K_b \cdot W \quad (6.9)$$

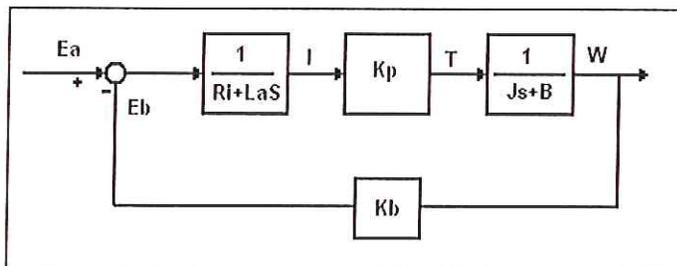
$$(L_a s + R_i) \cdot I = E_a - E_b \quad (6.10)$$

$$\tau = K_p \cdot I \quad (6.11)$$

$$\tau = (J s + B) \cdot W \quad (6.12)$$

DIAGRAMA DE BLOQUES

Figura 31. Diagrama de bloques del motor DC controlado por inducido



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

7. DISEÑO MECATRÓNICO DEL MANIPULADOR AUTOMÁTICO

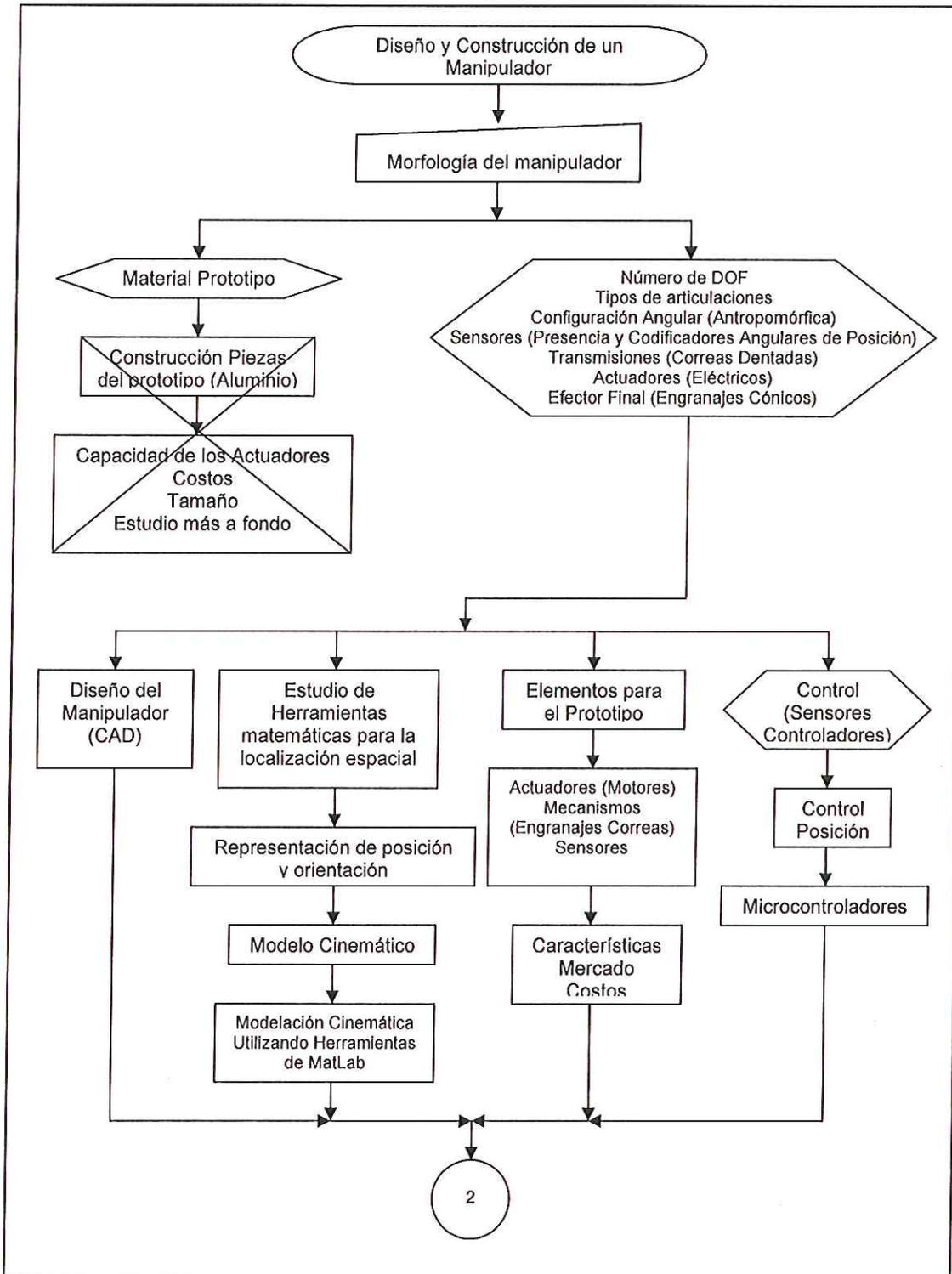
7.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

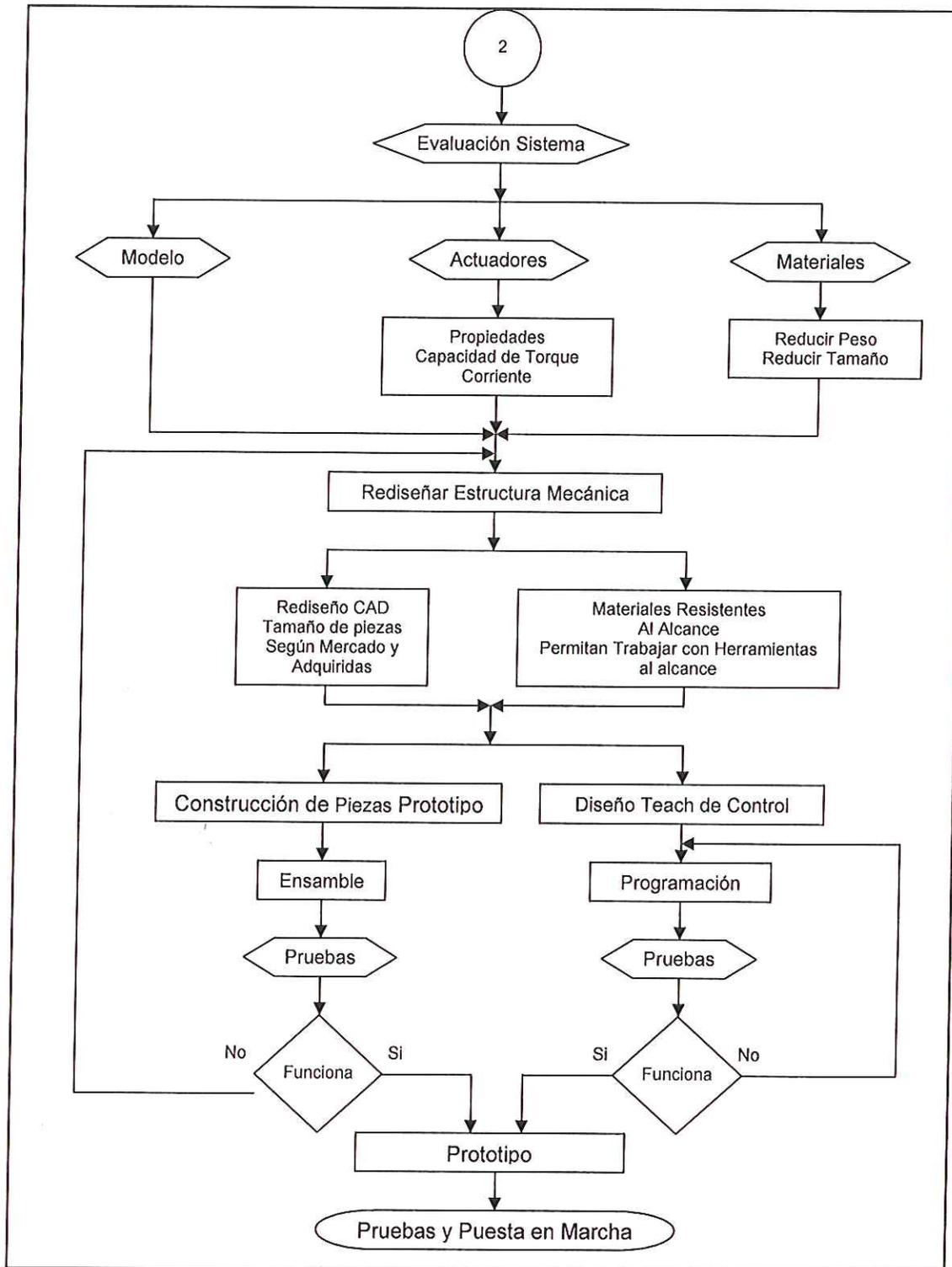
El manipulador automático aplicado al proceso de ensamble cuenta con:

- Un sistema mecánico compuesto de 5 articulaciones activadas mediante motoreductores que realizan la transmisión del movimiento por medio de engranajes, correas dentadas, acoples, ejes, rodamientos, etc.
- Un sistema sensorial que permite evaluar la posición y orientación del manipulador con el fin de obtener exactitud en sus movimientos y realizar un adecuado control sobre las articulaciones. Incluye los encoders que permiten conocer la posición de cada una de las articulaciones y los sensores de presencia (finales de carrera) que indican la posición extrema del manipulador.
- Un sistema eléctrico que permite ofrecer la respectiva alimentación a cada uno de los componentes eléctricos del manipulador (motoreductores, sensores, controladores, las interfaces entre los sensores con el sistema de control, las fuentes de alimentación y las respectivas derivaciones para cada uno de los componentes).
- Un sistema electrónico que consta de los dispositivos o interfaces entre sensores – actuadores y sistema de control.
- Un sistema de control (microcontrolador) que se encarga de tomar las respectivas acciones de control una vez evaluada la información que brindan los sensores y las especificaciones dadas por el operario. Las órdenes de control son enviadas desde un dispositivo portátil de control (Control Box).

El desarrollo del prototipo del manipulador se basó en la metodología mencionada en las Figuras 1 y Figura 2 y el Diagrama de Flujo de la Figura 32.

Figura 32. Diagrama de Flujo de Metodología





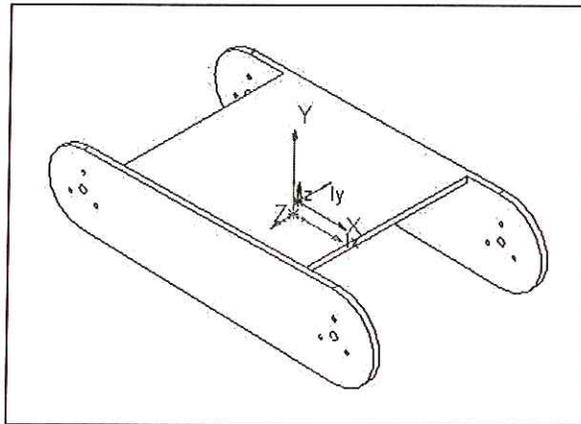
Del Autor

La metodología planteada anteriormente fue la base para el diseño y construcción del manipulador. Seguidamente se explicará a fondo cada uno de los sistemas constitutivos del manipulador.

7.2 SISTEMA MECÁNICO

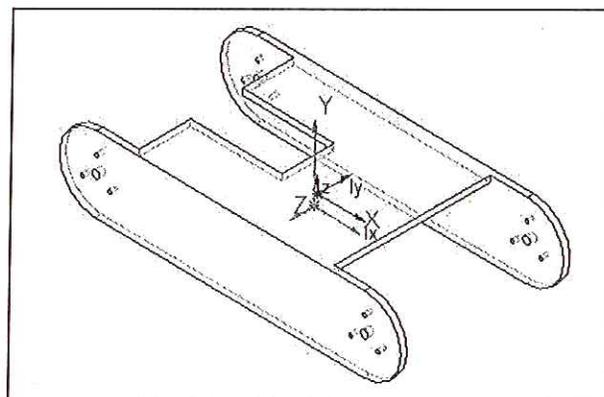
7.2.1 Propiedades Físicas y Mecánicas de los eslabones del Manipulador. En las siguientes figuras se muestran los ejes de referencia (color verde) y los ejes del centro de masa (color rojo) de cada uno de los eslabones que hacen parte de la estructura mecánica del manipulador automático.

Figura 33. Ejes de referencia de Antebrazo



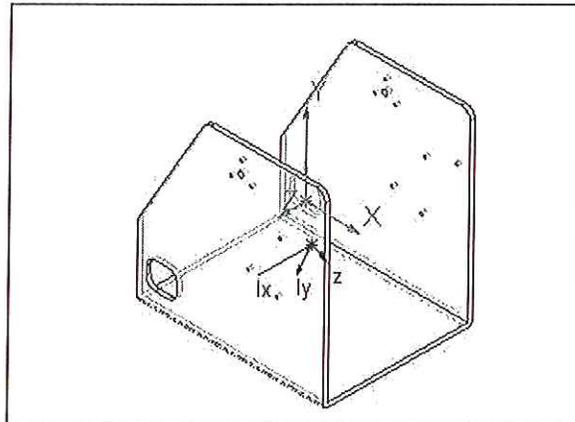
Del Autor

Figura 34. Ejes de referencia de Brazo



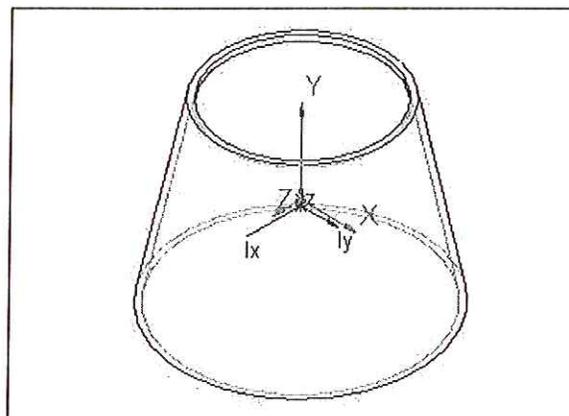
Del Autor

Figura 35. Ejes de referencia de Hombro



Del Autor

Figura 36. Ejes de referencia de Base Giratoria



Del Autor

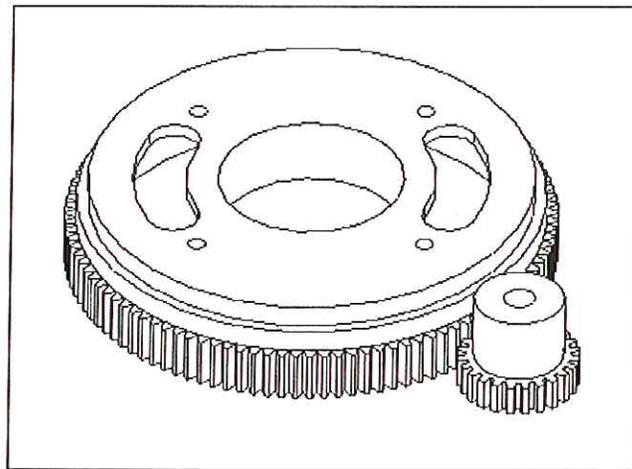
Tabla 6. Propiedades físicas de las piezas

Pieza	Masa (g/mm ³)	Volumen (mm ³)	Centro de Masa (mm)		
			X	Y	Z
Antebrazo	292.23	243528.42	X	Y	Z
			2.75	9.51	0
Brazo	342.44	285385.25	X	Y	Z
			3.72	11.56	0
Hombro	649.99	541660.30	X	Y	Z
			8.51	-37.22	0
Base Giratoria	548.90	457415.35	X	Y	Z
			0	-4.79	0

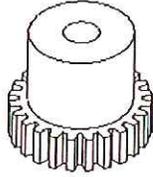
Sistema de Transmisión Mecánica. El tipo de transmisión mecánica con la que cuenta el manipulador automático es indirecta, los motores van acoplados a cada articulación a través de engranajes y correas dentadas, con esto aseguramos una reducción en la inercia de las articulaciones debido a que los motores están ubicados en la base principal.

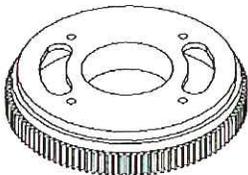
- **Transmisión de la Articulación de la Base.** Esta articulación se constituye de dos engranajes, uno de estos va acoplado directamente al eje de salida del motor y el otro va acoplado a la base para que esta gire. La velocidad de salida del motor es de 17 rpm; realizando los respectivos cálculos se obtiene una salida en la base de 3.93 rpm.

Figura 37. Tipo de transmisión de la Articulación de la Base



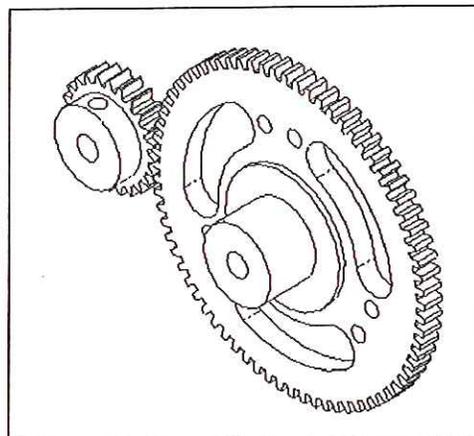
Del Autor

Piñón Transmisión Rueda Dentada Movimiento Base		
Características	Uso	Gráfica
Piñón Transmisión	Acoplado al eje del motor; es el encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Base.	
Masa: 57.32 gr.		
Número Dientes: 25		
Diametral Pitch: 26		
Paso en mm: 3.068		
Circular Pitch: 0.120		
Diámetro Primitivo: 1"		
Material: Acero	Ver Anexo A 8	

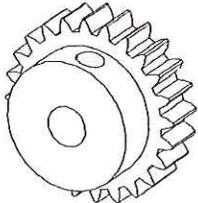
Rueda Dentada Movimiento Base		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Acoplado al eje del motor; es el encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Brazo.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Masa: 31.08 gr.		
Número Dientes: 108		
Diametral Pitch: 26		
Paso en mm: 3.068		
Circular Pitch: 0.120		
Diámetro Primitivo: 4" 2/13		
Material: Acero		

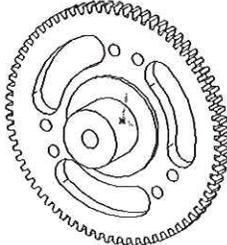
- **Transmisión de la Articulación del Brazo.** Esta articulación se constituye de dos engranajes, uno de estos va acoplado directamente al motor, el otro va sujeto a la articulación del hombro para la movilidad de ésta. La velocidad de salida del motor es de 11 rpm; realizando los respectivos cálculos se obtiene una salida en el brazo de 3.666 rpm.

Figura 38. Tipo de transmisión de la Articulación del Brazo



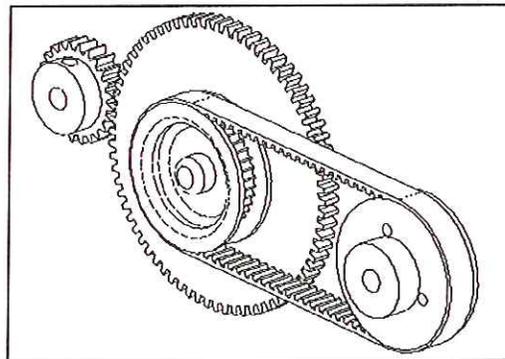
Del Autor

Piñón Transmisión Rueda Dentada Movimiento Brazo		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Acoplado al eje del motor; es el encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Brazo.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Masa: 31.08 gr.		
Número Dientes: 24		
Diametral Pitch: 24		
Paso en mm: 3.325		
Circular Pitch: 0.130		
Diámetro Primitivo: 1"		

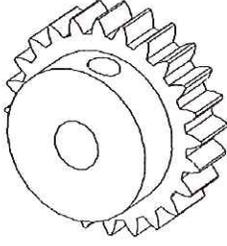
Rueda Dentada Movimiento Brazo		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Encargado de Transmitir potencia al Brazo que está fijo a dicha articulación, desde el motor ubicado en la base.	
Masa: 240 gr.		
Número Dientes: 72		
Diametral Pitch: 24		
Paso en mm: 3.325		
Circular Pitch: 0.130		
Diámetro Primitivo: 3"		
Material: Acero	Ver Anexo A 8	

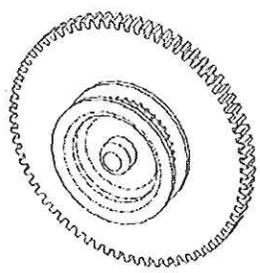
- **Transmisión de la Articulación del Antebrazo.** Esta transmisión se conforma de un sistema de dos etapas, esto se hace para acoplar el Brazo con el Engranaje que se ubica en el Hombro, para unir estos engranajes se utiliza una correa dentada. La velocidad de salida del motor es de 11 rpm; realizando los respectivos cálculos de obtiene una salida en el antebrazo de 3.666 rpm.

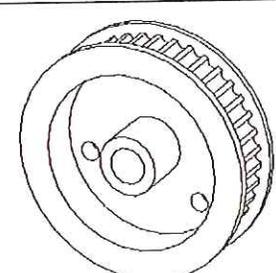
Figura 39. Tipo de transmisión de la Articulación del Antebrazo

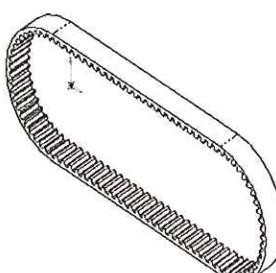


Del Autor

Piñón Transmisión Rueda Dentada Movimiento Antebrazo		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Acoplado al eje del motor; es el encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Antebrazo.	
Masa: 31.08 gr.		
Número Dientes: 24		
Diametral Pitch: 24		
Paso en mm: 3.325		
Circular Pitch: 0.130		
Diámetro Primitivo: 1"		
Material: Acero	Ver Anexo A 8	

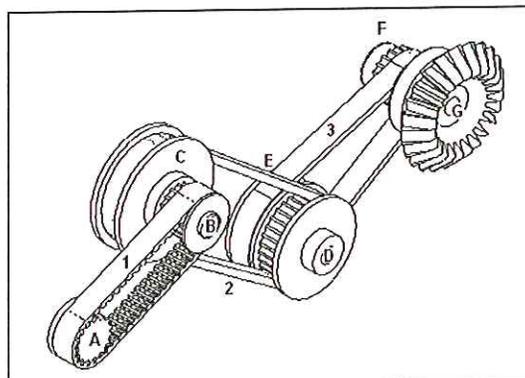
Rueda Dentada Movimiento Antebrazo (Compuesta)		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Encargado de Transmitir potencia al Antebrazo desde el motor ubicado en la base. Este mecanismo consta de dos ruedas dentadas; una encargada de recibir la potencia del motor y la otra de transmitírsela al Antebrazo mediante una correa dentada.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Masa: 240 gr.		
Número Dientes: 72		
Diametral Pitch: 24		
Paso en mm: 3.325		
Circular Pitch: 0.130		
Diámetro Primitivo: 3"		
Material: Acero		
Rueda Correa Dentada		
Paso 3M		
Diámetro interior : 35.5 mm		
Material: Aluminio		

Rueda Dentada Movimiento Antebrazo (Compuesta)		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Correa Dentada	Encargado de Transmitir la potencia al Antebrazo. Se conecta con la rueda dentada anterior por una correa. Se seleccionó en aluminio por que este no iba a ejercer cargas muy altas.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Paso 3M		
Diámetro interior : 35.5 mm		
Material: Aluminio		
Numero Dientes: 39		
Masa: 14.63 gr.		

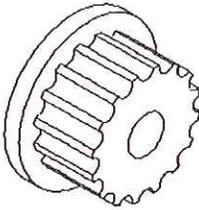
Correa Dentada Movimiento Antebrazo		
Características	Uso	Gráfica
Correa Dentada	Acopla las dos ruedas dentadas y le entrega potencia al antebrazo para producir su movimiento	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Masa: 11.03 gr.		
Paso: 3M		
Perímetro: 504mm		
Material: Cuerpo en Neopreno, dientes en Nylon, fibra de Vidrio parte interna para resistir tensión.		

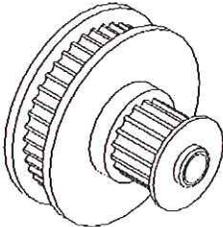
- **Sistema De Transmisión de la Articulación del Gripper.** Este sistema permite que el gripper tenga dos grados de libertad; uno que permite (subir-bajarlo) y otro que lo hace rotar. Es un sistema que consta de varias etapas; la más importante de éstas es la etapa diferencial, se usan piñones cónicos rectos para su funcionamiento, piñones cilíndricos rectos y correas dentadas que permiten unir los ejes que están a mayor distancia.

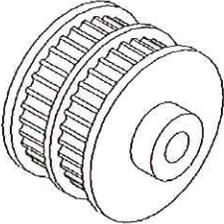
Figura 40. Tipo de transmisión de la Articulación del Gripper



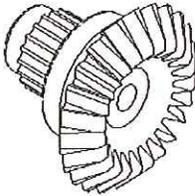
Del Autor

Rueda Dentada A Movimiento Gripper		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Va unido al eje de salida del motor. Se conecta con la rueda dentada B mediante la correa dentada 1, para entregarle la potencia al Gripper.	 Ver Anexo A 8
Paso 3M		
Diámetro interior : 13.5 mm		
Material: Aluminio		
Numero Dientes: 16		
Masa: 13.05 gr.		

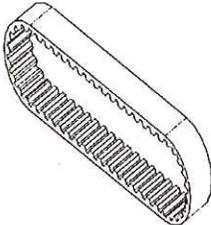
Rueda Dentada B, C Movimiento Gripper (Compuesto)		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Acopla la rueda dentada A con la rueda dentada D, mediante la correa dentada 2. Está ubicado sobre el eje del brazo.	 Ver Anexo A 8
Paso 3M		
Diámetro interior : 13.5 mm		
Material: Aluminio		
Numero Dientes B: 16		
Numero Dientes C: 40		
Masa: 13.05 gr.		

Rueda Dentada D, E Movimiento Gripper (Compuesto)		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Acopla la rueda dentada E con la rueda dentada F, mediante la correa dentada 3. Está ubicado sobre el eje del Antebrazo.	
Paso 3M		
Diámetro interior : 25 mm		
Material: Aluminio		
Numero Dientes A: 32		
Masa: 13.05 gr.		

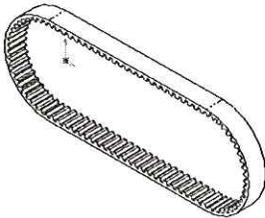
Ver Anexo A 8

Rueda Dentada E, F Movimiento Gripper (Compuesto)		
Características	Uso	Gráfica
Rueda Dentada	Recibe el movimiento de la rueda dentada E, a través de la correa dentada 3. Está ubicado sobre el eje del Gripper. Los Engranajes cónicos son los que permiten darle el giro al Gripper.	
Paso 3M		
Diámetro interior : 13.5 mm		
Material: Aluminio		
Numero Dientes A: 16		
Masa: 13.05 gr.		

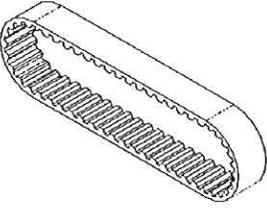
Ver Anexo A 8

Correa Dentada Movimiento Gripper		
Características	Uso	Gráfica
Correa Dentada 1	Acopla la Rueda dentada A con la rueda dentada B; une el motor con el eje de la articulación Brazo, la distancia de separación es de 170mm.	
Masa: 11.03 gr.		
Paso: 3M		
Perímetro: 383mm		
Material: Cuerpo en Neopreno, dientes en Nylon, fibra de Vidrio parte interna para resistir tensión.		

Ver Anexo A 8

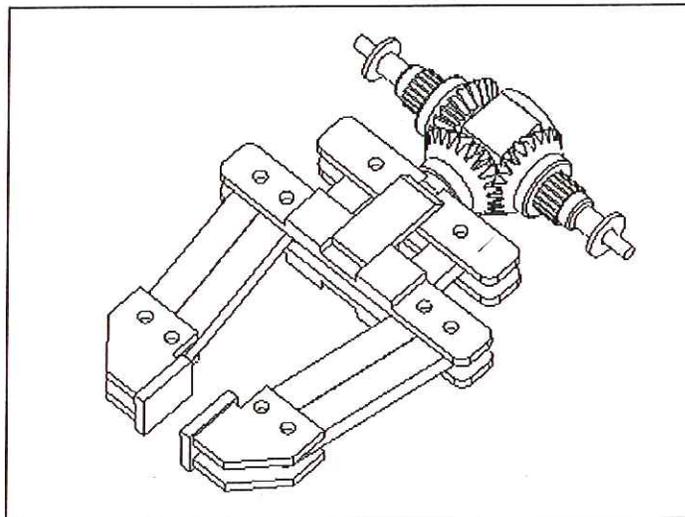
Correa Dentada Movimiento Gripper		
Características	Uso	Gráfica
Correa Dentada 2	Acopla la rueda dentada C con la rueda dentada D y le entrega potencia al Gripper para producir su movimiento. La separación entre ejes es de 220mm.	
Masa: 11.03 gr.		
Paso: 3M		
Perímetro: 504mm		
Material: Cuerpo en Neopreno, dientes en Nylon, fibra de Vidrio parte interna para alta tensión.		

Ver Anexo A 8

Correa Dentada Movimiento Gripper		
Características	Uso	Gráfica
Correa Dentada 3	Acopla la rueda dentada E con la rueda dentada F, mediante la correa dentada 3, la distancia de separación de los ejes es de 220mm.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Masa: 11.03 gr.		
Paso: 3M		
Perímetro: 527mm		
Material: Cuerpo en Neopreno, dientes en Nylon, fibra de Vidrio parte interna alta tensión.		

7.2.2 Funcionamiento dispositivo de Sujeción (Gripper). El mecanismo de actuación del Gripper se denomina de dedos paralelos y es movido por un tornillo de avance que está acoplado a un motor, este tornillo hace desplazar una tuerca que va acoplada a la parte móvil del Gripper, a la cual se unen los dedos o uñas de presión.

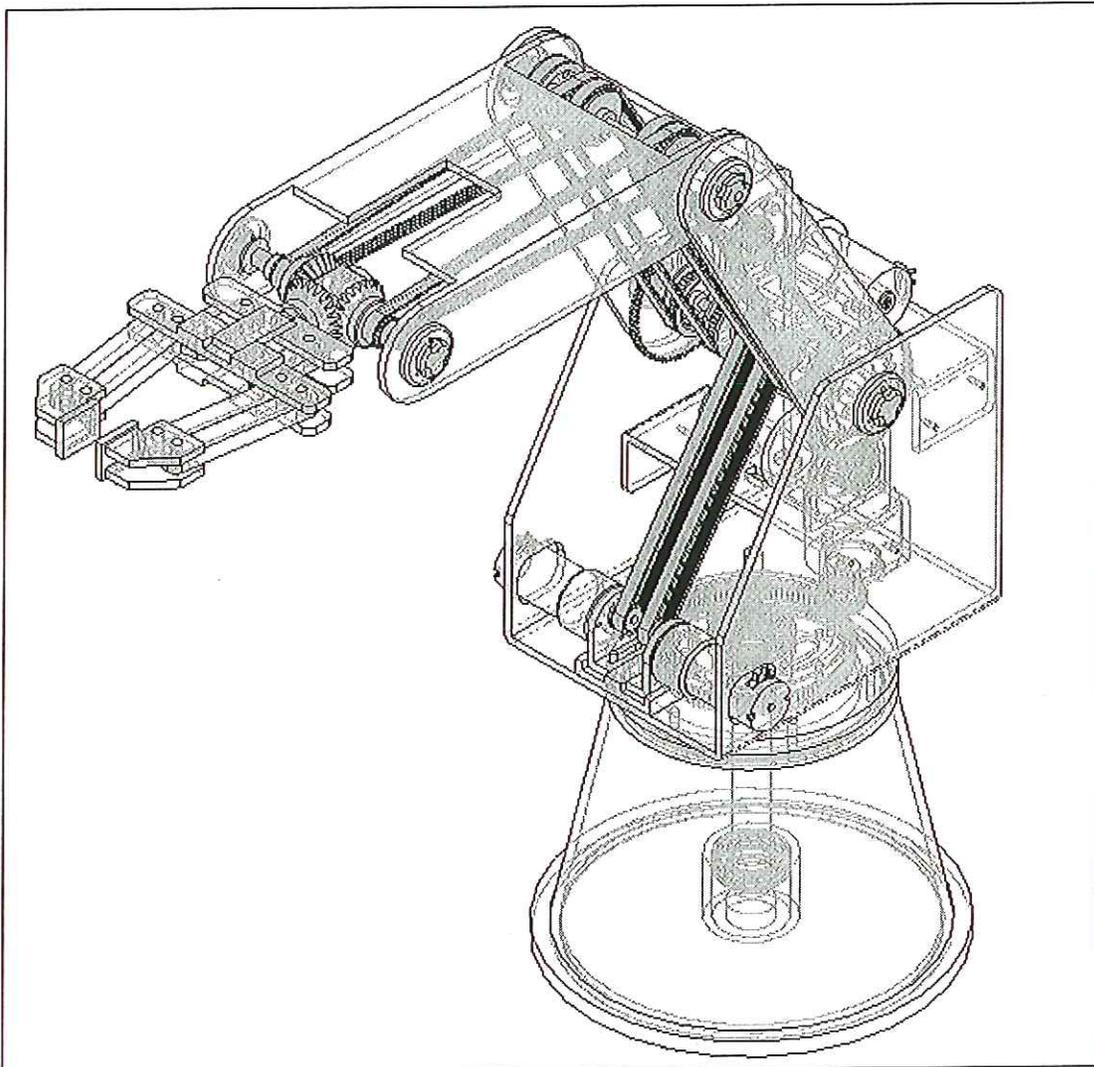
Figura 41. Configuración del Gripper.



Del Autor

7.2.3 Estructura Mecánica del Manipulador. El diseño de las partes constitutivas del manipulador se realizó en una herramienta CAD, se utilizó Solid Works para dicha tarea. Una vez se diseñaron todas las partes se recurrió a realizar el montaje y con este se verificaron posibles fallas en la posterior construcción del manipulador. Para ver a mas detalle el ensamble de la estructura y los componentes, recurrir a los anexos de Planos.

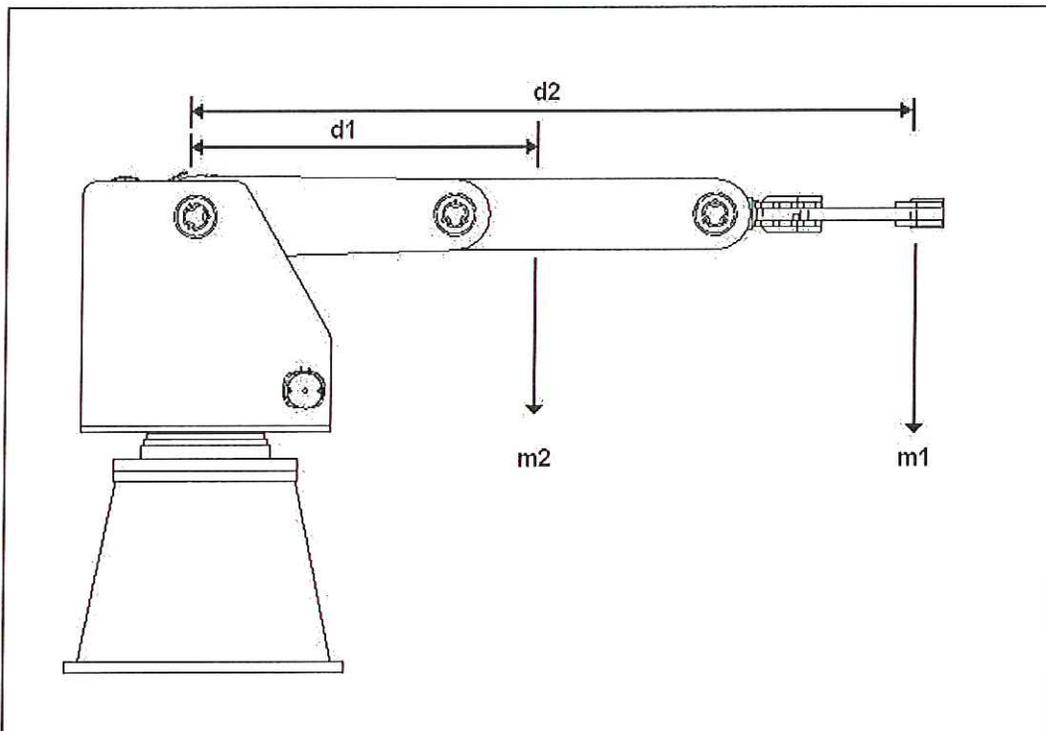
Figura 42. Estructura Mecánica Del Manipulador



Del Autor

7.2.4 Condiciones de Carga. Para determinar la máxima carga que soporta el manipulador se realizó un diagrama de cuerpo libre al cual se le asignaron cada una de las fuerzas. Todo esto se analizó en la configuración más frágil del manipulador que es cuando esta en posición inicial. En figura 43 se puede ver con más detalle.

Figura 43. Condiciones de Carga



Del Autor

Cálculos Carga Máxima

- $m_1 = 1.5 \text{ Kg.}$
- $m_2 = 0.2 \text{ Kg.}$
- $f_1 = 14.7 \text{ N}$
- $f_2 = 1.96$
- $d_1 = 0.295 \text{ m}$
- $d_2 = 0.590 \text{ m}$
- $T_1 = 4.3365$
- $T_2 = 1.1564 \text{ N-m}$
- $T. \text{ Total} = 5.4929 \text{ N-m}$
- $\text{Máx. Torque} = 7 \text{ N-m}$

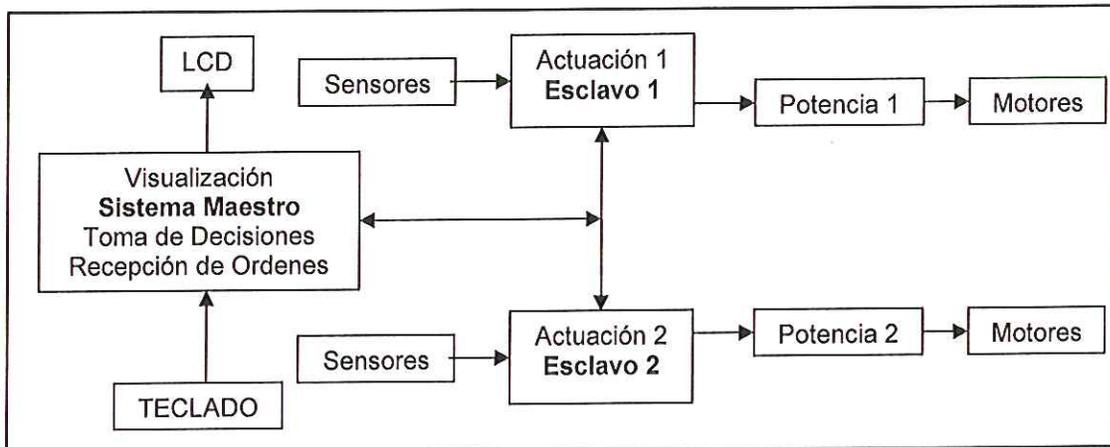
Características Motor

- Torque motor: 0.0332 N-m
- Velocidad motor: 2412 r.p.m
- Reducción: $218.8:1$
- Torque Salida Reductor: $(2412 \cdot 0.032) / 11 = 7 \text{ N-m}$

7.3 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

7.3.1 Circuitos Eléctricos y Electrónicos del Manipulador. Para el control del manipulador se diseñaron los siguientes circuitos, asignándoles a cada uno de éstos una función específica; buscando que el sistema fuese modular y pensando en futuras actualizaciones.

Figura 44. Diagrama de bloques del sistema de control del robot



Del Autor

La primera etapa se le asignó el nombre de circuito maestro, ésta tiene la función de recibir órdenes y tomar decisiones al respecto, está en la capacidad de delegar tareas a cada una de las etapas denominadas esclavos.

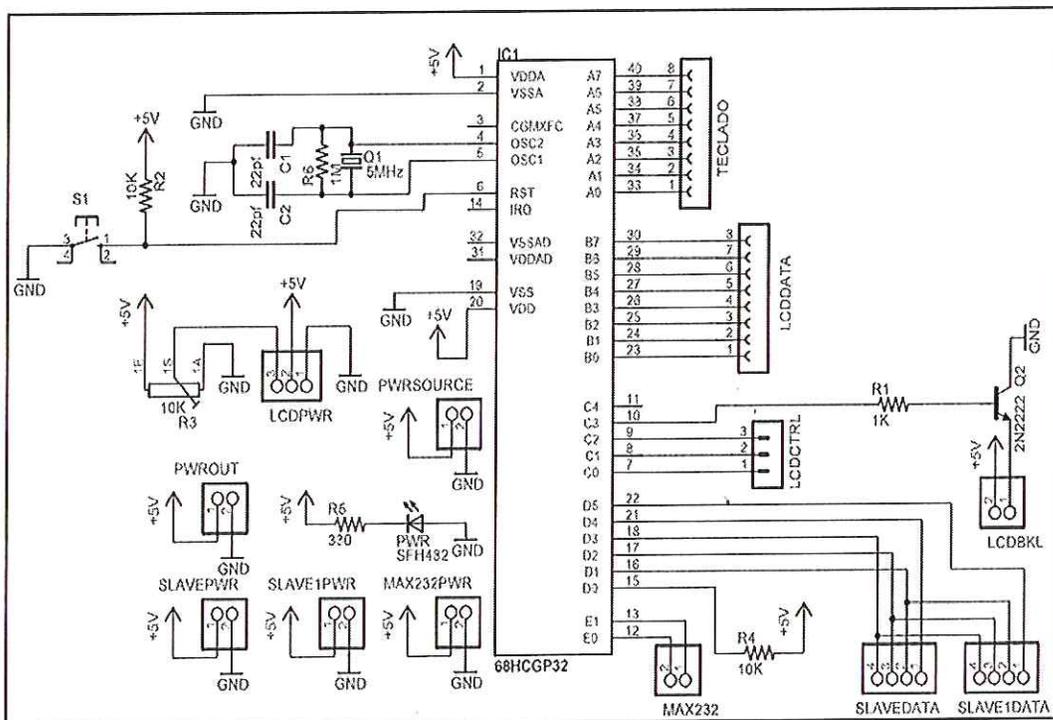
La segunda etapa, denominada circuitos esclavos lleva asociada un circuito de potencia con el fin de entregar a los actuadores la respectiva orden de actuación; ésta también debe recibir las señales de los sensores para realizar el control de posición respectivo.

Finalmente, se diseñó un circuito de alimentación de los sensores, esto con el fin de reducir el número de cables que van a los sensores. Entonces se utiliza la misma alimentación y solo se envía la señal del encoder y el final de carrera al microcontrolador.

Para el control del manipulador se utilizaron microcontroladores de la familia Motorola y se diseñaron cada una de las etapas que se enumeraron anteriormente; a continuación se explica de manera mas detallada cada una de ellas.

Circuito Maestro. El circuito que se muestra en la figura 45 corresponde al microcontrolador que se denominó maestro; éste es el encargado de recibir las ordenes de actuación de los motores desde un teclado, que es el medio de comunicación externo con el operario. Desde que se inicia, el sistema está atento a cualquier orden que se le dé; tiene dos modos de trabajo, actuar directamente cada una de las articulaciones ó mover una articulación en los grados que se quieran. El sistema también cuenta con una opción de punto de inicio, la cuál da la orden de ir al cero del robot (sistema inicial), para que pueda referenciarse y saber donde está ubicado.

Figura 45. Diagrama Esquemático del circuito maestro.



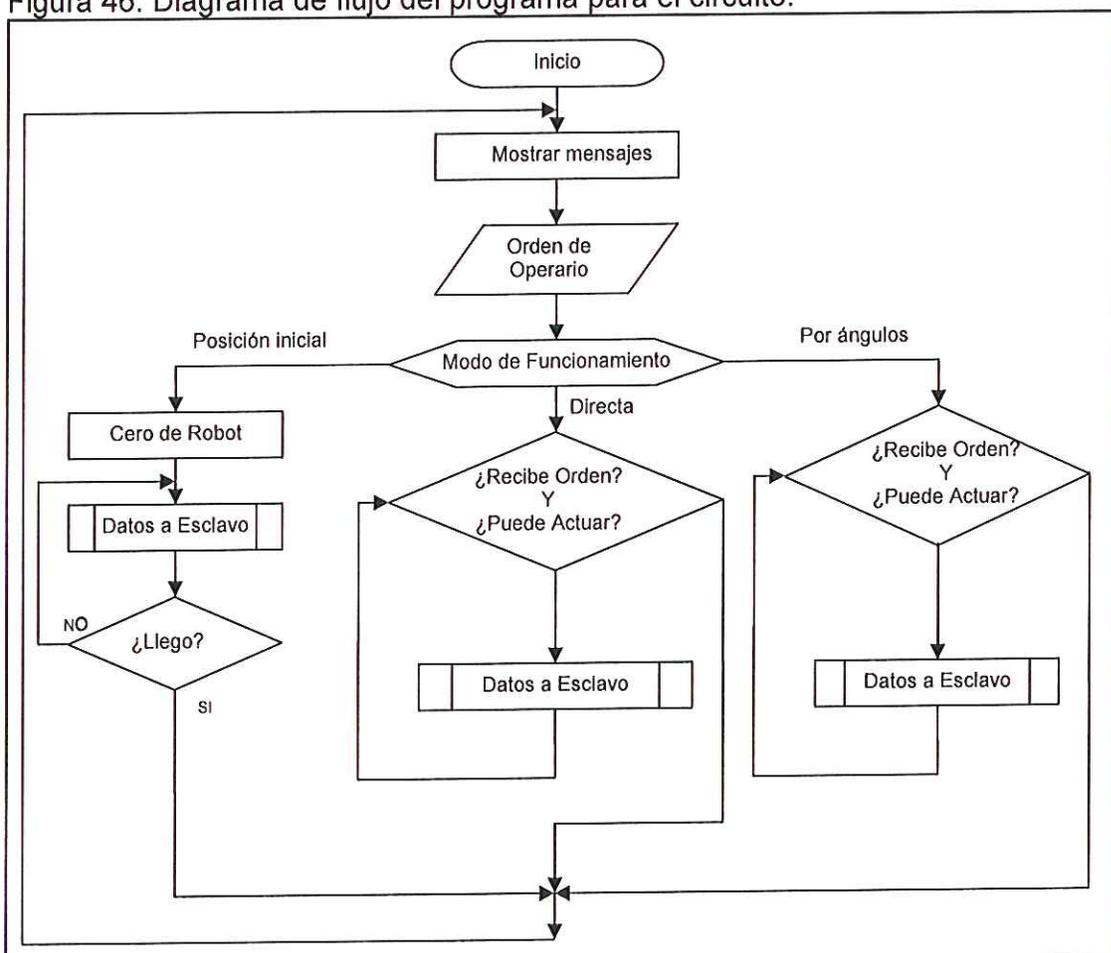
Este circuito de mando es amigable con el operario porque muestra todas las órdenes que se le dan en una pantalla de cristal líquido.

También cuenta con puertos de comunicación a los microcontroladores esclavos que son quienes reciben las ordenes de actuar los motores y deben verificar que en ningún momento alguno de los eslabones se vaya a estrellar para permitir su movimiento.

Por último cuenta con puerto de comunicación serial con miras a que en un futuro las órdenes de mando puedan ser enviadas desde un computador y no sea necesario que el operario las digite.

Como adicionales cuenta con puertos de alimentación de salida de 5V para alimentar a sus esclavos y algún otro dispositivo que se quiera agregar al sistema.

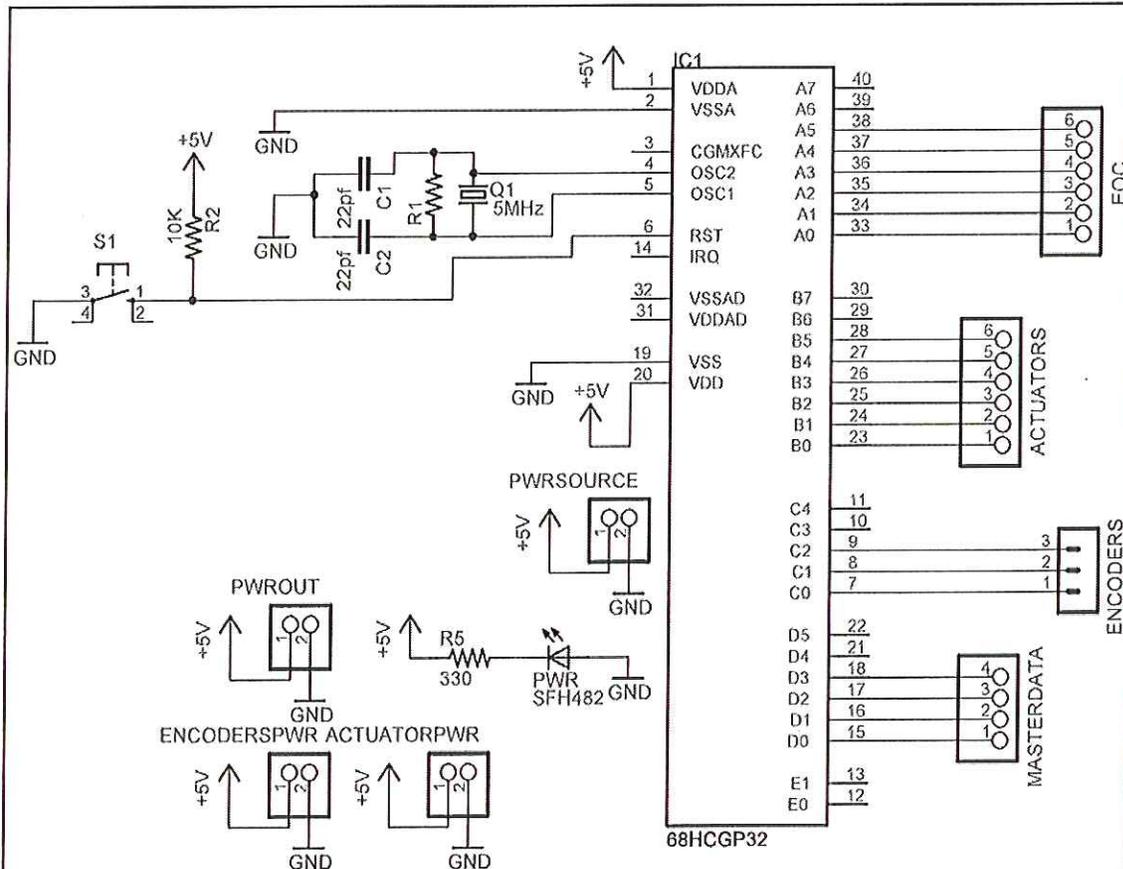
Figura 46. Diagrama de flujo del programa para el circuito.



Del Autor

Circuito Esclavo. Tienen la tarea de controlar los motores y es un par de estos; que van a hacer controlados por el dispositivo maestro.

Figura 47. Diagrama esquemático del circuito esclavo.



Para mas Detalle ver anexo A 9.2.

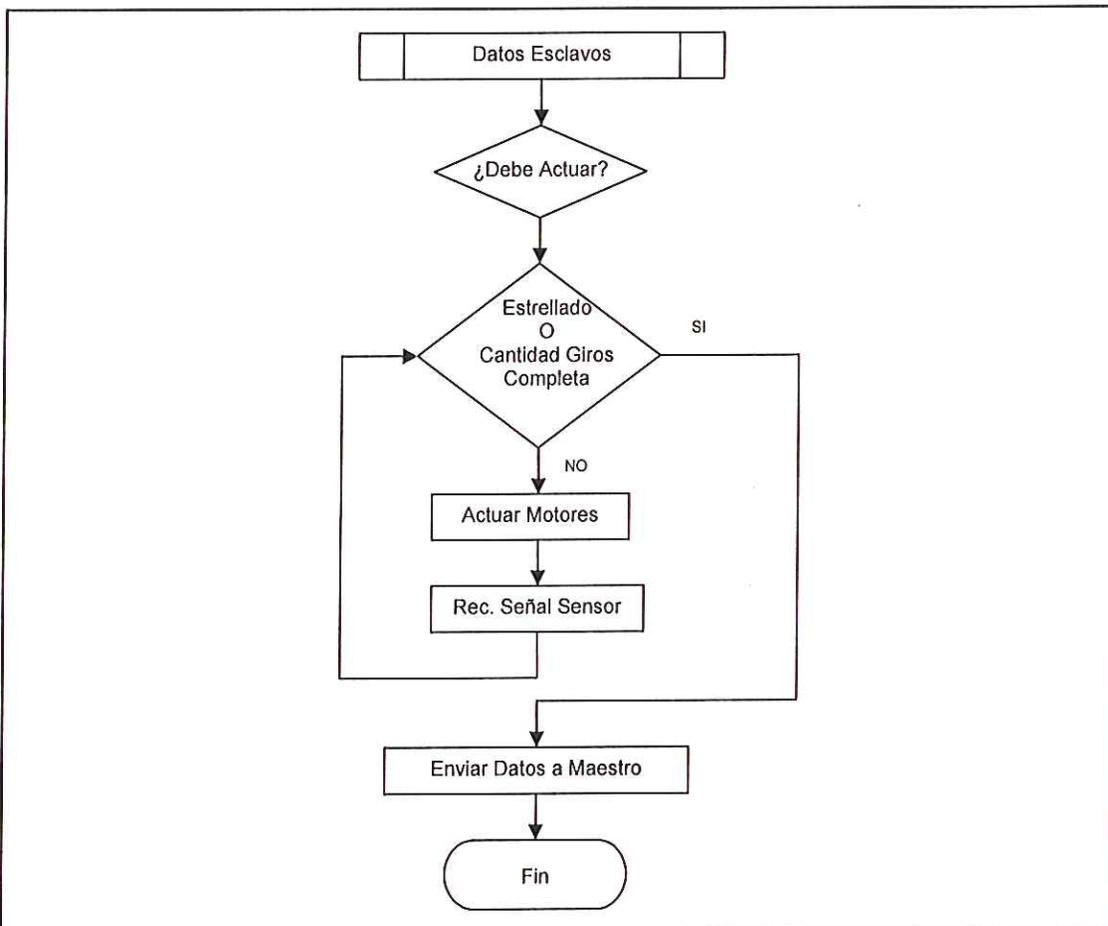
Trabajando en modo directo simplemente reciben la orden del maestro para realizar el movimiento de cualquier articulación (envían señales al circuito de potencia de los motores para que actúen); evaluando que ninguno de los eslabones se haya estrellado y teniendo en cuenta para dicho caso que no deben permitir que el motor funcione en el mismo sentido en que se ha estrellado, sino en sentido contrario.

Si uno de los eslabones se estrellada, el circuito de actuación enviará este dato al circuito maestro para que el operario pueda verlo en la pantalla.

En modo de Posición inicial simplemente reciben la orden y no dejaran de actuar hasta que el manipulador llegue a la posición de cero o referencia como punto inicial del robot.

En modo de trabajo por ángulos recibe la orden de actuar los motores la envía al circuito de potencia, teniendo en cuenta la señal generada por los encoders que le indicaran cuantos giros ha realizado el eje del motor; mediante los cálculos de relación que se hicieron de los motores se conocerá cuantas vueltas debe girar para llegar a determinado ángulo.

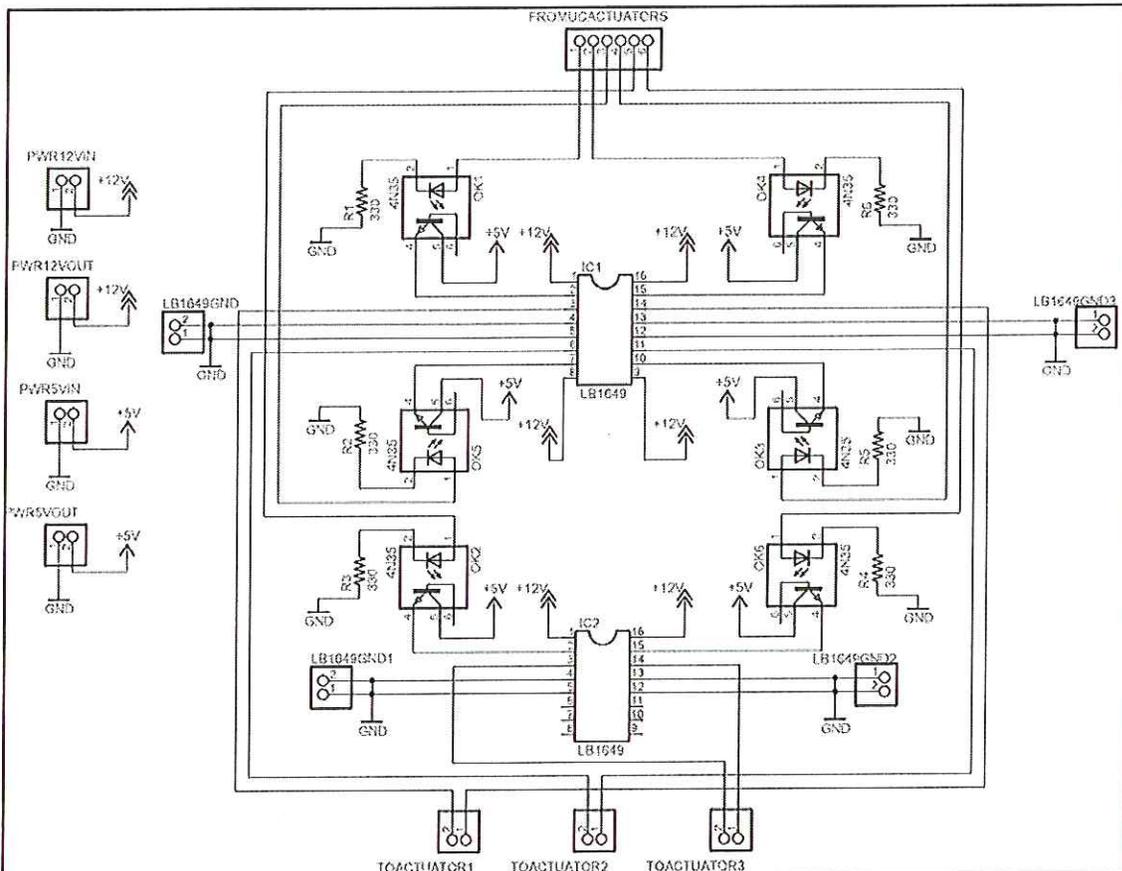
Figura 48. Diagrama de flujo del programa para el circuito esclavo.



Del Autor

Circuito de Potencia. El circuito de potencia como su nombre lo indica esta diseñado para controlar la etapa de potencia, separando los sistemas de diferentes voltajes con el uso de optoacopladores 4N35 y los circuitos integrados LB1649 que es un circuito en el cual esta integrado todo el sistema correspondiente a un puente H.

Figura 49. Circuito de Potencia

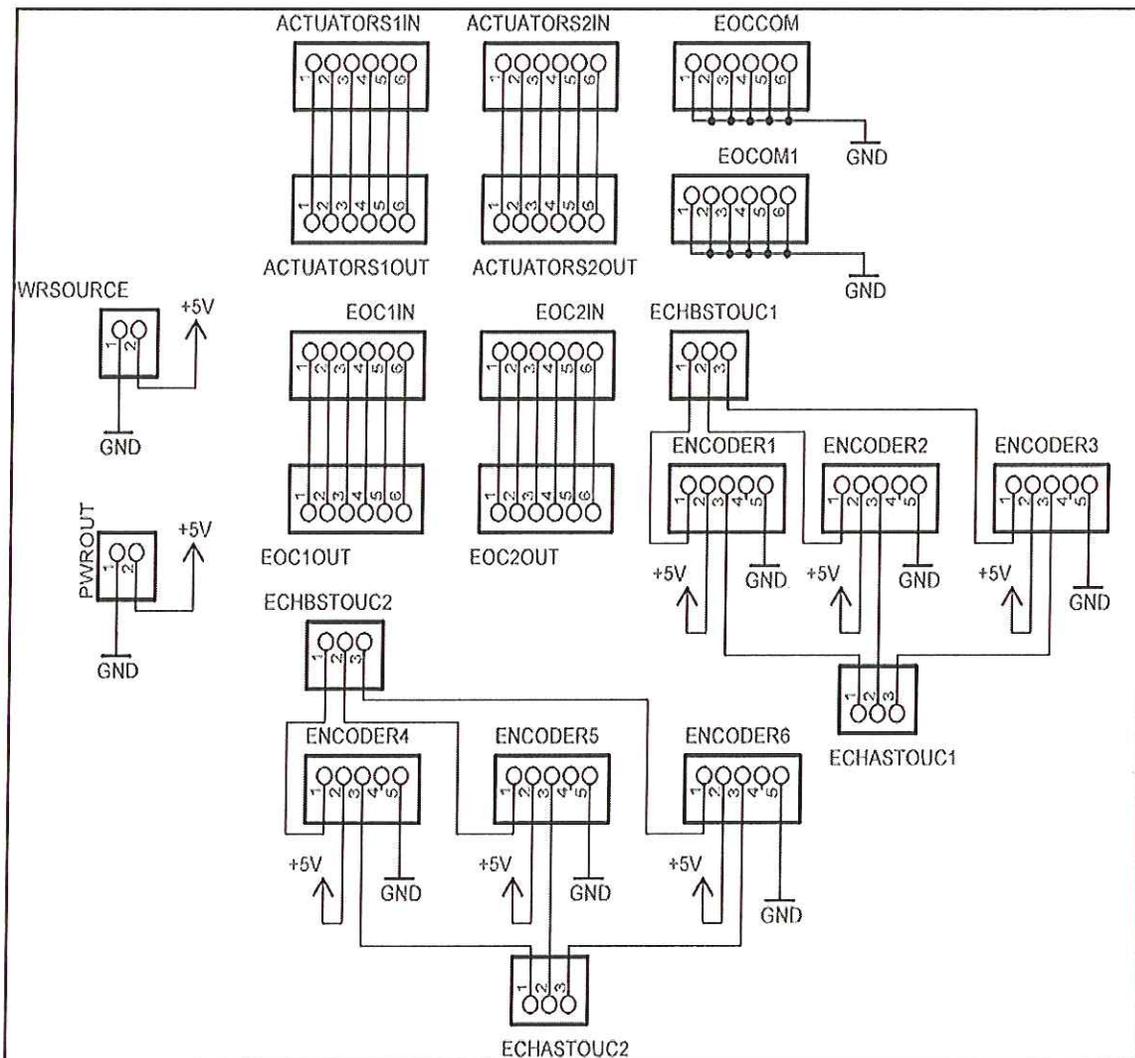


Para mas detalle ver anexo A 9.3

Este circuito recibe las señales de los microcontroladores y transformando a las respectivas tensiones envía directamente la alimentación necesaria para que los actuadores cumplan su función.

Circuito de Alimentación de Sensores. Este Circuito se diseño con el fin de reducir la cantidad de cables que se dirigen al manipulador, este modulo comunica a los microcontroladores esclavos con los sensores. También provee la alimentación necesaria para cada uno de los sensores.

Figura 50. Diagrama esquemático de la etapa de alimentación y señal de sensores

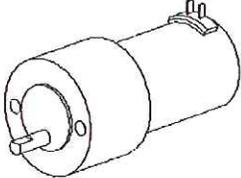


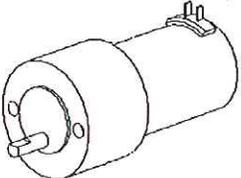
Para mas detalle ver anexo A 9.4.

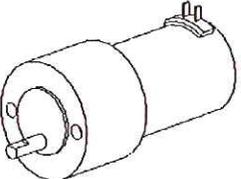
Este Circuito se diseño con el fin de reducir la cantidad de cables que se dirigen al manipulador, este modulo comunica a los microcontroladores esclavos con los sensores. También provee la alimentación necesaria para cada uno de los sensores.

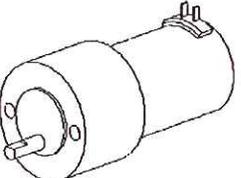
Otro de los objetivos de diseño era tener una etapa media entre los sensores y los microcontroladores, con esto las longitudes de los cables que transmiten la señal no son tan grandes.

7.3.2 Especificaciones de los Motores

Motor Transmisión Movimiento Base		
Características	Uso	Gráfica
Masa: 470 gr.	Encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Base.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Reducción: 65.1:1		
Alimentación: 12 V		
V. Angular: 1441 rpm		
Torque: 30 mN-m		
Eficiencia Reductor: 66%		
Máxima Carga: 3.53 N-m		

Motor Transmisión Movimiento Hombro		
Características	Uso	Gráfica
Masa: 450 gr.	Encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Hombro.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Reducción: 218.8:1		
Alimentación: 12 V		
V. Angular: 2402 rpm		
Torque: 14 mN-m		
Eficiencia Reductor: 59 %		
Máxima Carga: 3.53 N-m		

Motor Transmisión Movimiento Antebrazo		
Características	Uso	Gráfica
Masa: 450 gr.	Encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Base.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Reducción: 218.8:1		
Alimentación: 12 V		
V. Angular: 2402 rpm		
Torque: 35 mN-m		
Eficiencia Reductor: 59 %		
Máxima Carga: 3.53 N-m		

Motor Transmisión Movimiento Antebrazo		
Características	Uso	Gráfica
Masa: 250 gr.	Encargado de Transmitir potencia a la Rueda dentada Movimiento Base.	 <p>Ver Anexo A 8</p>
Reducción: 95.9:1		
Alimentación: 12 V		
V. Angular: 1631 rpm		
Torque: 35 mN-m		
Eficiencia Reductor: 59 %		
Máxima Carga: 0.71 N-m		

7.3.3 Resolución De Las Transmisiones. Para calcular la resolución de cada articulación se debe tener en cuenta la transmisión y el número de agujeros del encoder.

Articulación Base

El motor de la Base tiene seis agujeros en su encoder, con esto la resolución del motor es de 60° .

Datos Motor:

Reducción motor: 65.5:1

Datos Transmisión:

Número Dientes Piñón: 25

Número Dientes Rueda: 108

Sensibilidad al eje de la salida del motor:

$$S = \frac{Sm}{Tm} \quad S = \frac{60^\circ}{65.5} = 0.916^\circ$$

Relación de Transmisión Engranaje:

$$Tb = \frac{108}{25} = 4.32$$

Resolución Articulación

$$S_{base} = \frac{0.916^\circ}{4.32} = 0.212$$

Un pulso en el encoder representa 0.212° en la articulación. Si se quiere tener 1° en la articulación se deberían generar 4.716 pulsos en el encoder.

Articulación Brazo - Antebrazo

Para las articulaciones de brazo y antebrazo se seleccionó un encoder con tres agujeros.

Datos Motor:

Reducción motor: 218.8:1

Datos Transmisión:

Número Dientes Piñón: 24

Número Dientes Rueda: 72

Sensibilidad al eje de la salida del motor:

$$S = \frac{S_m}{T_m} \quad S = \frac{120^\circ}{218.8} = 0.5484^\circ$$

Relación de Transmisión Engranaje:

$$Tb = \frac{72}{24} = 3$$

Resolución Articulación

$$S_{base} = \frac{0.5484^\circ}{3} = 0.1828$$

Un pulso en el motor representa 0.1828° en la articulación. Si se quiere tener 1° en la articulación se deberían generar 5.47 pulsos en el motor.

Resolución Mínima Del Sistema

La resolución mínima del sistema es de 10 pulsos del encoder, la resolución de cada articulación queda como sigue:

Resolución Base

1 pulso equivale a 0.212°

$$R_{min\ base} = 10\ pulsos \cdot 0.212^\circ = 2.12^\circ$$

Resolución Brazo y Antebrazo

1 pulso equivale a 0.1828°

$$R_{min\ base} = 10\ pulsos \cdot 0.1828^\circ = 1.828^\circ$$

7.4 MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL MANIPULADOR

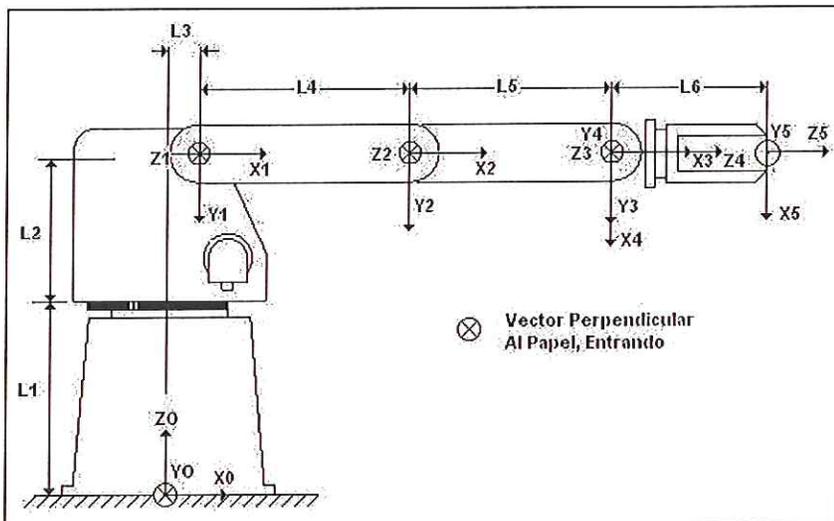
7.4.1 Cinemática. En la Tabla 7 se muestran los parámetros Denavit – Hartenberg del manipulador automático; asociados a un sistema de referencia.

Tabla 7. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador

Eslabón	Θ	D	A	α
1	Θ_1	$L1 + L2$	L3	$-\pi/2$
2	Θ_2	0	L4	0
3	Θ_3	0	L5	0
4	$\Theta_4 + \pi/2$	0	0	$\pi/2$
5	Θ_5	L6	0	0

La figura 51 muestra la posición de cada uno de los cinco grados de libertad del manipulador y la asignación de sus respectivos ejes de referencia.

Figura 51. Asignación de ejes de referencia para el manipulador



Del Autor

Para obtener cada una de las matrices de transformación homogénea se deben realizar las transformaciones de la siguiente manera:

- Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo Θ_i
- Traslación a lo largo de z_{i-1} un ángulo d_i
- Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i

- Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i

Debido a que el producto de matrices no es conmutativo las transformaciones se realizan en el orden indicado:

$${}^{i-1}A_i = T(Z_i, \theta_i) \cdot T(0, 0, d_i) \cdot T(a_i, 0, 0) \cdot T(X_i, \alpha_i) \quad (7.1)$$

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\text{sen}\theta_i & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_i & -\text{sen}\theta_i & 0 \\ 0 & \text{sen}\theta_i & \cos\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \cdot \text{sen}\theta_i & \text{sen}\alpha_i \cdot \text{sen}\theta_i & a_i \cdot \cos\theta_i \\ \text{sen}\theta_i & \cos\alpha_i \cdot \text{sen}\theta_i & -\text{sen}\alpha_i \cdot \cos\theta_i & a_i \cdot \text{sen}\theta_i \\ 0 & \text{sen}\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

7.4.2 Transformaciones Homogéneas Manipulador Automático. Las siguientes matrices muestran como se pasa de una articulación a otra, éstas conforman el modelo cinemático del manipulador automático.

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\text{sen}\theta_1 & L_3 \cos\theta_1 \\ \text{sen}\theta_1 & 0 & L_4 & L_3 \text{sen}\theta_1 \\ 0 & -1 & 0 & L_1 + L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\text{sen}\theta_2 & 0 & L_4 \cos\theta_2 \\ \text{sen}\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_4 \text{sen}\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\text{sen}\theta_3 & 0 & L_5 \cos\theta_3 \\ \text{sen}\theta_3 & \text{sen}\theta_3 & 0 & L_5 \text{sen}\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.6)$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \pi/2) & 0 & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) & 0 \\ \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) & 0 & -\cos(\theta_4 + \pi/2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & -\text{sen}\theta_5 & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

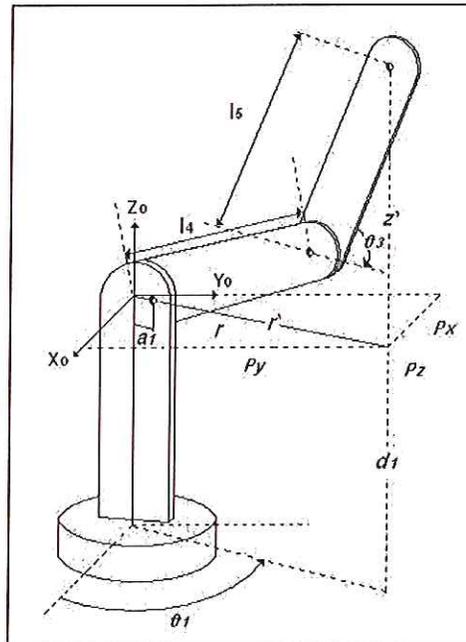
La matriz de transformación final se obtiene realizando la multiplicación en el orden que se muestra a continuación.

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \quad (7.9)$$

La matriz T es la que de termina en que punto quedará ubicado el extremo final del robot una vez dados los valores de rotación a cada articulación.

7.4.3 Cinemática Inversa. El método utilizado para determinar los valores de las tres primeras articulaciones es el método geométrico. El procedimiento consiste en encontrar relaciones geométricas entre las coordenadas del extremo del manipulador, sus coordenadas articulares y las dimensiones de sus eslabones. La ventaja de utilizar este método es que se encuentra una solución cerrada para la cinemática inversa.

Figura 52. Geometría Manipulador para determinar Cinemática inversa



Del Autor

Obtención de Θ_1 (Angulo Primera Articulación):

$$\theta_1 = \text{arctg}\left(\frac{Py}{Px}\right) \quad (7.10)$$

Obtención de Θ_3 (Angulo Tercera Articulación):

Relaciones Geométricas:

$$r = a_1 + r' \Rightarrow r' = r - a_1 \quad (7.11)$$

$$Pz = d_1 + z' \Rightarrow z' = Pz - d_1 \quad (7.12)$$

$$r^2 = Px^2 + Py^2 \quad (7.13)$$

Aplicando el teorema del coseno se obtiene:

$$r'^2 + z'^2 \Rightarrow L_4^2 + L_5^2 + 2 \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot \cos \theta_3 \quad (7.14)$$

$$\cos \theta_3 = \frac{r'^2 + z'^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5} \quad (7.15)$$

Sustituyendo las ecuaciones (7.11) y (7.12) en (7.15) se obtiene:

$$\cos \theta_3 = \frac{(r - a_1)^2 + (Pz - d_1)^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5} \quad (7.16)$$

Resolviendo los cuadrados se obtiene:

$$\cos \theta_3 = \frac{r^2 - 2ra_1 + a_1^2 + Pz^2 - 2Pzd_1 + d_1^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5} \quad (7.17)$$

Sustituyendo la ecuación (7.13) se obtiene:

$$\cos \theta_3 = \frac{Px^2 + Py^2 - 2\sqrt{Px^2 + Py^2}a_1 + a_1^2 + Pz^2 - 2 \cdot Pz \cdot d_1 + d_1^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5} \quad (7.18)$$

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1 \Rightarrow \sin^2 \theta = 1 - \cos^2 \theta \Rightarrow \sin \theta = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \quad (7.19)$$

$$\frac{\sin \theta_3}{\cos \theta_3} = \frac{\pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta_3}}{Px^2 + Py^2 - 2 \cdot \sqrt{Px^2 + Py^2}a_1 + a_1^2 + Pz^2 - 2 \cdot Pz \cdot d_1 + d_1^2 - L_4^2 - L_5^2} \quad (7.20)$$

$$2 \cdot L_4 \cdot L_5$$

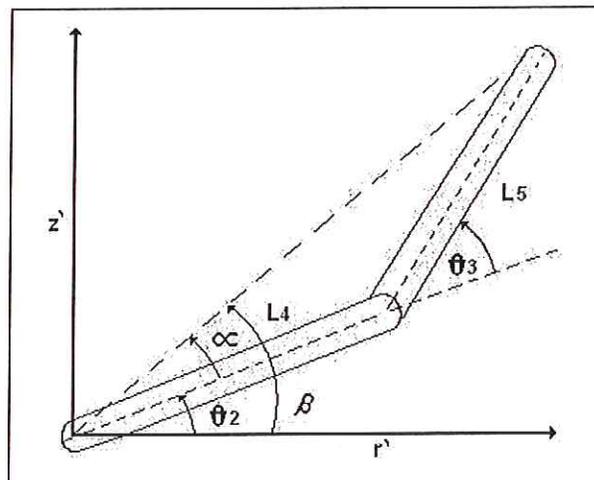
$$\theta_3 = \arctag \left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{Px^2 + Py^2 - 2 \cdot \sqrt{Px^2 + Py^2} a_1 + a_1^2 + Pz^2 - 2 \cdot Pz \cdot d_1 + d_1^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5} \right)^2}}{\frac{Px^2 + Py^2 - 2 \cdot \sqrt{Px^2 + Py^2} a_1 + a_1^2 + Pz^2 - 2 \cdot Pz \cdot d_1 + d_1^2 - L_4^2 - L_5^2}{2 \cdot L_4 \cdot L_5}} \right) \quad (7.21)$$

Obtención de Θ_2 (Angulo Segunda Articulación):

$$\theta_2 = \beta - \alpha \quad (7.22)$$

$$\beta = \arctag \left(\frac{z'}{r'} \right) \quad (7.23)$$

Figura 53. Geometría para determinar Angulo Segunda Articulación



Del Autor

De la ecuación (7.12) se obtiene:

$$z' = Pz - d_1 \Leftrightarrow d_1 = L_1 + L_2 \quad (7.23)$$

$$r' = r - a_1 \Leftrightarrow a_1 = L_3 \quad (7.24)$$

$$\beta = \arctag\left(\frac{Pz - d_1}{r - a_1}\right) \quad (7.25)$$

Sustituyendo r se obtiene:

$$\beta = \arctag\left(\frac{Pz - d_1}{\pm \sqrt{Px^2 + Py^2} - a_1}\right) \quad (7.26)$$

Del teorema del coseno se puede obtener:

$$x^2 = L_4^2 + L_5^2 - 2L_4L_5 \cos(90 - \theta_3) \Rightarrow x = \sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos(\theta_3)} \quad (7.27)$$

Del teorema del seno se obtiene:

$$\frac{\text{sen}\alpha}{L_5} = \frac{\text{sen}(90 - \theta_3)}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}} \quad (7.28)$$

$$\text{sen}(90 - \theta_3) = \text{sen}\theta_3 \quad (7.29)$$

$$\text{sen}\alpha = \frac{L_5 \text{sen}\theta_3}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}} \quad (7.30)$$

$$\text{sen}^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad (7.31)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha} \quad (7.32)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{L_5 \text{sen}\theta_3}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos(\theta_3)}}\right)^2} \quad (7.33)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{L_5^2 \operatorname{sen}^2 \theta_3}{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}} \quad (7.34)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3 - L_5^2 \operatorname{sen}^2 \theta_3}{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}} \quad (7.35)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}}}{\sqrt{\frac{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3 - L_5^2 \operatorname{sen}^2 \theta_3}{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3}}} \quad (7.36)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3 - L_5^2 \operatorname{sen}^2 \theta_3}} \quad (7.37)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{\sqrt{L_4^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3 + L_5^2 (1 - \operatorname{sen}^2 \theta_3)}} \quad (7.38)$$

$$\cos^2 \theta_3 = (1 - \operatorname{sen}^2 \theta_3) \quad (7.39)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{\sqrt{L_4^2 + 2L_4L_5 \cos \theta_3 + L_5^2 \cos^2 \theta_3}} \quad (7.40)$$

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\cos \alpha} = \frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{\sqrt{(L_4 + L_5 \cos \theta_3)^2}} \quad (7.41)$$

$$\operatorname{tag} \alpha = \frac{L_5 \operatorname{sen} \theta_3}{L_4 + L_5 \cos \theta_3} \quad (7.42)$$

$$\alpha = \arctag\left(\frac{L_5 \text{sen}\theta_3}{L_4 + L_5 \cos\theta_3}\right) \quad (7.43)$$

$$\theta_2 = \beta - \alpha \quad (7.44)$$

$$\theta_2 = \arctag\left(\frac{Pz - d_1}{\pm \sqrt{Px^2 + Py^2 - a_1}}\right) - \arctag\left(\frac{L_5 \text{sen}\theta_3}{L_4 + L_5 \cos\theta_3}\right) \quad (7.45)$$

Obtención de Θ_4 y Θ_5 (Angulo Cuarta y Quinta Articulación) (Método Analítico)

Conociendo las matrices de rotación:

$${}^0R_5 = {}^0R_3 \cdot {}^3R_5 \quad (7.46)$$

$$T_m = {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \pi/2) & 0 & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) & 0 \\ \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) & 0 & -\cos(\theta_4 + \pi/2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & -\text{sen}\theta_5 & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.47)$$

$$T_m = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & \cos(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\text{sen}\theta_5) & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \cdot L_6 \\ \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\text{sen}\theta_5) & -\cos(\theta_4 + \pi/2) & -\cos(\theta_4 + \pi/2) \cdot L_6 \\ \text{sen}\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.48)$$

La matriz de rotación es la siguiente:

$${}^3R_5 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & \cos(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\text{sen}\theta_5) & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \\ \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & \text{sen}(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\text{sen}\theta_5) & -\cos(\theta_4 + \pi/2) \\ \text{sen}\theta_5 & \cos\theta_5 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.49)$$

Se realizan los siguientes cambios de variables por espacio: $s = \text{sen}\theta_n$, $c = \cos\theta_n$,

$$T_b = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 = {}^0A_3 \quad (7.50)$$

$$T_b = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & -s\theta_1 & L_3c\theta_1 \\ s\theta_1 & 0 & L_4 & L_3s\theta_1 \\ 0 & -1 & 0 & L_1 + L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & L_4c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & L_4s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & L_5c\theta_3 \\ s\theta_3 & s\theta_3 & 0 & L_5s\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.51)$$

$$T_b = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -s\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & c\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3 & s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.52)$$

$$\begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5s\theta_3 + c\theta_1 \cdot L_4c\theta_2 + L_3c\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5s\theta_3 + s\theta_1 \cdot L_4c\theta_2 + L_3s\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot L_5c\theta_3 - c\theta_2 \cdot L_5s\theta_3 - L_4s\theta_2 + L_1 + L_2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0R_3 = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -s\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & c\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3 & s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.53)$$

Como la transformada inversa de una matriz homogénea es igual a su transpuesta se obtiene:

$$({}^0R_3)^{-1} = ({}^0R_3)^T \quad (7.54)$$

$${}^0R_3 = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3 \\ -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3 \\ -s\theta_1 & c\theta_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.55)$$

$$({}^0R_3)^{-1} \cdot {}^0R_5 = {}^3R_5 \quad (7.56)$$

$$\begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot (c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_2 \cdot s\theta_3) & s\theta_1 \cdot (c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_2 \cdot s\theta_3) & -s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3 \\ -c\theta_1 \cdot (c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_2 \cdot c\theta_3) & -s\theta_1 \cdot (c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_2 \cdot c\theta_3) & s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3 \\ -s\theta_1 & c\theta_1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_x & o_x & a_x \\ u_y & o_y & a_y \\ u_z & o_z & a_z \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} c(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & c(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\sin\theta_5) & s(\theta_4 + \pi/2) \\ s(\theta_4 + \pi/2) \cdot \cos\theta_5 & s(\theta_4 + \pi/2) \cdot (-\sin\theta_5) & -c(\theta_4 + \pi/2) \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.57)$$

Tomando los siguientes elementos obtenemos Θ_4 :

Elemento (1,4)

$$s(\theta_4 + \pi/2) = (c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_x + (s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_y + (-s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_z \quad (7.58)$$

Resolviendo la suma de algunos se obtiene:

$$c\theta_4 = (c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_x + (s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_y + (-s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3) \cdot a_z \quad (7.59)$$

Elemento (2,4)

$$-c(\theta_4 + \pi/2) = (-c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_x + (-s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_y + (s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_z \quad (7.60)$$

Resolviendo la suma de algunos se obtiene:

$$s\theta_4 = (-c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_x + (-s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_y + (s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3) \cdot a_z \quad (7.61)$$

$$\text{tag}\theta_4 = \frac{\text{sen}\theta_4}{\text{cos}\theta_4} \quad (7.62)$$

$$\theta_4 = \text{arctag}\left(\frac{\text{sen}\theta_4}{\text{cos}\theta_4}\right) \quad (7.63)$$

Tomando los siguientes elementos obtenemos Θ_5 :

Elemento (3,1)

$$s\theta_5 = (-s\theta_1) \cdot u_x + (c\theta_5) \cdot u_y \quad (7.64)$$

Elemento (3,2)

$$c\theta_5 = (-s\theta_1) \cdot o_x + (c\theta_5) \cdot o_y \quad (7.65)$$

$$\text{tag}\theta_5 = \frac{(-s\theta_1) \cdot u_x + (c\theta_5) \cdot u_y}{(-s\theta_1) \cdot o_x + (c\theta_5) \cdot o_y} \quad (7.66)$$

$$\theta_5 = \text{arctag}\left(\frac{(-s\theta_1) \cdot u_x + (c\theta_5) \cdot u_y}{(-s\theta_1) \cdot o_x + (c\theta_5) \cdot o_y}\right) \quad (7.67)$$

7.4.4 Jacobiano Directo. El Jacobiano directo es un método mediante el cual se obtienen relaciones entre las velocidades angulares de cada articulación y la velocidad del extremo del manipulador. Conociendo cada uno de los valores de velocidad en las articulaciones, se puede conocer la velocidad del extremo del manipulador.

$${}^0A_3 = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & -s\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot s\theta_3 & -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot c\theta_3 & c\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot c\theta_3 - c\theta_2 \cdot s\theta_3 & s\theta_2 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot c\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + c\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 c\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + s\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 s\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 - L_4 s\theta_2 + L_1 + L_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.68)$$

$$x = c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + c\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 c\theta_1 \quad (7.69)$$

$$y = s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + s\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 s\theta_1 \quad (7.70)$$

$$z = -s\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 - L_4 s\theta_2 + L_1 + L_2 \quad (4.62)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + c\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 c\theta_1 \\ s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 + s\theta_1 \cdot L_4 c\theta_2 + L_3 s\theta_1 \\ -s\theta_2 \cdot L_5 c\theta_3 - c\theta_2 \cdot L_5 s\theta_3 - L_4 s\theta_2 + L_1 + L_2 \end{bmatrix} \quad (7.71)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = J^* \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{bmatrix} \quad \text{Con} \quad J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_x}{\partial q_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_\gamma}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_\gamma}{\partial q_n} \end{bmatrix} \quad (7.72)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 + s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot L_4 \cdot c\theta_2 - L_3 \cdot s\theta_1 \\ c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 + c\theta_1 \cdot L_4 \cdot c\theta_2 + L_3 \cdot c\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
& -c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 - c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot L_4 \cdot s\theta_2 \\
& -s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 - s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot L_4 \cdot s\theta_2 \\
& \quad - c\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 + s\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - L_4 c\theta_2 \\
& -c\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - c\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} \quad (7.73) \\
& -s\theta_1 \cdot c\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - s\theta_1 \cdot s\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3 \\
& \quad s\theta_2 \cdot L_5 \cdot s\theta_3 - c\theta_2 \cdot L_5 \cdot c\theta_3
\end{aligned}$$

Las velocidades máximas en las articulaciones son las siguientes:

- Base: 3.93 rpm. (0.4115 rad/s)
- Hombro: 3.66 rpm (0.3832 rad/s)
- Codo: 3.66 rpm (0.3832 rad/s)

Estando el manipulador en posición inicial; todas las articulaciones con un ángulo de cero grados el valor de velocidad del extremo es:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ L_5 + L_4 + L_3 & 0 & 0 \\ 0 & -L_4 & -L_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.4115 \\ 0.3832 \\ 0.3832 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.168608 \\ -0.168608 \end{bmatrix}$$

$$|v| = (0.168608)^2 + (-0.168608)^2$$

$$|v| = 0.238447(m/s)$$

El anterior modelo matemático se utilizó para desarrollar el programa en Matlab; esto con el fin de visualizar y de realizar las respectivas pruebas de rotaciones en cada una de sus articulaciones.

7.5 SOFTWARE DESARROLLADO PARA EL ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MANIPULADOR

Los programas diseñados para el modelamiento matemático y simulación en Matlab del manipulador automático, utilizan algunas funciones de la librería HEMERO¹ (Herramienta Matlab – Simulink para la Enseñanza de la Robótica), vale la pena aclarar que esta librería fue desarrollada por el autor de uno de los libros consultados como bibliografía y ha sido de mucha utilidad.

A continuación explicamos a brevedad cada una de las funciones utilizadas de la librería HEMERO; para encontrar una descripción detallada el lector debe referirse al CD-ROM que acompaña el libro *ROBÓTICA manipuladores y robots móviles* o referirse a la pagina Web www.esi.us.es/hetero.

frame.

Representar gráficamente un cuadro de referencia con una posición y orientación dadas.

rotvec

Calcula la transformación de rotación en torno a un vector.

rotx, roty, rotz

Calcular las transformaciones de rotación en torno a los ejes \hat{X} , \hat{Y} y \hat{Z} respectivamente.

rpy2tr

Obtener la transformación homogénea correspondiente de los ángulos RPY dados.

tr2rpy

Extraer de una transformación homogénea sus correspondientes ángulos RPY.

dh

Contener los parámetros de Denavit – Hartenberg del manipulador.

¹ Ollero Baturone, Aníbal, Robótica y manipuladores Móviles, Alfaomega - marcombo.

fkine

Calcular la cinemática directa del manipulador.

linktrans

Calcular las matrices de transformación a partir de los parámetros de Denavit – Hartenberg.

plotbot

Representar gráficamente el manipulador.

De aquí en adelante se da la explicación de cada uno de los programas y funciones Matlab que fueron hechos para la simulación del manipulador.

dh5dof

El programa **dh5dof** entrega la matriz de transformación final para el desarrollo del Denavit – Hartenberg del manipulador de 5 grados de libertad, almacenando también los valores de las matrices homogéneas de cada eslabón; los resultados de este programa son simbólicos. Si se desea obtener una matriz de transformación intermedia como por ejemplo **A03**, se multiplica cada una de las matrices homogéneas **A01*A12*A23**.

El programa es una modificación a uno realizado anteriormente, y luego se tomó la decisión de utilizar las herramientas de la librería HEMERO, descrita anteriormente. Es necesario aclarar que la notación de los parámetros de Denavit – Hartenberg se debe entregar al programa según la convención de Craig:

Tabla 8. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador según la convención de Craig.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1	0	0	Θ_1	L1 + L2
2	$-\pi/2$	L3	Θ_2	0
3	0	L4	Θ_3	0
4	0	L5	$\Theta_4 + \pi/2$	0
5	$\pi/2$	0	Θ_5	L6

$${}^{i-1}T = Rot(\hat{X}_{i-1}, \alpha_{i-1}) Tras(\hat{X}_{i-1}, a_{i-1}) Rot(\hat{Z}_i, \theta_i) Tras(\hat{Z}_i, d_i). \quad (7.74)$$

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.75)$$

Sintaxis: **dh5dof**

dh5doffirst

Entrega la matriz de transformación final para el manipulador de 5 grados de libertad, utiliza la notación descrita en el libro de Fundamentos de Robótica², almacena también lo valores de las matrices de transformación intermedias de cada uno de los eslabones. Los resultados entregados son simbólicos. Si lo que se quiere es obtener una matriz de transformación intermedia como por ejemplo **A03** se multiplica cada una de las matrices homogéneas **A01*A12*A23**.

Tabla 9. Parámetros de Denavit – Hartenberg para el manipulador

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Θ_1	L1 + L2	L3	$-\pi/2$
2	Θ_2	0	L4	0
3	Θ_3	0	L5	0
4	$\Theta_4 + \pi/2$	0	0	$\pi/2$
5	Θ_5	L6	0	0

$${}^{i-1}A_i = T(Z_i, \theta_i) \cdot T(0, 0, d_i) \cdot T(a_i, 0, 0) \cdot T(X_i, \alpha_i) \quad (7.76)$$

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i \cdot s\theta_i & s\alpha_i \cdot s\theta_i & a_i \cdot c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i \cdot c\theta_i & -s\alpha_i \cdot c\theta_i & a_i \cdot s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.77)$$

Sintaxis: **dh5doffirst**

² Barrientos, Antonio y otros. Fundamentos de Robótica. Mc Graw Hill.

ejemplopuma

Este software simplemente muestra el ejemplo de cinemática inversa para el robot puma 560.

graficarobot

Esta función realiza una representación grafica del robot de 5 grados de libertad a partir de los ángulos entregados en grados, para cada una de sus articulaciones.

Se trata de una representación simple en la que cada eslabón se modela mediante una línea de color diferente. En éste se aprecia el sistema de coordenadas iniciales (origen) y el asociado al efector final, diferenciándolos; el inicial lleva los nombres de X0, Y0 y Z0 en cada uno de sus respectivos ejes, en cambio el efector final tiene los nombres de X5, Y5 y Z5. Para los sistemas de las articulaciones intermedias, solo se presentan sus orígenes con un asterisco (*).

Esta función recibe como parámetros los valores de cada uno de los 5 ángulos, para su correspondiente grado de libertad. Ellos son ángulo 1, ángulo 2, ángulo 3, ángulo 4 y ángulo 5.

Sintaxis: **graficarobot (angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);**

Donde ángulo 1, ángulo 2, ángulo 3, ángulo 4 y ángulo 5 deben estar en grados.

graficarobot3dof

Esta función simplemente realiza una grafica similar a la entregada por la función **graficarobot**, pero únicamente hasta el tercer grado de libertad.

Se trata de una representación simple en la que cada eslabón se modela mediante una línea de color diferente.

Sintaxis: **graficarobot3dof (angulo1, angulo2, angulo3);**

Donde ángulo 1, ángulo 2 y ángulo 3 deben estar en grados.

graficarobotmodif

Esta función, presenta gráficamente el robot, utilizando como subfunción plotbot.

Los parámetros que debe recibir esta función, son los ángulos para cada una de las respectivas articulaciones.

Sintaxis: **graficarobotmodif (angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);**

Los ángulos deberán estar en grados.

jacob3dof

Entrega la matriz jacobiana para el manipulador hasta el tercer grado de libertad, la cual se determina por el método analítico.

Sintaxis: **J = jacob3dof (ángulo 1, ángulo 2, angulo3);** La matriz jacobiana quedara almacenada en la variable J.

jacob5dof

Entrega la matriz jacobiana del robot de 5 grados de libertad, utiliza la función jacob0.

Sintaxis: **jacob5dof**

Esta función retorna la matriz jacobiana con respecto al origen en una variable llamada J0. Y la matriz jacobiana con respecto al quinto grado de libertad en una variable llamada Jn. Los resultados son simbólicos, es decir que están en función de las variables angulares del sistema.

jacobsim3of

Entrega la matriz jacobiana para el manipulador hasta el tercer grado de libertad, el resultado queda almacenado en una variable llamada jacob, y este resultado es simbólico, es decir, esta en función de las variables angulares del sistema.

Sintaxis: **jacobsim3of**

kineinv

La función kineinv calcula la cinemática inversa del manipulador de 5 grados de libertad. Esta solución utiliza la geometría del manipulador para resolver la cinemática inversa.

Recibe como parámetros los valores del punto mas extremo (xextremo, yextremo, zextremo), y la orientación rpy (roll, pitch, yaw) del efector final con respecto al origen. Entrega los valores de cada uno de los ángulos ángulo 1, ángulo 2, ángulo 3, ángulo 4 y ángulo 5, que debe haber en las articulaciones para que el extremo del manipulador se halle en las coordenadas y la orientación dadas.

Sintaxis: [ángulo1, ángulo2, ángulo3, ángulo4, ángulo5] = kineinv (xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha)

Los valores de los ángulos gamma, beta, alpha deben estar en grados, y al terminar la función los valores de los ángulos ángulo 1, ángulo 2, ángulo 3, ángulo 4 y ángulo 5 son regresados en grados.

kinemainverse3dof

A esta función se le entregan como parámetros de entrada los valores de la ubicación de la muñeca del manipulador como si este fuese su punto mas extremo y ella retorna los valores de cada uno de los ángulos (ángulo 1, ángulo 2, ángulo 3), para los cuales el manipulador tendría esta ubicación en el espacio.

Sintaxis: [ángulo1, ángulo2, ángulo3] = kinemainverse3dof (xextremo, yextremo, zextremo)

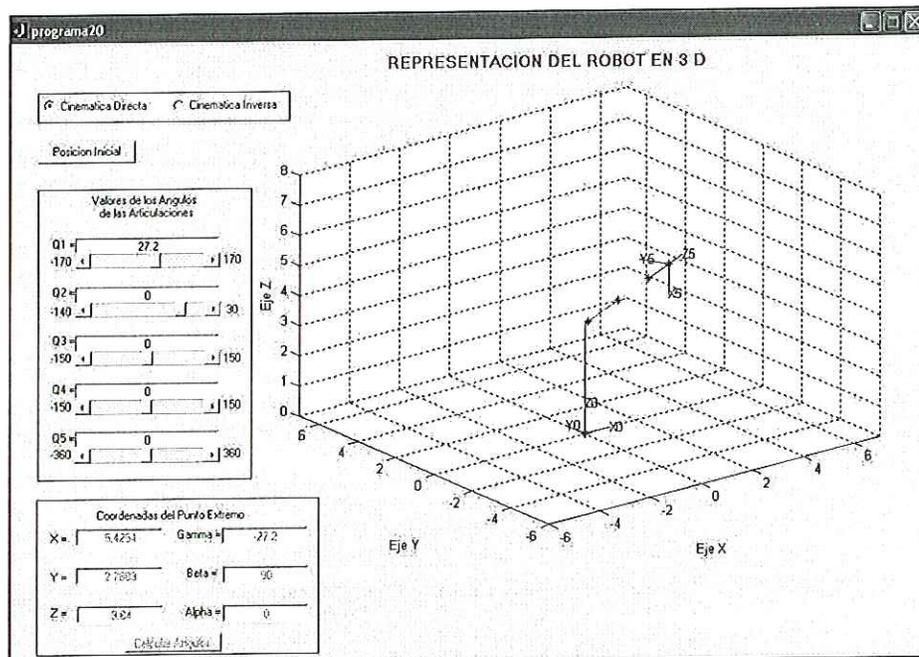
Los valores de los ángulos son retornados en grados.

programa20

Este programa puede evaluar la cinemática directa e inversa del manipulador, al tiempo que permite visualizar los cambios que suceden cuando se varían cada uno de los ángulos. Mientras la opción es cinemática directa, el programa permite visualizar la posición y orientación del extremo del robot con respecto al origen; al tiempo que nos entrega estos valores en las casillas correspondientes de coordenadas de punto extremo. En la opción cinemática inversa se digitan los parámetros de posición y orientación del extremo en cada uno de los respectivos cuadros de texto; luego se debe hacer clic en el botón *calcular* y el programa retorna los valores de cada uno de los ángulos que el robot debe moverse para estar en la posición y orientación dada, también cambia a dicha posición el gráfico de visualización para poder apreciar los cambios realizados.

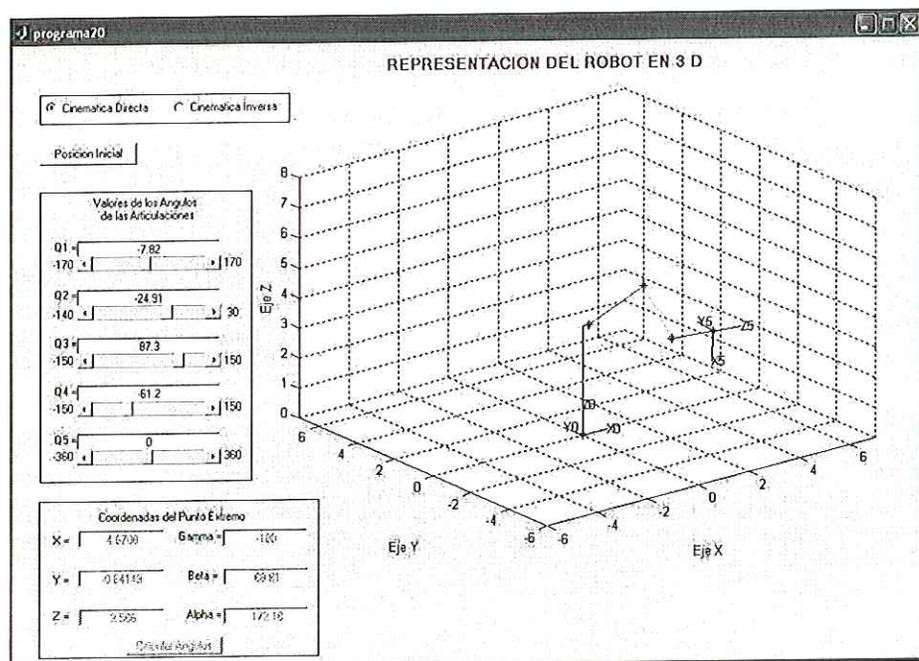
Sintaxis: **programa20**

Figura 54. Vista de programa20 desarrollando la cinemática directa



Del Autor

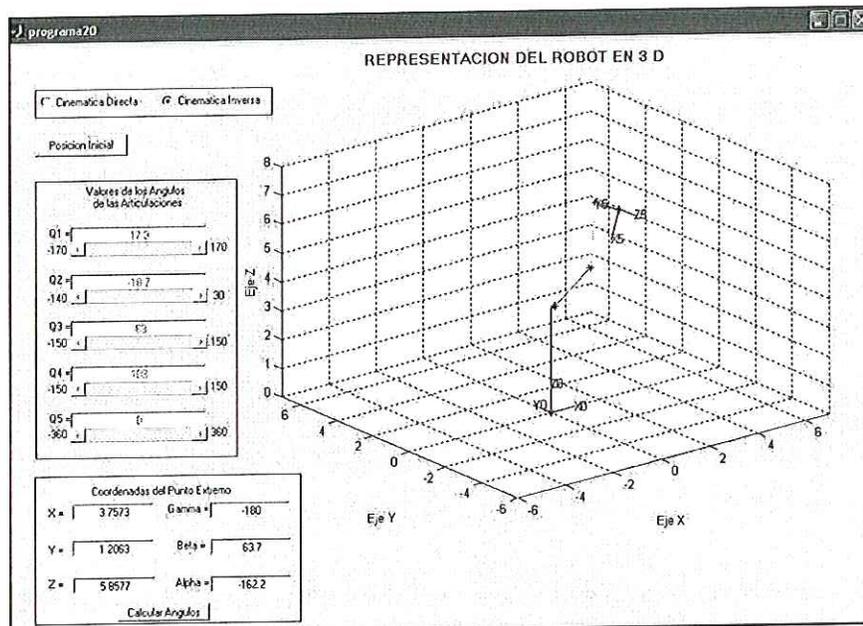
Figura 55. Vista de Programa20 variando los ángulos



Del Autor

Este programa hace el llamado a la mayoría de las subrutinas nombradas anteriormente.

Figura 56. Vista de programa20 en modo de cinemática inversa



Del Autor

propagvel5dof

Resuelve la propagación de velocidades para el manipulador de 5 grados de libertad.

Sintaxis: `propagvel5dof`

puntoextremodif

Esta rutina, entrega las coordenadas x, y, z del punto extremo y los ángulos gamma, beta y alpha de su orientación. Es necesario entregarle como parámetros los ángulos 1, 2, 3, 4 y 5 que se ha movido cada una de las articulaciones. Esta función contiene integradas las longitudes de cada uno de los eslabones. Se resuelve de manera sencilla, encontrando la matriz de transformación final con el uso del D-H y la función `fkine`, para encontrar las coordenadas del punto extremo, y para la orientación utiliza la función `tr2rpy`, la cual extrae de la transformación homogénea los correspondientes ángulos RPY, que serian los mismos Euler, Z, Y, X.

Sintaxis: [xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha] = puntoextremomodif (angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5)

Los ángulos deben estar en grados.

puma560pyj

Resuelve de manera simbólica la propagación de velocidades y el Jacobiano para el puma 560, este es tan solo un ejemplo.

Sintaxis: **puma560pyj**

velocidadesxyz

Entrega las velocidades x, y y z a partir de la matriz jacobiana obtenida con la función **jacobsim3dof**, y los valores de las velocidades angulares de cada una de las articulaciones.

Sintaxis: [velx, vely, velz] = velocidadesxyz (jacob, q1punto, q2punto, q3punto)

7.6 MODELO DE CONTROL DE POSICIÓN DE UN MOTOR DC

A continuación se va a analizar la estabilidad del modelo de control de posición de un motor de corriente directa; se van a estudiar los diferentes tipos de controladores con el fin de seleccionar el que mejor se adapta al modelo. Se utiliza Matlab para el desarrollo del modelo y a cada prueba se le aplica la función paso para mirar como se comporta el sistema y cual es su respuesta.

A continuación se presenta el modelo matemático y las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del motor de corriente directa controlado por inducido.

Ecuaciones del sistema:

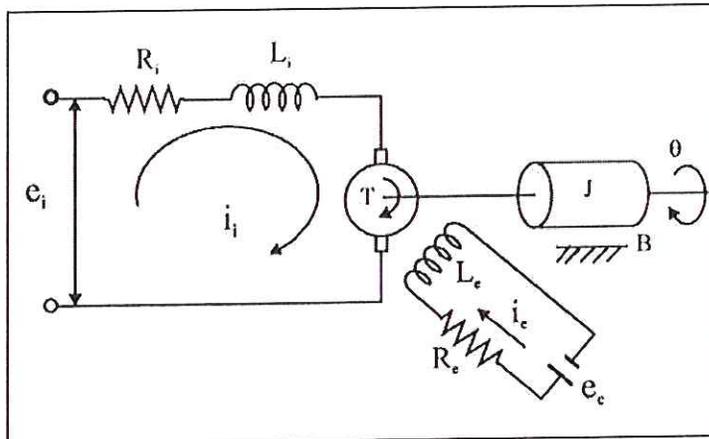
$$e_b = k_b \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (7.78)$$

$$\tau = K_p \cdot i \quad (7.79)$$

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} = \tau - \tau_p \quad (7.80)$$

$$L_a \cdot \frac{di}{dt} + Ri + e_b = e_a \quad (7.81)$$

Figura 57. Modelo de Control de Posición de un Motor DC



Fundamentos de Robótica. Barrientos Antonio [5].

Aplicando Laplace a las ecuaciones dinámicas se obtiene:

$$(Js + B) \cdot \theta(s) = Kp \cdot I(s) \quad (7.82)$$

$$(L_a s + R_i) \cdot I(s) = E_a - k_b \cdot \theta(s) \quad (7.83)$$

Función de Transferencia del Motor

$$\frac{\theta}{V} = \frac{K}{(Js + b) \cdot (Ls + R) + K^2} \quad (7.84)$$

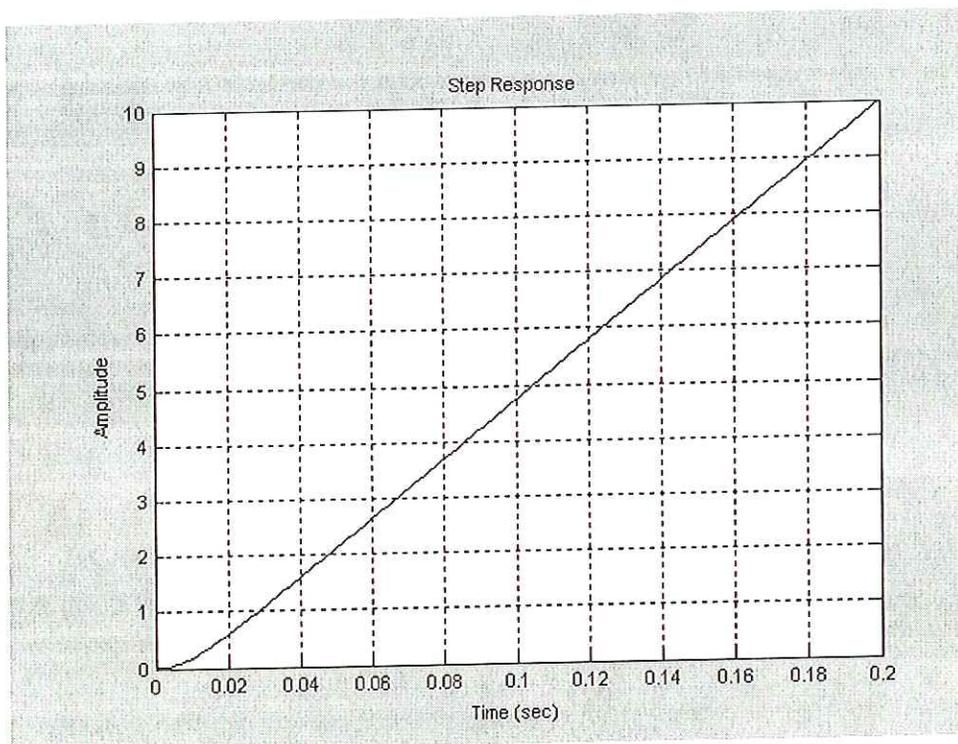
El parámetro que se desea estudiar es la posición; luego integrando la función anterior obtengo la posición en función del voltaje; esto se hace dividiendo la función de transferencia en s.

$$\frac{\theta}{V} = \frac{K}{s \cdot ((Js + b) \cdot (Ls + R) + K^2)} \quad (7.85)$$

Parámetros físicos del motor:

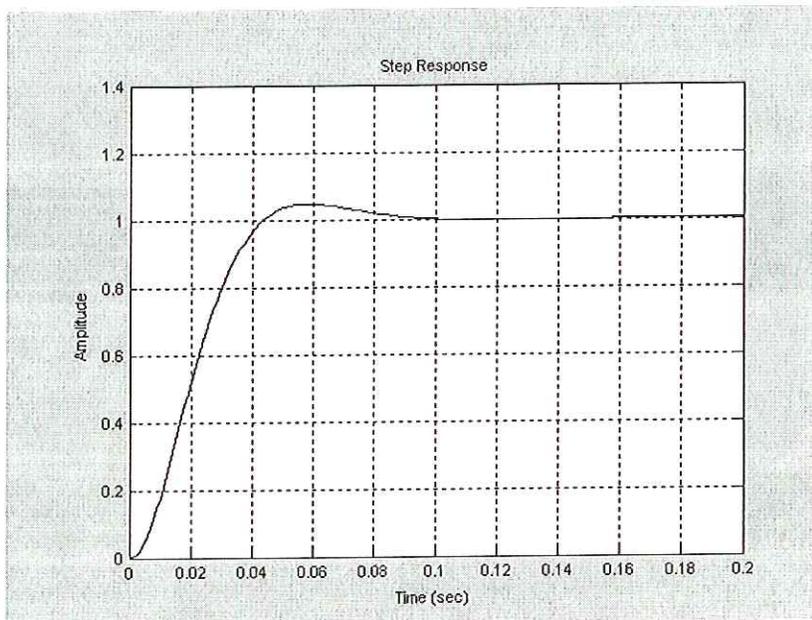
Inercia del rotor (J)= 3.25E-6 Kg-m²
 Rozamiento viscoso (B)= 2.25E-6 Nm/rad/s
 Constante del Torque (K)=18.9E-3 Nm/A
 Resistencia (R)= 1.08 Ω
 Inductancia (L)= 0.84E-3 H

Figura 58. Respuesta al paso del motor en lazo abierto



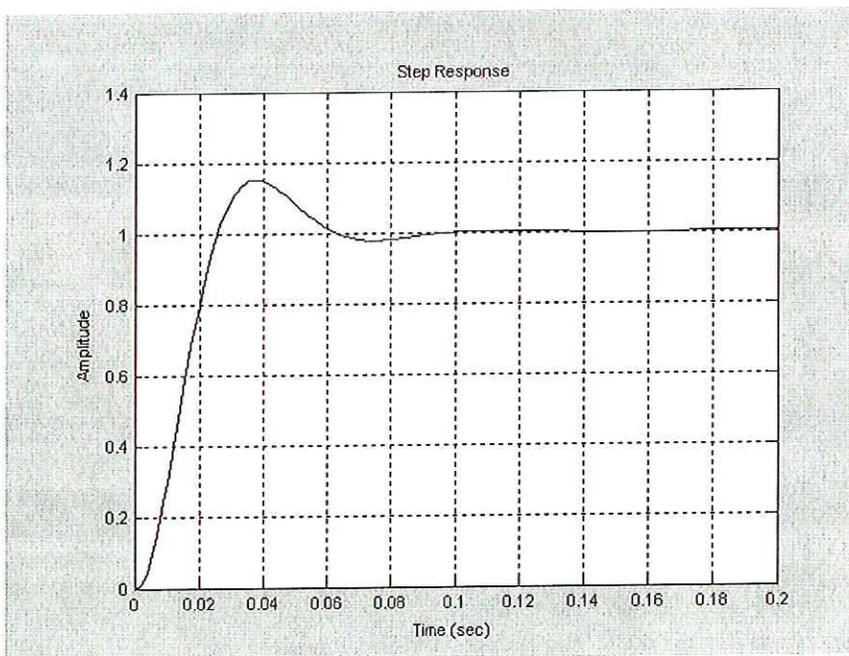
Del autor

Figura 59. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado



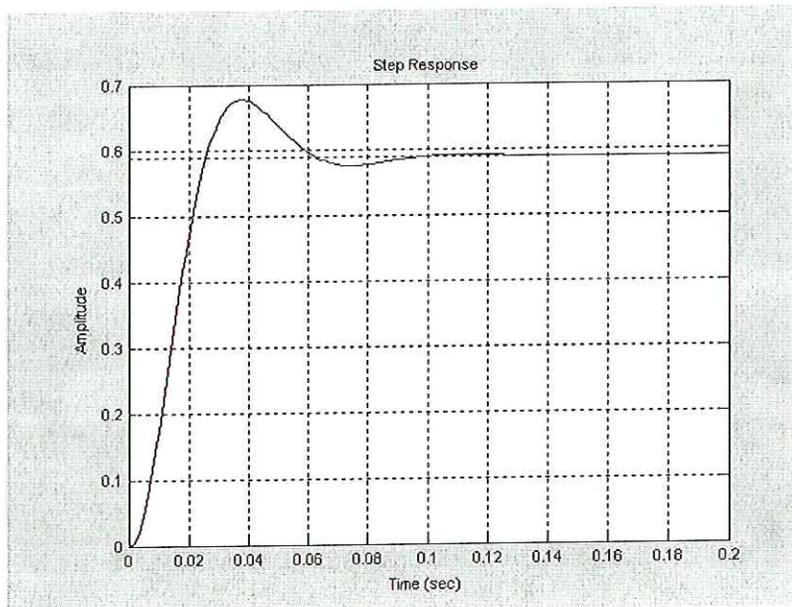
Del Autor

Figura 60. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional)
 $K_p = 1.7$



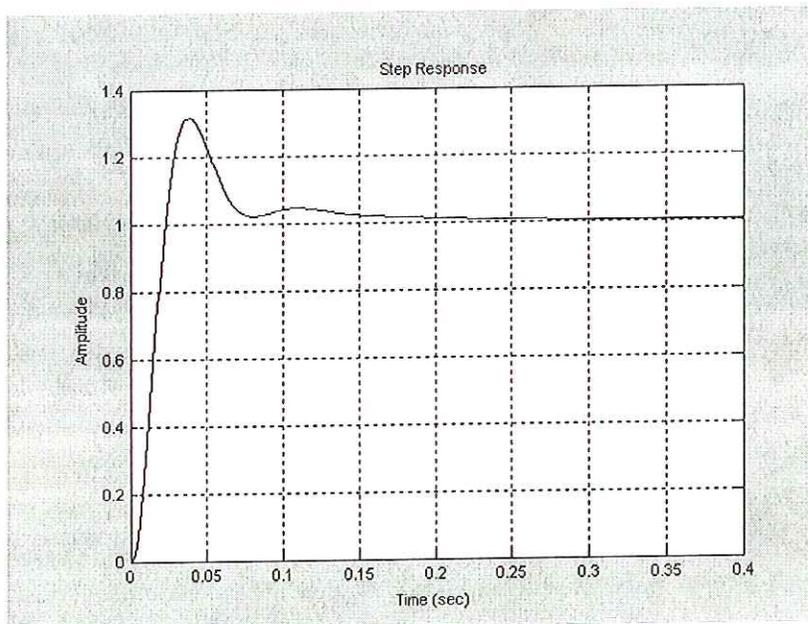
Del Autor

Figura 61. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional) $K_p = 1.7$ ante un disturbio



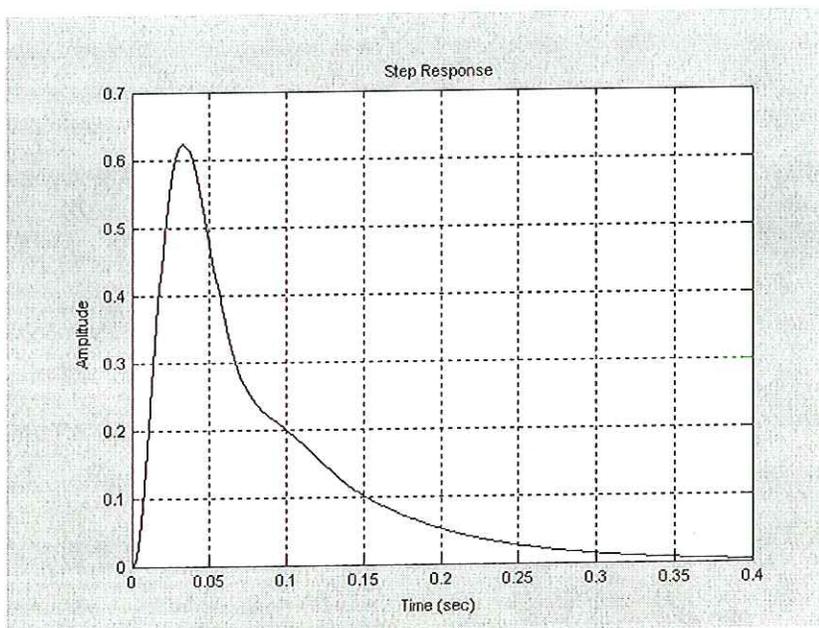
Del Autor

Figura 62. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 1.7$, $K_i = 20$



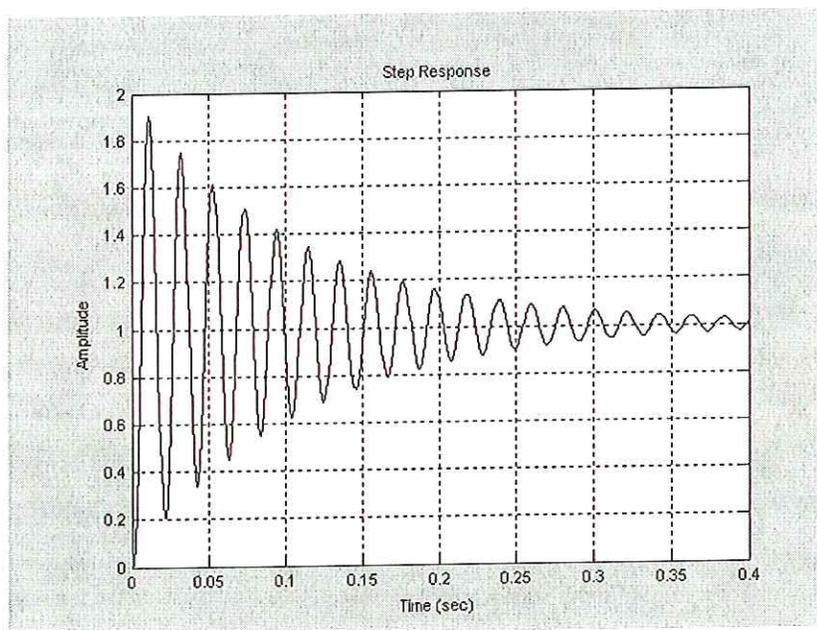
Del Autor

Figura 63. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 1.7$, $K_i = 20$ ante un disturbio



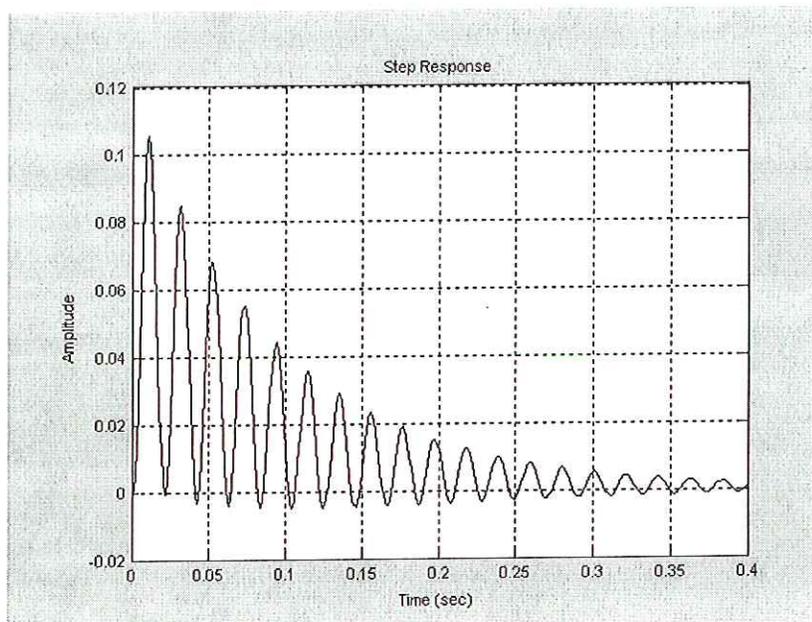
Del Autor

Figura 64. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$



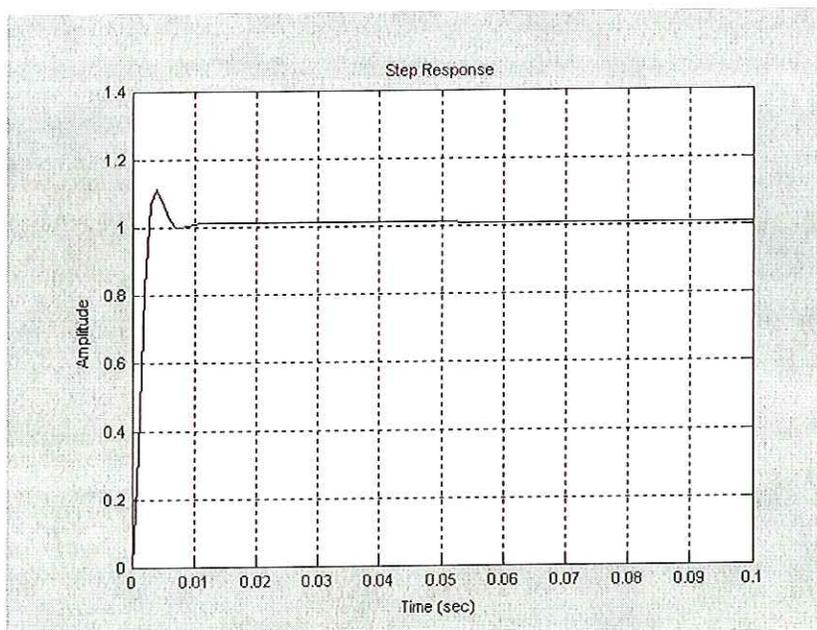
Del Autor

Figura 65. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$ ante un disturbio



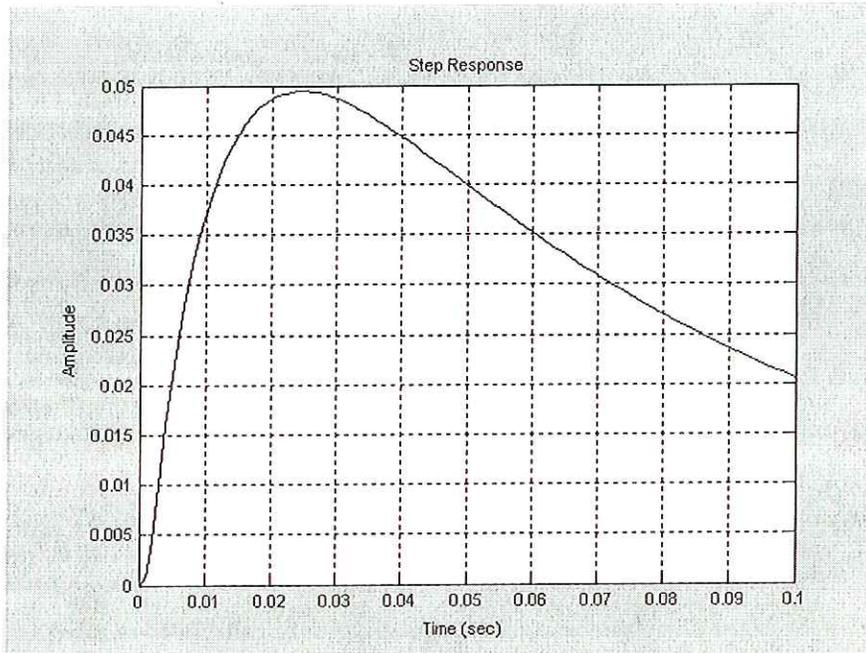
Del Autor

Figura 66. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional - Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$, $K_d = 0.15$



Del Autor

Figura 67. Respuesta al paso del motor en lazo cerrado (Control Proporcional – Integral) $K_p = 17$, $K_i = 200$, $K_d = 0.15$ ante un disturbio



Del Autor

El Tipo de Controlador a seleccionar según el análisis hecho en Matlab es el PID con los valores para cada una de sus constantes $k_p = 1.7$, $k_i = 600$, $k_d = 0.15$.

CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

El desarrollo de una investigación implica adquirir nuevo conocimiento y con éste experiencia; cuando de alguna aplicación se trata. Este conocimiento debe aprovecharse, y una buena manera es utilizándolo en la solución de problemas para promover el desarrollo cultural, social, científico y tecnológico.

La investigación capacita al investigador para descubrir y aplicar soluciones a través de la teoría y la experimentación. En el desarrollo de este proyecto se siguió un procedimiento de cómo investigar; una metodología de investigación y de diseño mecatrónico, la cual se creyó adecuada y adaptó para ser utilizada; arrojando resultados satisfactorios que conllevaron a cumplir con los objetivos planteados.

Basados en una metodología Mecatrónica desarrollada por el Dr. José Emilio Vargas, se realizó una adaptación que se ajustará al proyecto con el fin de seguir los lineamientos iniciales de desarrollo del manipulador.

Hechos los estudios de la aplicación que se le iba dar al manipulador, se determinó que la configuración industrial antropomórfica con cinco grados de libertad era la más adecuada, pues esta cumplía con las exigencias del enfoque de aplicación que se le dio inicialmente al manipulador (Proceso de ensamble y manipulación de objetos).

Seguidamente se desarrolló el modelo Cinemático del manipulador utilizando herramientas y librerías de Matlab; en éste modelo se agregaron las ecuaciones geométricas que describen el movimiento del manipulador, las características de los eslabones y de las articulaciones. Este modelo fue de gran ayuda en el análisis cinemático directo e inverso del manipulador, porque permite la visualización de la posición y orientación del manipulador para conocer su espacio de trabajo.

Además realizó el modelo de la estructura del robot utilizando un software CAD; de esta manera se estudio el correcto funcionamiento de la estructura del robot con diferentes simulaciones hechas de su movimiento; permitió conocer posibles puntos de interferencia entre eslabones y fue determinante para encontrar el espacio de trabajo del manipulador.

Se utilizaron actuadores eléctricos, más específicamente motores de corriente continua controlados por inducido por la disminución en la complejidad para realizarles el control de posición.

Se comprobó el correcto funcionamiento de los actuadores elegidos; sus características permitieron activar cada uno de los grados de libertad del manipulador sin tener complicaciones de bajas potencias.

Inicialmente se presentaron algunos inconvenientes de construcción; pues se realizó selección del material en el que se iban a fabricar las piezas sin haber seguido una metodología y sin haber realizado los estudios pertinentes, pensado que de esta manera se podía avanzar más rápidamente en la construcción. Pero no se mostraron características muy alentadoras al momento de selección de los actuadores debido a tamaño y alto costo, pues el peso y características de las piezas implicaban actuadores de gran potencia.

Se comprobó que la metodología utilizada se ajusta satisfactoriamente al diseño del prototipo mecatrónico.

Como recomendación acerca del efector final (Gripper) se puede notar que el mecanismo de sujeción tiene masa elevada, esto se debe a la masa del motor que se ubica en la dicho efector y al peso de los materiales que lo componen; optar por cambiar éste motor y los materiales de las piezas que componen el gripper ayudados de los cálculos apropiados, produciría que el manipulador maneje piezas de mayor masa.

Se confirmó que para esta región existe la necesidad de tener un mercado mas amplio de partes mecatrónicas (actuadores, sensores, controles, dispositivos electrónicos, piezas mecánicas y mecanismos) y de empresas que se dediquen a la consecución, o elaboración de piezas en diferentes materiales y que no tengan un costo muy elevado. Si todos los componentes necesarios estuviesen mas cerca se reduciría el tiempo de construcción del prototipo. Se deben tener muy en cuenta las etapas de rediseño y ajuste.

GLOSARIO

AGV – (Automatic Guided Vehicle) Vehículos Automáticos Guiados.

AS/RS – (Automatic Storage/Retrieval System) Sistema de almacenamiento y reposición automática.

CNC – (Computerized Numerical Control) Control numérico computarizado.

Gripper – o efector final. Es un dispositivo que se une a la muñeca del brazo del robot con la finalidad de activarlo para la realización de una tarea específica.

PUMA – (Programmable Universal Machine for Assembly).

SCARA – (Selective Compliance Assembly Robot Arm).

Fuerza de Lorentz – Fuerza que resulta del desplazamiento de cargas en movimiento dentro de un campo magnético.

Colimar – Obtener un haz de rayos paralelos a partir de un foco luminoso.
Microsoft® Encarta® 2004.

Efecto Hall – Efecto Hall es la medición del voltaje transversal en un conductor cuando es puesto en un campo magnético. Mediante esta medición es posible determinar el tipo, concentración y movilidad de portadores en silicio.
<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/EfectoHall.htm>

La **constante proporcional** en un controlador PID tiene la función de reducir el tiempo de rizado y reducir mas no eliminar el error en estado estable.

La **constante integral** en un controlador PID tiene la función de eliminar el error en estado estable pero puede hacer que la respuesta del transiente sea mala.

La **constante derivativa** tiene el efecto de incrementar la estabilidad del sistema, reduce los transientes del sistema.

BIBLIOGRAFIA

[1] World Robotics. United Nations and International Federation of Robotics (IFR). New York and Geneva.

[2] <http://www.metalunivers.com/tecnica/hemeroteca/articulos/1394.htm>

[3] http://www.unece.org/press/pr2003/03stat_p01e.pdf

[4] <http://www.terra.es/personal/jdellund/tutorial/espanol/transmision.htm>

[5] BARRIENTOS, Antonio et all. Fundamentos de robótica. Universidad Politécnica de Madrid. McGraw Hill. 1997, Madrid 1997 .336 p. 84-481-0815-9.

[6] Ollero Baturone, Anibal. Robótica: manipuladores y robots móviles. Barcelona. Marcombo. 2001. xx, 447 p.: il. 84-267-1313-0.

[7] Calero Pérez, Roque. Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros. Madrid. McGraw Hill. 1999. 615 p. 84-481-2099-X.

[8] Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. México. Pearson Education. 1998. 998 p. 970-17-0048-1

MOTT, Robert L. Resistencia de Materiales Aplicada. 3 ed. México. Prentice Hall. 1996. 640 p. 968-880-801-6.

Lewis, Paul H. Sistemas de control en ingeniería. Madrid. Prentice Hall. 1999. 464 p. 84-8322-124-1.

Franklin, Gene F. Feedback control of dynamic systems. 4 ed. Upper Saddle River. Prentice Hall. Prentice Hall. 910 p. 0-13-032393-4.

Maloney, Timothy J. Electrónica industrial moderna. 2 ed. México. Prentice Hall. 1997. p.irreg. il. 968-880-847-4

Chapman, Stephen J. Máquinas eléctricas. 3 ed. Santa Fe de Bogotá. McGraw Hill. 2000. xiv, 768 p.: il. 958-41-0056-4.

Floyd, Thomas L. Fundamentos de sistemas digitales. 7 ed. Madrid. Pearson Educación. Pearson Educación. xxi, 1128 p.: il. 84-205-2994-X.

Tocci, Ronald J. Sistemas digitales: principios y aplicaciones. 8 ed. México. Pearson Educación. 2003. xxvi, 884 p.: il. 970-26-0297-1.

Casillas, A. L. Máquinas: cálculos de taller. 36 ed. Madrid. Ediciones Máquinas. 2001. 645 p.: il. 84-400-7216-3.

Etter, Delores M. Solución de problemas de ingeniería con MATLAB. México. Prentice Hall. 1998. xx, 329 p.: il. 970-17-0111-9.

The Math Works Inc. The student edition of Matlab version 5: user's guide. Upper Saddle River. Prentice Hall. 1997. xxxix, 429 p. 0-13-272550-9.

Smith, William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Madrid. McGraw-Hill. 1998. 715 p. 84-481-1429-9

Motorola Semiconductors H.K. Ltd. M68HC08 Microcontrollers Technical Data. Silicon Harbour Centre. Motorola, Inc. 2002. 406 p

Motorola Semiconductors H.K. Ltd. M68HC08 Microcontrollers Reference Manual. Silicon Harbour Centre. Motorola, Inc. 2002. 406 p

ANEXOS

CONTENIDO DE ANE OS

A 1. MODULOS INCREMENTALES

A 2. DATASHEET DE MOTORES PITTMAN

A 3. DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS PARA EL DESARROLLO DEL
MANIPULADOR AUTOMATICO.

A 4. CODIGO FUENTE DE LOS PROGRAMAS Y FUNCIONES
DESARROLLADOS

A 5. ESPECIFICACIONES DEL MICROCONTROLADOR MOTOROLA
MC68HC908GP32.

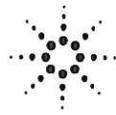
A 6. CORREAS DENTADAS

A 7. PROGRAMAS DE LOS MICROCONTROLADORES

A 8. PLANOS

A 9. CIRCUITOS

A . MÓDULOS ENCODERS INCREMENTALES



Two Channel Optical Incremental Encoder Modules

Technical Data

HEDS-9000 HEDS-9100

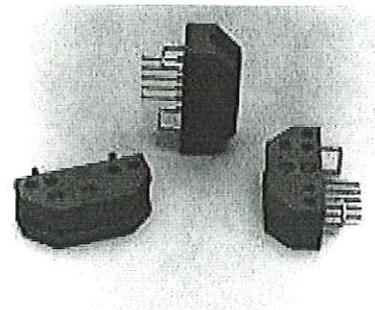
Features

- High Performance
- High Resolution
- Low Cost
- Easy to Mount
- No Signal Adjustment Required
- Small Size
- -40°C to 100 °C Operating Temperature
- Two Channel Quadrature Output
- TTL Compatible
- Single 5 V Supply

Description

The HEDS-9000 and the HEDS-9100 series are high performance, low cost, optical incremental encoder modules. When used with a codewheel, these modules detect rotary position. The modules consist of a lensed (LED) source and a detector IC enclosed in a small C-shaped plastic package. Due to a highly collimated light source and unique photodetector array, these modules are extremely tolerant to mounting misalignment.

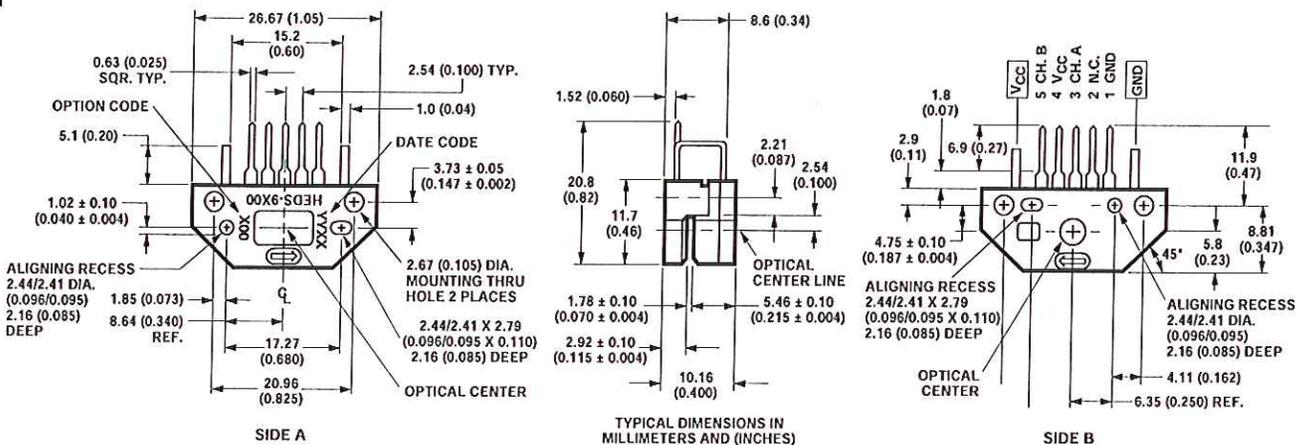
The two channel digital outputs and the single 5 V supply input are accessed through five 0.025



inch square pins located on 0.1 inch centers.

Standard resolutions for the HEDS-9000 are 500 CPR and 1000 CPR for use with a HEDS-6100 codewheel or equivalent.

Package Dimensions



ESD WARNING: NORMAL HANDLING PRECAUTIONS SHOULD BE TAKEN TO AVOID STATIC DISCHARGE.

For the HEDS-9100, standard resolutions between 96 CPR and 512 CPR are available for use with a HEDS-5120 codewheel or equivalent.

Applications

The HEDS-9000 and 9100 provide sophisticated motion detection at a low cost, making them ideal for high volume applications. Typical applications include printers, plotters, tape drives, and factory automation equipment.

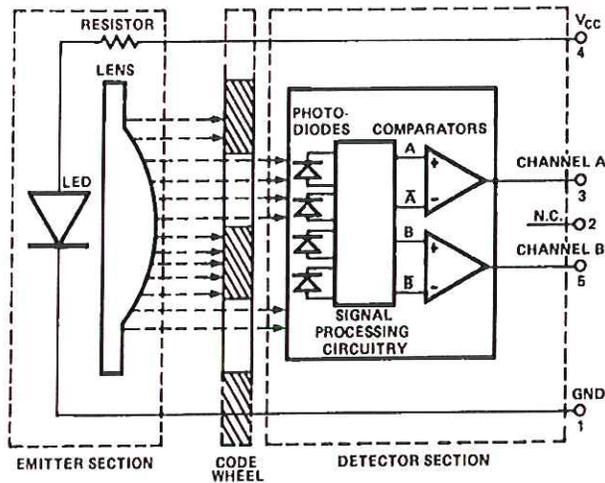
Theory of Operation

The HEDS-9000 and 9100 are C-shaped emitter/detector modules. Coupled with a codewheel, they translate the rotary motion of a shaft into a two-channel digital output.

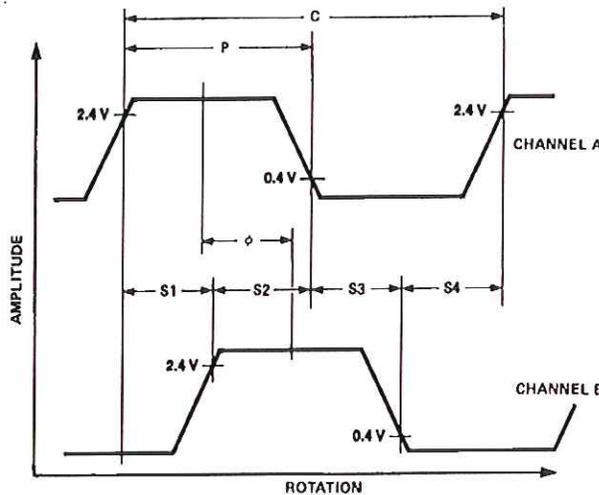
As seen in the block diagram, each module contains a single Light Emitting Diode (LED) as its light source. The light is collimated into a parallel beam by means of a single polycarbonate lens located directly over the LED. Opposite the emitter is the integrated detector circuit. This IC consists of multiple sets of photodetectors and the signal processing circuitry necessary to produce the digital waveforms.

The codewheel rotates between the emitter and detector, causing the light beam to be interrupted by the pattern of spaces and bars on the codewheel. The photodiodes which detect these interruptions are arranged in a pattern that corresponds to the radius and design of the codewheel. These detectors are also spaced such that a light period on one pair of detectors corresponds to a dark period on the adjacent pair of detectors. The photodiode

Block Diagram



Output Waveforms



outputs are then fed through the signal processing circuitry resulting in A, \bar{A} , B, and \bar{B} . Two comparators receive these signals and produce the final outputs for channels A and B. Due to this integrated phasing technique, the digital output of channel A is in quadrature with that of channel B (90 degrees out of phase).

Definitions

Count (N): The number of bar and window pairs or counts per revolution (CPR) of the codewheel.

$$1 \text{ Shaft Rotation} = 360 \text{ mechanical degrees,} \\ = N \text{ cycles.}$$

$$1 \text{ cycle (C)} = 360 \text{ electrical degrees (}^\circ\text{e),} \\ = 1 \text{ bar and window pair.}$$

Pulse Width (P): The number of electrical degrees that an output is high during 1 cycle. This value is nominally 180°e or 1/2 cycle.

Pulse Width Error (ΔP): The deviation, in electrical degrees of the pulse width from its ideal value of 180°e.

State Width (S): The number of electrical degrees between a transition in the output of channel A and the neighboring transition in the output of channel B. There are 4 states per cycle, each nominally 90°e.

State Width Error (ΔS): The deviation, in electrical degrees, of each state width from its ideal value of 90°e.

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature, T_S	-40°C to 100°C
Operating Temperature, T_A	-40°C to 100°C
Supply Voltage, V_{CC}	-0.5 V to 7 V
Output Voltage, V_O	-0.5 V to V_{CC}
Output Current per Channel, I_{out}	-1.0 mA to 5 mA

Phase (ϕ): The number of electrical degrees between the center of the high state of channel A and the center of the high state of channel B. This value is nominally 90°e for quadrature output.

Phase Error ($\Delta\phi$): The deviation of the phase from its ideal value of 90°e.

Direction of Rotation: When the codewheel rotates in the direction of the arrow on top of the

module, channel A will lead channel B. If the codewheel rotates in the opposite direction, channel B will lead channel A.

Optical Radius (R_{op}): The distance from the codewheel's center of rotation to the optical center (O.C.) of the encoder module.

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Temperature	T	-40		100	°C	
Supply Voltage	V_{CC}	4.5		5.5	Volts	Ripple < 100 mV _{p-p}
Load Capacitance	C_L			100	pF	3.3 kW pull-up resistor
Count Frequency	f			100	kHz	$\frac{\text{Velocity (rpm)} \times N}{60}$

Note: The module performance is guaranteed to 100 kHz but can operate at higher frequencies.

Encoding Characteristics

Encoding Characteristics over Recommended Operating Range and Recommended Mounting Tolerances. These Characteristics do not include codewheel/codestrip contribution.

Description	Sym.	Typ.	Case 1 Max.	Case 2 Max.	Units	Notes
Pulse Width Error	ΔP	30	40		°e	
Logic State Width Error	ΔS	30	40		°e	
Phase Error	$\Delta\phi$	2	10	105	°e	

Case 1: Module mounted on tolerance circle of ± 0.13 mm (± 0.005 in.).

Case 2: HEDS-9000 mounted on tolerances of ± 0.50 mm (0.020").

HEDS-9100 mounted on tolerances of ± 0.38 mm (0.015").

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics over Recommended Operating Range, typical at 25°C.

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Units	Notes
Supply Current	I_{CC}		17	40	mA	
High Level Output Voltage	V_{OH}	2.4			Volts	$I_{OH} = -40 \mu A$ max.
Low Level Output Voltage	V_{OL}			0.4	Volts	$I_{OL} = 3.2$ mA
Rise Time	t_r		200		ns	$C_L = 25$ pF $R_L = 11$ k Ω pull-up
Fall Time	t_f		50		ns	

Recommended Codewheel Characteristics

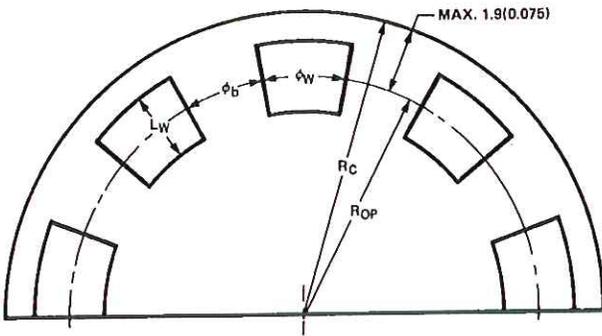


Figure 1. Codestrip Design

Codewheel Options

HEDS Series	CPR (N)	Option	Optical Radius mm (in.)
5120	96	K	11.00 (0.433)
5120	100	C	11.00 (0.433)
5120	192	D	11.00 (0.433)
5120	200	E	11.00 (0.433)
5120	256	F	11.00 (0.433)
5120	360	G	11.00 (0.433)
5120	400	H	11.00 (0.433)
5120	500	A	11.00 (0.433)
5120	512	I	11.00 (0.433)
6100	500	A	23.36 (0.920)
6100	1000	B	23.36 (0.920)

Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Units	Notes
Window/Bar Ratio	ϕ_w/ϕ_b	0.7	1.4		
Window Length	L_w	1.8 (0.071)	2.3 (0.09)	mm (inch)	
Absolute Maximum Codewheel Radius	R_c		$R_{OP} + 1.9$ (0.0075)	mm (inch)	Includes eccentricity errors

Mounting Considerations

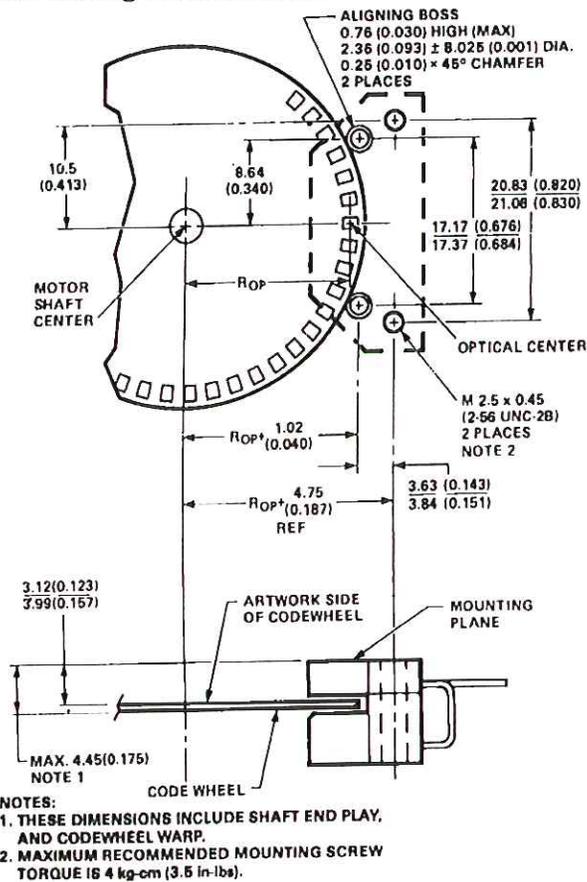


Figure 2. Mounting Plane Side A.

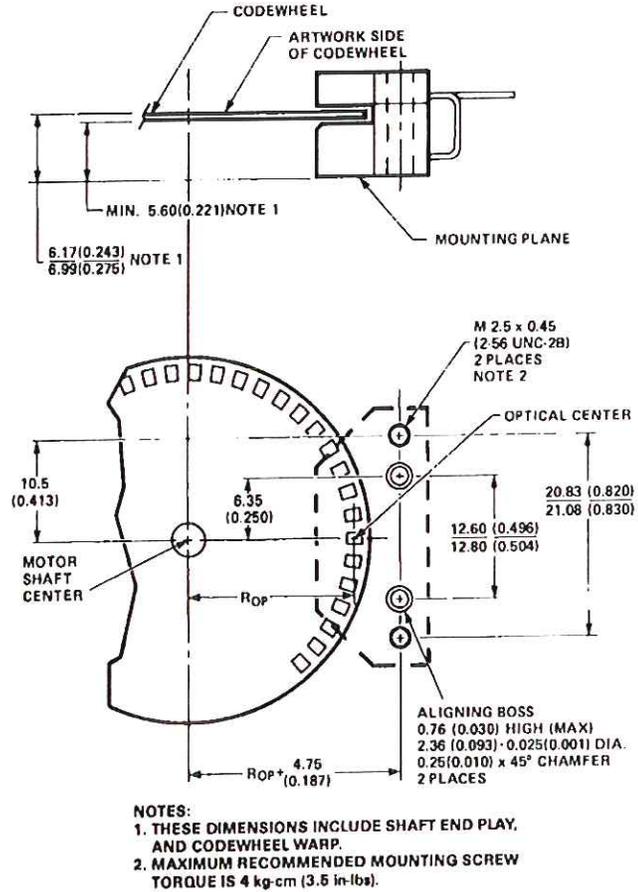


Figure 3. Mounting Plane Side B.

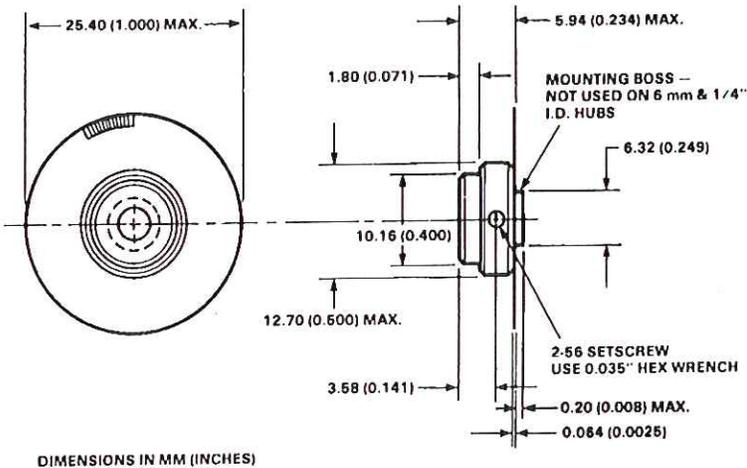


Figure 4. Mounting as Referenced to Side A.

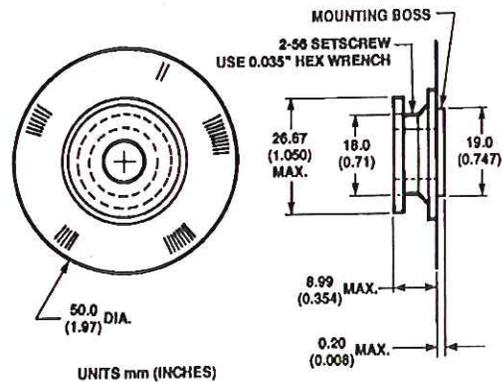


Figure 5. Mounting as Referenced to Side B.



Connectors

Manufacturer	Part Number	Mounting Surface
AMP	1203686-4 640442-5	Both Side B
DuPont	65039-032 with 4825X-000 term.	Both
Agilent	HEDS-8902 with 4-wire leads	Side B (see Fig. 6)
Molex	2695 series with 2759 series term.	Side B

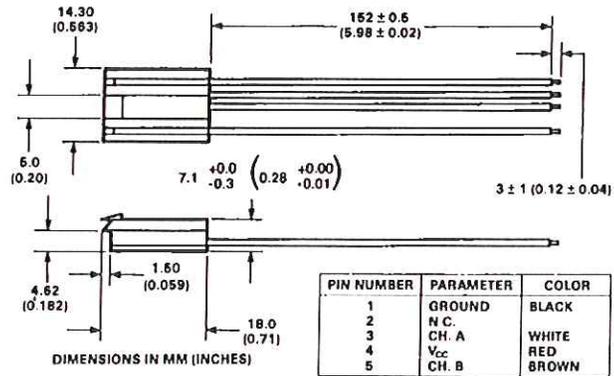


Figure 6. HEDS-8902 Connector.

Ordering Information

HEDS-9000 Option

Resolution (Cycles/Rev)
A - 500 CPR
B - 1000 CPR
T = 2000 CPR*
U = 2048 CPR*

HEDS-6100 Option

Shaft Diameter	
05 - 3/16 in.	10 - 5/8 in.
06 - 1/4 in.	11 - 4 mm
07 - 5/16 in.	12 - 6 mm
08 - 3/8 in.	13 - 8 mm
09 - 1/2 in.	

HEDS-9100 Option

Resolution (Cycles/Rev)	
S - 50 CPR	G - 360 CPR
K - 96 CPR	H - 400 CPR
C - 100 CPR	A - 500 CPR
D - 192 CPR	I - 512 CPR
E - 200 CPR	B - 1000 CPR*
F - 256 CPR	J - 1024 CPR*

HEDS-5120 Option

Shaft Diameter	
01 - 2 mm	11 - 4 mm
02 - 3 mm	14 - 5 mm
03 - 1/8 in.	12 - 6 mm
04 - 5/32 in.	13 - 8 mm
05 - 3/16 in.	
06 - 1/4 in.	

HEDS-91

Resolution (Cycles/Rev)
BA - 250 CPR
BB - 480 CPR
BC - 576 CPR

*Please refer to separate HEDS-9000/9100/9200 Extended Resolution series data sheet for detailed information and Codewheel selection.

A . DATASHEET DE MOTORES PITTMAN

BULLETIN LCG
Series GM8000,
GM9000, GM14900

LO-COG® DC Gearmotors



Pittman brand LO-COG® brush-commutated DC gearmotors offer smooth, quiet operation and long life. LO-COG gearmotors feature sintered steel spur gears and are available with several reduction ratios and torque ratings to provide an economical solution for a wide range of applications. Armatures are skewed to minimize magnetic cogging, even at low speeds, and windings are resin impregnated for greater reliability in incremental motion applications. An innovative cartridge brush assembly reduces audible and electrical noise and significantly improves brush life by maintaining optimum brush force throughout the life of the motor. For precision motor control, Hewlett-Packard® optical encoders are available in 2 or 3 channel versions with several CPR ranges to meet your position, velocity and direction feedback needs.

Construction

- 2 pole permanent magnet stators are constructed of ceramic magnets enclosed in heavy-gauge steel return rings
- Diamond turned commutators ensure maximum brush life
- Standard copper graphite brushes (Other brush materials available)
- Precision ground hardened stainless steel shafts
- Silicon-steel laminations
- Self-aligning, sintered bronze bearings

Options

- High-torque gears or high-torque wide-face gears
- Low noise, primary cluster gears
- Custom cables
- Multiple shaft configurations
- Shaft-mounted pulleys and gears
- Ball bearings
- Multiple windings
- Electromechanical brakes
- Integrated Hewlett-Packard® optical encoders
- Adaptors available for other encoders
- RFI suppression
- Dynamic armature balancing

Series GM8000

- 11 ratios from 6.3.1 to 1803.6.1
- Peak Torques to 100 oz-in standard
- 160 and 175 oz-in gearheads optional
- Available in 3 motor lengths
- Encoder resolutions from 96 to 1024

Series GM9000

- 12 ratios from 5.9.1 to 4732.5.1
- Peak Torques to 175 oz-in standard
- 300 and 500 oz-in gearheads optional
- Available in 6 motor lengths
- Encoder resolutions from 96 to 2048

Series GM14000

- 4 ratios from 5.9.1 to 218.4.1
- Peak Torques to 175 oz-in standard
- 300 and 500 oz-in gearheads optional
- Available in 7 motor lengths
- Encoder resolutions from 96 to 2048

PITTMAN
a PennEngineering® company
Power Your Ideas™



Get same day shipment of sample motors for models listed in the Pittman Express Catalog (Bulletin PE).

Every Pittman motor is subjected to automated performance testing prior to shipment.

SERIES GM8000

Gearmotor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	Reduction Ratios										
				6.3:1	9.9:1	19.5:1	30.9:1	60.5:1	95.9:1	187.7:1	297.5:1	581.8:1	922.3:1	1803.6:1
MECHANICAL SPECIFICATIONS														
1	Max. Load Standard Gears ¹	T _L	oz-in (N-m)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)	100 (0.71)
2	Max. Load Cut Steel Gears ¹	T _L	oz-in (N-m)	N/A (N/A)	160 (1.13)									
3	Max. Load Wide Face Gears ¹	T _L	oz-in (N-m)	N/A (N/A)	175 (1.24)									
4	Gearbox Shaft Rotation ²	—	—	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW
5	Gearbox Efficiency	—	%	81	73	73	66	66	59	59	53	53	48	48
6	Gearbox Weight (Mass)	W _G	oz (g)	2.35 (66.6)	2.49 (70.6)	2.49 (70.6)	2.62 (74.3)	2.62 (74.3)	2.76 (78.2)	2.76 (78.2)	3.11 (88.2)	3.11 (88.2)	3.25 (92.1)	3.25 (92.1)
7	Gearbox Length	L ₂	in max (mm max)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	0.968 (24.6)	1.164 (29.6)	1.164 (29.6)	1.164 (29.6)	1.164 (29.6)
8	Length, GM82X2	L ₃	in max (mm max)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	2.977 (75.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)	3.173 (80.6)
9	Length, GM82X3	L ₃	in max (mm max)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.102 (78.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)	3.298 (83.8)
10	Length, GM82X4	L ₃	in max (mm max)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.352 (85.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)	3.548 (90.1)
11	Length, GM87X2	L ₃	in max (mm max)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	2.91 (73.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)	3.106 (78.9)
12	Length, GM87X3	L ₃	in max (mm max)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.035 (77.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)	3.231 (82.1)
13	Length, GM87X4	L ₃	in max (mm max)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.285 (83.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)	3.481 (88.4)
NO-LOAD SPEED														
14	GM8X22	S _{NL}	rpm (rad/s)	1246 (130)	786 (82.3)	402 (42.1)	253 (26.5)	130 (13.6)	81.8 (8.57)	41.8 (4.38)	26.4 (2.76)	13.5 (1.41)	8.51 (.891)	4.35 (.456)
15	GM8X23	S _{NL}	rpm (rad/s)	1317 (138)	831 (87.0)	425 (44.5)	268 (28.1)	137 (14.3)	86.5 (9.06)	44.2 (4.63)	27.9 (2.92)	14.3 (1.50)	9.00 (.942)	4.60 (.482)
16	GM8X24	S _{NL}	rpm (rad/s)	1612 (169)	1017 (107)	520 (54.5)	328 (34.3)	168 (17.6)	106 (11.1)	54.1 (5.67)	34.1 (3.57)	17.5 (1.83)	11.0 (1.15)	5.63 (.590)

¹Represents gearbox capability only. Continuous load torque capability will vary with gear ratio, motor selection, and operating conditions.

²Shaft rotation is designated while looking at output shaft with motor operating in a clockwise direction. Gearmotor is polarity reversible.

Motor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	8X22	8X23	8X24
17	Continuous Torque (Max.) ³	T _C	oz-in (N-m)	1.6 (11.2 X 10 ⁻³)	2.0 (14.1 X 10 ⁻³)	2.6 (18.5 X 10 ⁻³)
18	Peak Torque (Stall)	T _{PK}	oz-in (N-m)	7.4 (52.0 X 10 ⁻³)	10.5 (74.2 X 10 ⁻³)	16.8 (118.6 X 10 ⁻³)
19	Motor Constant	K _M	oz-in/√W (N-m/√W)	1.12 (7.9 X 10 ⁻³)	1.30 (9.2 X 10 ⁻³)	1.49 (710.5 X 10 ⁻³)
20	No-Load Speed	S ₀	rpm (rad/s)	7847 (822)	8298 (869)	10158 (1064)
21	Friction Torque	T _F	oz-in (N-m)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)	0.35 (2.5 X 10 ⁻³)
22	Rotor Inertia	J _M	oz-in-s ² (kg-m ²)	1.4 X 10 ⁻⁴ (9.89 X 10 ⁻⁷)	1.7 X 10 ⁻⁴ (1.20 X 10 ⁻⁶)	2.3 X 10 ⁻⁴ (1.62 X 10 ⁻⁶)

³Continuous torque specified at 25°C ambient temperature and without additional heat sink.

©1999 Pittman, a PennEngineering company. LO-COG, ELCOM, ELCOM SL, and ELCOM ST are brand names and trademarks for motors manufactured exclusively by Pittman.

PITTMAN®

Motor Data, continued

Line No.	Parameter	Symbol	Units	8X22	8X23	8X24
26	Electrical Time Constant	τ_E	ms	0.52	0.55	0.54
27	Mechanical Time Constant	τ_M	ms	15.6	14.1	14.7
28	Viscous Damping— Infinite Source Impedance	D	oz-in/krpm (N-m/(rad/s))	0.0153 (1.03x10 ⁻⁶)	0.0176 (1.19x10 ⁻⁶)	0.0202 (1.36x10 ⁻⁶)
29	Viscous Damping— Zero Source Impedance	K_D	oz-in/krpm (N-m/(rad/s))	0.92 (6.20 X 10 ⁻⁵)	1.25 (8.43 X 10 ⁻⁵)	1.63 (1.10 X 10 ⁻⁴)
30	Maximum Winding Temperature	θ_{MAX}	°F (°C)	311 (155)	311 (155)	311 (155)
31	Thermal Impedance	R_{TH}	°F/watt °C/watt	75.9 (24.4)	72.9 (22.7)	70.5 (21.4)
32	Thermal Time Constant	τ_{TH}	min	7.75	9.00	10.70
33	Motor Weight (Mass)	W_M	oz (g)	4.69 (133.0)	5.05 (143.2)	5.81 (164.7)

Model GM8XX2 Winding Data (Other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X22			
34	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
35	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	1.94 (13.7 X 10 ⁻³)	3.07 (21.7 X 10 ⁻³)	3.88 (27.4 X 10 ⁻³)	4.88 (34.5 X 10 ⁻³)
36	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.43 (13.7 X 10 ⁻³)	2.27 (21.7 X 10 ⁻³)	2.87 (27.4 X 10 ⁻³)	3.61 (34.5 X 10 ⁻³)
37	Resistance	R_T	Ω	3.10	7.61	12.1	19.1
38	Inductance	L	mH	1.57	3.93	6.27	9.92
39	No-Load Current	I_{NL}	A	0.25	0.16	0.12	0.10
40	Peak Current (Stall) ⁴	I_p	A	3.88	2.51	1.99	1.59

Model GM8XX3 Winding Data (Other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X23			
41	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
42	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	1.88 (13.3 X 10 ⁻³)	2.94 (20.8 X 10 ⁻³)	3.73 (26.4 X 10 ⁻³)	4.71 (33.3 X 10 ⁻³)
43	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.39 (13.3 X 10 ⁻³)	2.18 (20.8 X 10 ⁻³)	2.76 (26.4 X 10 ⁻³)	3.48 (33.3 X 10 ⁻³)
44	Resistance	R_T	Ω	2.17	5.20	8.24	13.1
45	Inductance	L	mH	1.17	2.85	4.57	7.29
46	No-Load Current	I_{NL}	A	0.27	0.17	0.13	0.11
47	Peak Current (Stall) ⁴	I_p	A	5.54	3.67	2.91	2.32

Model GM8XX4 Winding Data (Other windings available upon request)

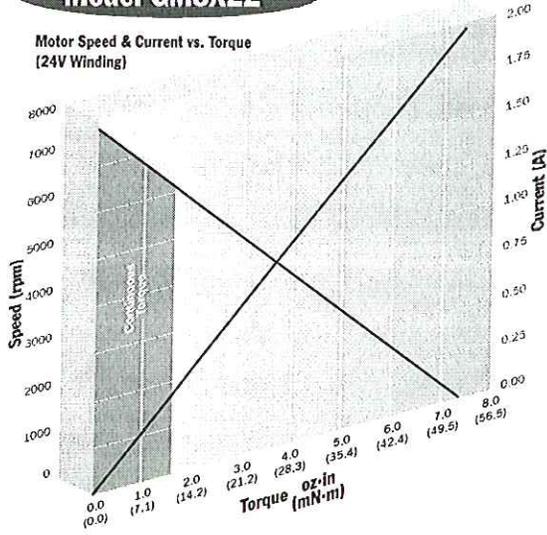
Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM8X24			
48	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
49	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	1.54 (10.9 X 10 ⁻³)	2.47 (17.5 X 10 ⁻³)	3.09 (21.9 X 10 ⁻³)	3.86 (27.3 X 10 ⁻³)
50	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.14 (10.9 X 10 ⁻³)	1.83 (17.5 X 10 ⁻³)	2.29 (21.9 X 10 ⁻³)	2.86 (27.3 X 10 ⁻³)
51	Resistance	R_T	Ω	1.17	2.79	4.33	6.75
52	Inductance	L	mH	0.58	1.50	2.34	3.65
53	No-Load Current	I_{NL}	A	0.36	0.23	0.18	0.15
54	Peak Current (Stall) ⁴	I_p	A	10.3	6.85	5.54	4.49

⁴Theoretical values supplied for reference only.

SERIES GM8000

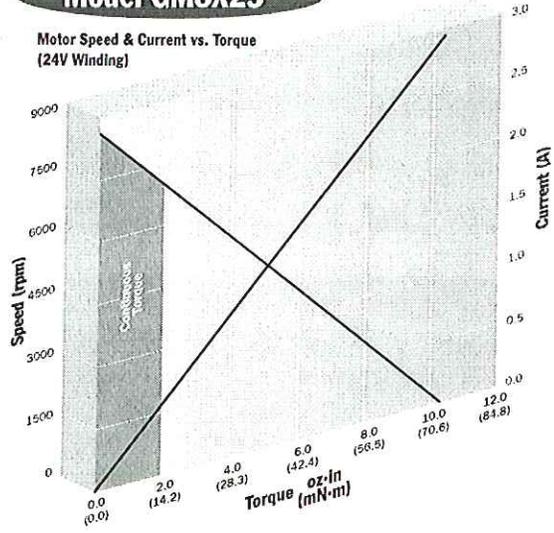
Model GM8X22

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



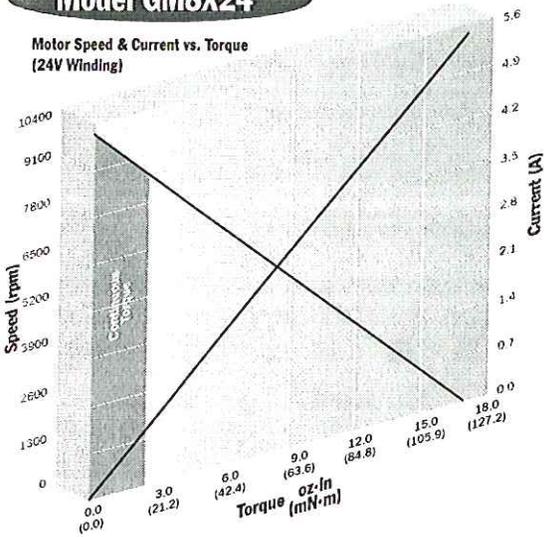
Model GM8X23

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



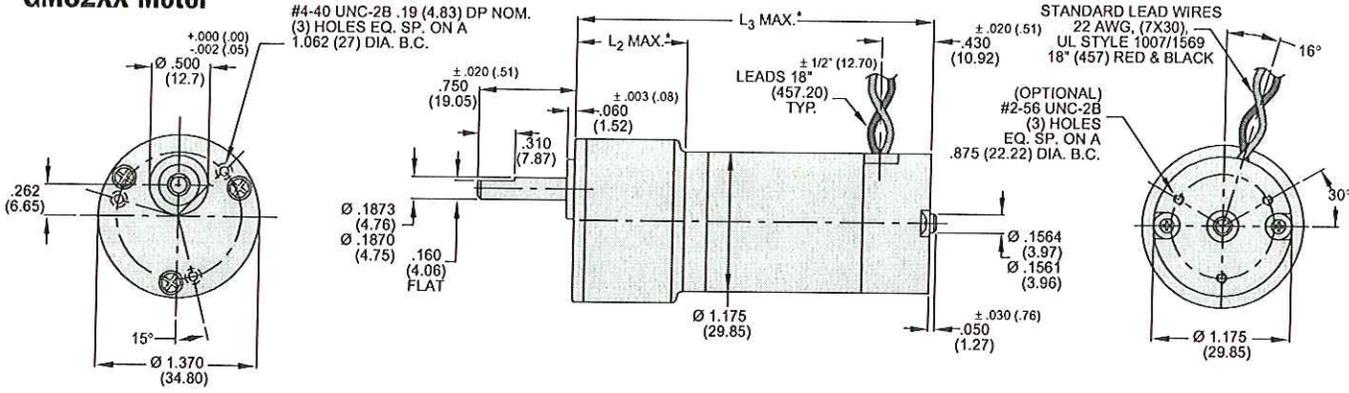
Model GM8X24

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)

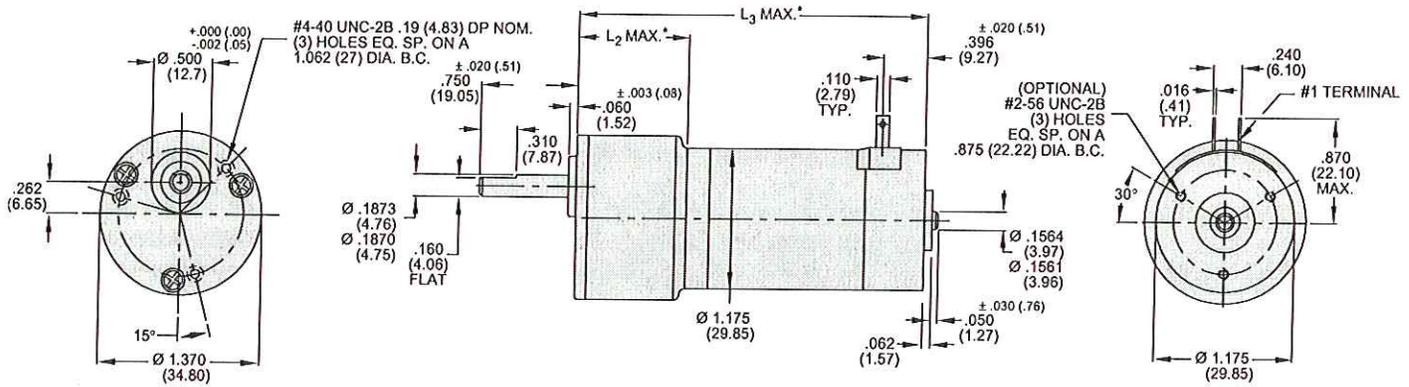


PITTMAN®

GM82XX Motor



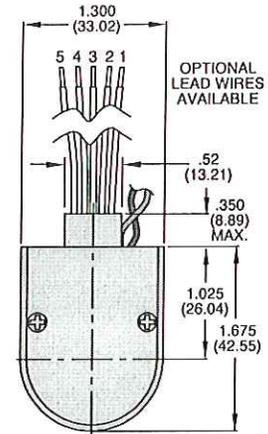
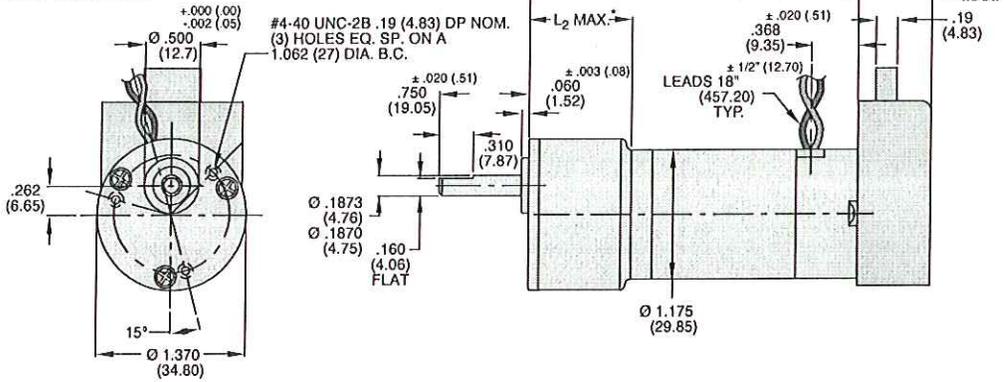
GM87XX Motor



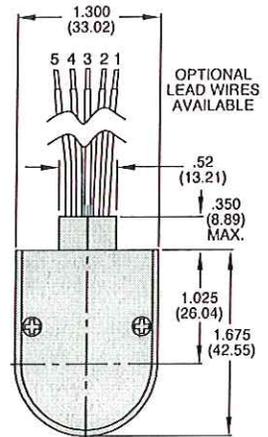
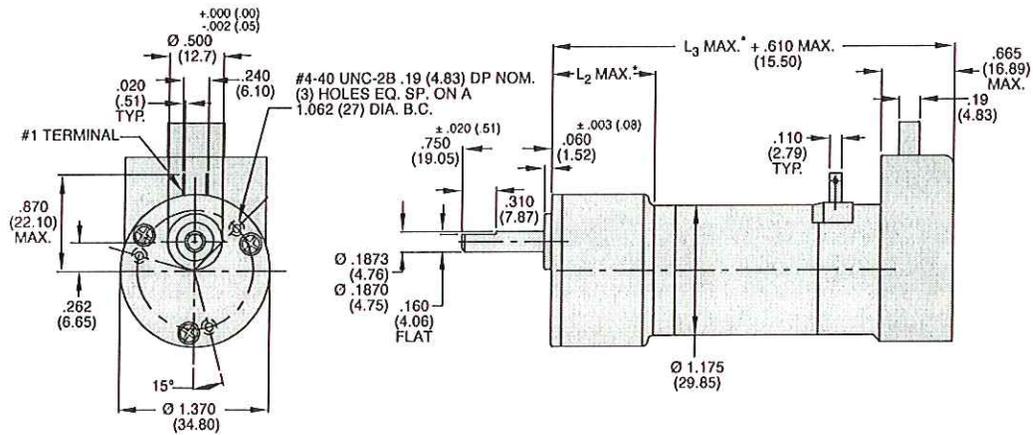
Notes:

- Unless otherwise specified, all tolerances are to be ± 0.005 (.01)
- All measurements are in inches (mm)
- See line numbers 7 through 13 in gearmotor data chart

GM82XX Motor with 91X0 Encoder



GM87XX Motor with 91X0 Encoder



Encoder Connection Chart

Pin No.	Color	Connection
1	Black	Ground
2	Green	Index/NC
3	Yellow	Channel A
4	Red	Vcc
5	Blue	Channel B

Notes:

- Unless otherwise specified, all tolerances are to be ±.005 (.01)
- All measurements are in inches (mm)
- *See line numbers 7 through 13 in gearmotor data chart

SERIES GM9000

Gearmotor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	Reduction Ratios											
				5.9:1	11.5:1	19.7:1	38.3:1	65.5:1	127.8:1	218.4:1	425.9:1	728.1:1	1419.8:1	2426.9:1	4732.5:1
MECHANICAL SPECIFICATIONS (Standard and High-Torque Gears)															
1	Max. Load Standard Gears ¹	T _L	oz-in (N-m)	175 (1.24)											
2	Max. Load High-Torque Gears ¹	T _L	oz-in (N-m)	300 (2.12)											
3	Gearbox Shaft Rotation ²	—	—	CW	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW
4	Gearbox Efficiency	—	%	81	81	73	73	66	66	59	59	53	53	48	48
5	Gearbox Weight (Mass)	W _G	oz (g)	5.90 (167.3)	5.90 (167.3)	6.26 (177.5)	6.26 (177.5)	6.62 (187.7)	6.62 (187.7)	6.98 (197.9)	6.98 (197.9)	7.34 (208.1)	7.34 (208.1)	8.18 (231.9)	8.18 (231.9)
6	Gearbox Length	L ₂	in max (mm max)	1.373 (34.9)	1.528 (38.8)	1.528 (38.8)									
7	Length, GM92X2/GM94X2	L ₃	in max (mm max)	3.101 (78.8)	3.256 (82.7)	3.256 (82.7)									
8	Length, GM92X3/GM94X3	L ₃	in max (mm max)	3.476 (88.3)	3.631 (92.2)	3.63 (92.2)									
9	Length, GM92X4/GM94X4	L ₃	in max (mm max)	3.676 (93.4)	3.831 (97.3)	3.831 (97.3)									
10	Length, GM9235/GM9435	L ₃	in max (mm max)	3.976 (101.0)	4.131 (104.9)	4.131 (104.9)									
11	Length, GM9236/GM9436	L ₃	in max (mm max)	4.326 (109.9)	4.481 (113.8)	4.481 (113.8)									
MECHANICAL SPECIFICATIONS (High-Torque Wide Face Gears)															
12	Max. Load ¹	T _L	oz-in (N-m)	NOT AVAILABLE		500 (3.53)									
13	Gearbox Shaft Rotation ²	—	—	NOT AVAILABLE		CCW	CCW	CW	CW	CCW	CCW	CW	CW	NOT AVAILABLE	
14	Gearbox Efficiency	—	%	NOT AVAILABLE		73	73	66	66	59	59	53	53	NOT AVAILABLE	
15	Gearbox Weight (Mass)	W _G	oz (g)	NOT AVAILABLE		6.52 (184.8)	6.52 (184.8)	6.88 (195.0)	6.88 (195.0)	7.24 (205.3)	7.24 (205.3)	8.08 (229.1)	8.08 (229.1)	NOT AVAILABLE	
16	Gearbox Length	L ₂	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		1.373 (34.9)	1.373 (34.9)	1.373 (34.9)	1.373 (34.9)	1.373 (34.9)	1.373 (34.9)	1.528 (38.8)	1.528 (38.8)	NOT AVAILABLE	
17	Length, GM92X2/GM94X2	L ₃	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		3.101 (78.8)	3.101 (78.8)	3.101 (78.8)	3.101 (78.8)	3.101 (78.8)	3.101 (78.8)	3.256 (82.7)	3.256 (82.7)	NOT AVAILABLE	
18	Length, GM92X3/GM94X3	L ₃	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		3.476 (88.3)	3.476 (88.3)	3.476 (88.3)	3.476 (88.3)	3.476 (88.3)	3.476 (88.3)	3.631 (92.2)	3.631 (92.2)	NOT AVAILABLE	
19	Length, GM92X4/GM94X4	L ₃	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		3.676 (93.4)	3.676 (93.4)	3.676 (93.4)	3.676 (93.4)	3.676 (93.4)	3.676 (93.4)	3.831 (97.3)	3.831 (97.3)	NOT AVAILABLE	
20	Length, GM9235/GM9435	L ₃	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		3.976 (101.1)	3.976 (101.1)	3.976 (101.1)	3.976 (101.1)	3.976 (101.1)	3.976 (101.1)	4.131 (104.9)	4.131 (104.9)	NOT AVAILABLE	
21	Length, GM9236/GM9436	L ₃	in max (mm max)	NOT AVAILABLE		4.326 (109.9)	4.326 (109.9)	4.326 (109.9)	4.326 (109.9)	4.326 (109.9)	4.326 (109.9)	4.481 (113.8)	4.481 (113.8)	NOT AVAILABLE	
NO-LOAD SPEED (All Gears)															
22	GM9X32	S _{NL}	rpm (rad/s)	1189 (125)	610 (63.9)	357 (37.4)	183 (19.2)	107 (11.2)	54.9 (5.75)	32.1 (3.36)	16.5 (1.73)	9.6 (.513)	4.9 (.513)	2.9 (.304)	1.5 (.157)
23	GM9X33	S _{NL}	rpm (rad/s)	1016 (106)	521 (54.6)	305 (31.9)	156 (16.3)	91.5 (9.58)	46.9 (4.91)	27.4 (2.87)	14.1 (1.48)	8.2 (.859)	4.2 (.440)	2.5 (.262)	1.3 (.136)
24	GM9X34	S _{NL}	rpm (rad/s)	1043 (109)	535 (56.0)	313 (32.8)	160 (16.8)	93.9 (9.83)	48.1 (5.04)	28.2 (2.95)	14.4 (1.51)	8.5 (.890)	4.3 (.450)	2.5 (.262)	1.3 (.136)

¹Represents gearbox capability only. Continuous load torque capability will vary with gear ratio, motor selection, and operating conditions.

²Shaft rotation is designated while looking at output shaft with motor operating in a clockwise direction. Gearmotor is polarity reversible.



Gearmotor Data, continued

Line No.	Parameter	Symbol	Units	Reduction Ratios											
				5.9:1	11.5:1	19.7:1	38.3:1	65.5:1	127.8:1	218.4:1	425.9:1	728.1:1	1419.8:1	2426.9:1	4732.5:1
NO-LOAD SPEED (All Gears), continued															
28	GM9X35	S_{NL}	rpm (rad/s)	1075 (112.5)	552 (57.8)	322 (33.7)	166 (17.4)	96.9 (10.1)	49.7 (5.2)	29.1 (3.0)	14.9 (1.6)	8.7 (.913)	4.4 (.468)	2.6 (.274)	1.3 (.140)
29	GM9X36	S_{NL}	rpm (rad/s)	834 (87.3)	427 (44.7)	250 (26.2)	128 (13.4)	75 (7.85)	38.5 (4.03)	22.5 (2.36)	11.5 (1.20)	6.8 (.712)	3.5 (.367)	2.0 (.209)	1.0 (.105)

Motor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM9X32	GM9X33	GM9X34	GM9X35	GM9X36
30	Continuous Torque (Max.) ³	T_C	oz-in (N-m)	2.3 (16.2 X 10 ⁻³)	4.7 (33.2 X 10 ⁻³)	6.1 (43.1 X 10 ⁻³)	6.9 (48.7 X 10 ⁻³)	9.5 (67.1 X 10 ⁻³)
31	Peak Torque (Stall) ⁴	T_{PK}	oz-in (N-m)	13.8 (97.5 X 10 ⁻³)	31.6 (223.2 X 10 ⁻³)	41.3 (291.7 X 10 ⁻³)	49.4 (348.9 X 10 ⁻³)	61.8 (436.4 X 10 ⁻³)
32	Motor Constant	K_M	oz-in/√W (N-m/√W)	1.62 (11.4 X 10 ⁻³)	2.66 (18.8 X 10 ⁻³)	3.01 (21.3 X 10 ⁻³)	3.21 (22.7 X 10 ⁻³)	4.11 (29.0 X 10 ⁻³)
33	No-Load Speed	S_0	rpm (rad/s)	7015 (734.6)	5993 (627.6)	6151 (644.2)	6348 (664.8)	4916 (514.8)
34	Friction Torque	T_F	oz-in (N-m)	0.5 (3.5 X 10 ⁻³)	0.6 (4.2 X 10 ⁻³)	0.6 (4.2 X 10 ⁻³)	0.65 (4.6 X 10 ⁻³)	0.8 (5.6 X 10 ⁻³)
35	Rotor Inertia	J_M	oz-in-s ² (kg-m ²)	2.7 X 10 ⁻⁴ (1.91 X 10 ⁻⁶)	4.6 X 10 ⁻⁴ (3.25 X 10 ⁻⁶)	5.9 X 10 ⁻⁴ (4.17 X 10 ⁻⁶)	7.9 X 10 ⁻⁴ (5.58 X 10 ⁻⁶)	1.0 X 10 ⁻³ (7.06 X 10 ⁻⁶)
36	Electrical Time Constant	τ_E	ms	0.63	0.84	0.85	0.89	1.06
37	Mechanical Time Constant	τ_M	ms	14.4	9.29	9.25	10.9	8.5
38	Viscous Damping— Infinite Source Impedance	D	oz-in/krpm (N-m/rad/s)	0.0272 (1.83 X 10 ⁻⁶)	0.0335 (2.25 X 10 ⁻⁶)	0.0387 (2.60 X 10 ⁻⁶)	0.0450 (3.03 X 10 ⁻⁶)	0.0525 (3.54 X 10 ⁻⁶)
39	Viscous Damping— Zero Source Impedance	K_D	oz-in/krpm (N-m/rad/s)	1.94 (1.31 X 10 ⁻⁴)	5.23 (3.52 X 10 ⁻⁴)	6.68 (4.50 X 10 ⁻⁴)	7.6 (5.12 X 10 ⁻⁴)	12.5 (8.42 X 10 ⁻⁴)
40	Maximum Winding Temp.	θ_{MAX}	°F (°C)	311 (155)	311 (155)	311 (155)	311 (155)	311 (155)
41	Thermal Impedance	R_{TH}	°F/watt °C/watt	72.9 (22.7)	66.4 (19.1)	62.8 (17.1)	58.5 (14.7)	56.3 (13.5)
42	Thermal Time Constant	τ_{TH}	min	7.21	11.1	12.0	12.9	13.5
43	Motor Weight (Mass)	W_M	oz (g)	6.98 (197.9)	8.90 (252.3)	10.1 (286.3)	0.0 (TBD)	13.8 (391.2)

Model GM9XX2 Winding Data (other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	9X32			
44	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
45	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	2.20 (15.6 X 10 ⁻³)	3.50 (24.7 X 10 ⁻³)	4.40 (31.1 X 10 ⁻³)	5.53 (39.1 X 10 ⁻³)
46	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.63 (15.6 X 10 ⁻³)	2.59 (24.7 X 10 ⁻³)	3.25 (31.1 X 10 ⁻³)	4.09 (39.1 X 10 ⁻³)
47	Resistance	R_T	Ω	1.93	4.70	7.38	11.6
48	Inductance	L	mH	1.16	2.94	4.64	7.34
49	No-Load Current	I_{NL}	A	0.32	0.20	0.16	0.13
50	Peak Current (Stall)	I_p	A	6.22	4.06	3.25	2.60

³Continuous torque specified at 25°C ambient temperature and without additional heat sink.

SERIES GM9000

Model GM9X33 Winding Data (other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	9X33			
				12.0	19.1	24.0	30.3
51	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
52	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	2.67 (18.9×10^{-3})	4.20 (29.7×10^{-3})	5.28 (37.3×10^{-3})	6.68 (47.2×10^{-3})
53	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.98 (18.9×10^{-3})	3.10 (29.7×10^{-3})	3.90 (37.3×10^{-3})	4.94 (47.2×10^{-3})
54	Resistance	R_T	Ω	1.08	2.53	3.94	6.21
55	Inductance	L	mH	0.84	2.08	3.29	5.27
56	No-Load Current	I_{NL}	A	0.30	0.19	0.15	0.12
57	Peak Current (Stall)	I_p	A	11.1	7.55	6.09	4.88

Model GM9X34 Winding Data (other windings available upon request)

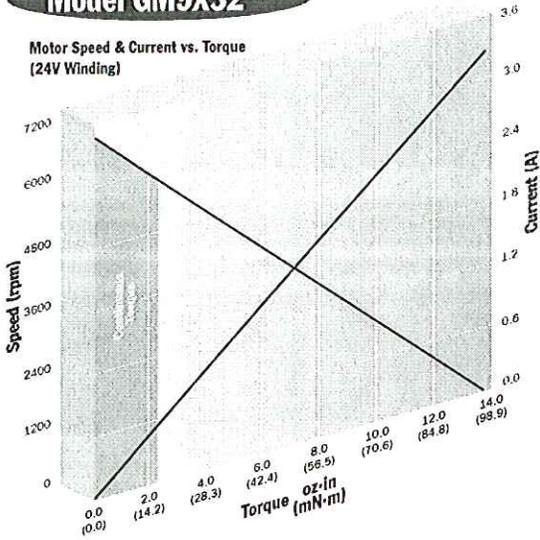
Line No.	Parameter	Symbol	Units	9X34			
				12.0	19.1	24.0	30.3
58	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3
59	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	(18.2×10^{-3})	(28.7×10^{-3})	(36.5×10^{-3})	(45.9×10^{-3})
60	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.91 (18.2×10^{-3})	3.01 (28.7×10^{-3})	3.82 (36.5×10^{-3})	4.81 (45.9×10^{-3})
61	Resistance	R_T	Ω	0.83	1.89	2.96	4.62
62	Inductance	L	mH	0.63	1.56	2.51	3.97
63	No-Load Current	I_{NL}	A	0.33	0.21	0.16	0.13
64	Peak Current (Stall)	I_p	A	14.5	10.1	8.11	6.55

Model GM9X35/9X36 Winding Data (other windings available upon request)

Line No.	Parameter	Symbol	Units	9X35				9X36			
				12.0	19.1	24.0	30.3	12.0	19.1	24.0	30.3
65	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3	12.0	19.1	24.0	30.3
66	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	2.47 (17.4×10^{-3})	3.99 (28.2×10^{-3})	4.94 (34.9×10^{-3})	6.27 (44.3×10^{-3})	3.25 (23.0×10^{-3})	5.24 (37.0×10^{-3})	6.49 (45.8×10^{-3})	8.24 (58.2×10^{-3})
67	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	1.83 (17.4×10^{-3})	2.95 (28.2×10^{-3})	3.65 (34.9×10^{-3})	3.65 (44.3×10^{-3})	2.4 (23.0×10^{-3})	3.88 (37.0×10^{-3})	4.8 (45.8×10^{-3})	6.09 (58.2×10^{-3})
68	Resistance	R_T	Ω	.68	1.56	2.37	3.72	0.71	1.64	2.49	3.91
69	Inductance	L	mH	.51	1.34	2.05	3.30	0.66	1.72	2.63	4.24
70	No-Load Current	I_{NL}	A	0.38	0.24	0.19	0.16	0.33	0.20	0.16	0.13
71	Peak Current (Stall)	I_p	A	17.6	12.2	10.1	8.14	16.9	11.7	9.64	7.74

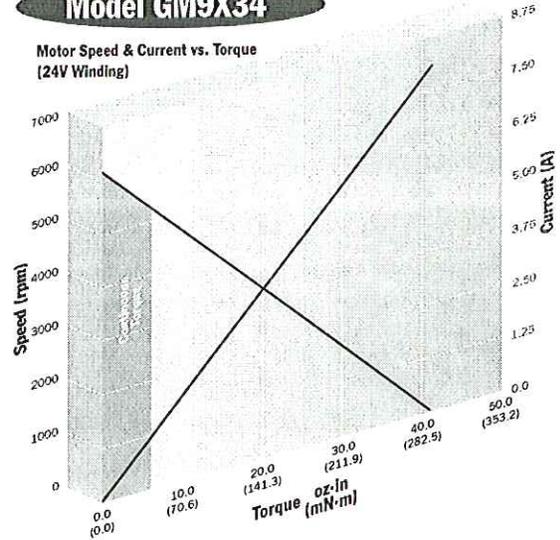
Model GM9X32

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



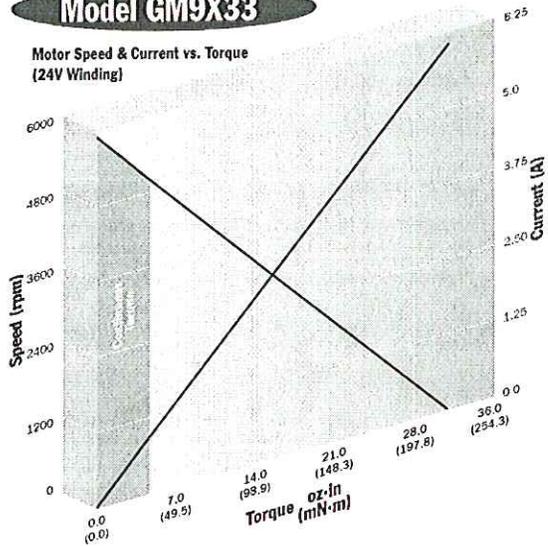
Model GM9X34

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



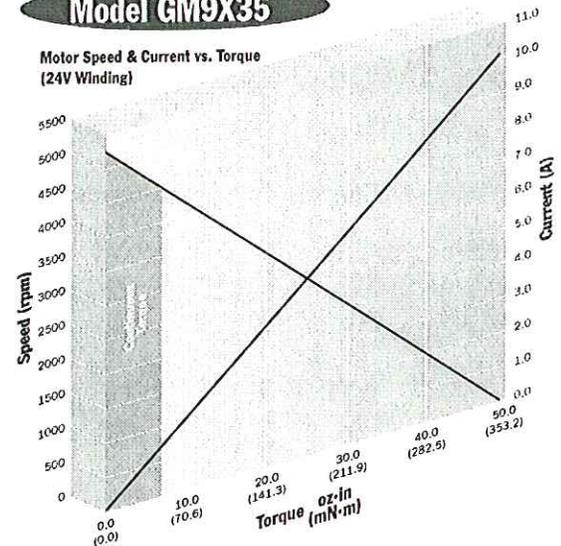
Model GM9X33

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



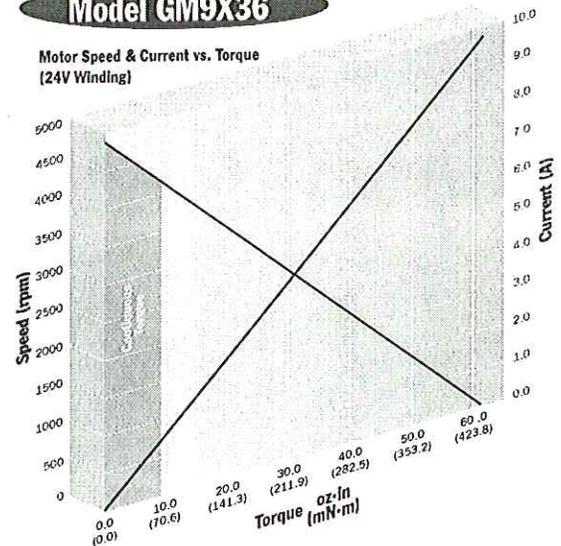
Model GM9X35

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)

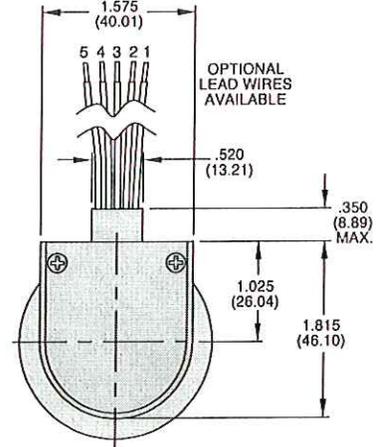
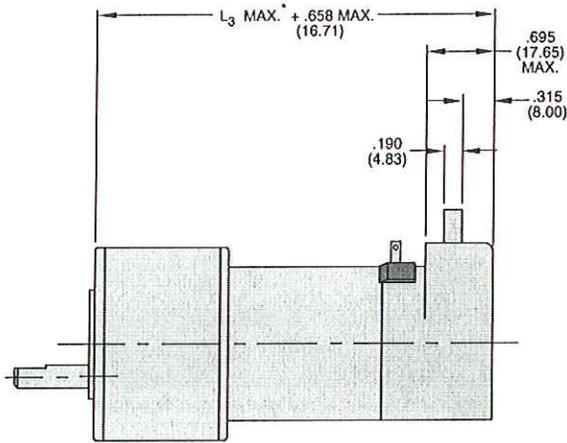
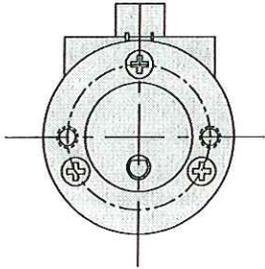


Model GM9X36

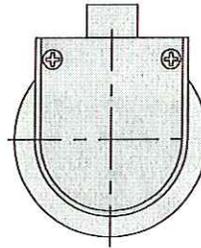
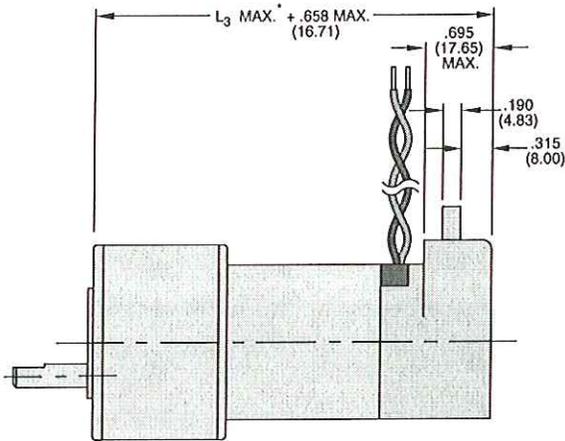
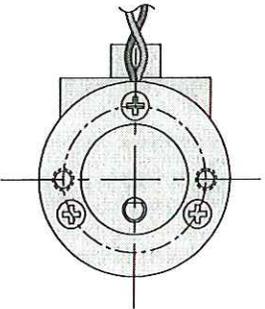
Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



**GM94XX Motor
with 91XX Encoder**



**GM92XX Motor
with 91XX Encoder**



Encoder Connection Chart

Pin No.	Color	Connection
1	Black	Ground
2	Green	Index/NC
3	Yellow	Channel A
4	Red	Vcc
5	Blue	Channel B

Notes:

- Unless otherwise specified, all tolerances are to be ± 0.005 (.01)
- All measurements are in inches (mm)
- *See line numbers 6 through 11 and 17 through 21

SERIES GM14900

Gearmotor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	Reduction Ratios		
				5.9:1	19.7:1	65.5:1*
MECHANICAL SPECIFICATIONS (Standard and High-Torque Gears)						
1	Max. Load Standard Gears ¹	T_L	oz-in (N-m)	175 (1.24)	175 (1.24)	175 (1.24)
2	Max. Load High-Torque Gears ¹	T_L	oz-in (N-m)	N/A N/A	300 (2.12)	300 (2.12)
3	Gearbox Shaft Rotation ²	—	—	CW	CCW	CW
4	Gearbox Efficiency	—	%	81	73	66
5	Gearbox Weight (Mass)	W_G	oz (g)	5.90 (167.3)	6.26 (177.5)	6.62 (187.7)
6	Gearbox Length	L_2	in max (mm max)	1.373 (34.87)	1.373 (34.87)	1.373 (34.87)
7	Length, GM14901	L_3	in max (mm max)	4.322 (109.78)	4.322 (109.78)	4.322 (109.78)
8	Length, GM14902	L_3	in max (mm max)	4.572 (116.13)	4.572 (116.13)	4.572 (116.13)
MECHANICAL SPECIFICATIONS (High-Torque, Wide-Face Gears)						
9	Max. Load ¹	T_L	oz-in (N-m)	N/A N/A	500 (3.53)	500 (3.53)
10	Gearbox Shaft Rotation	—	—	CW	CCW	CW
11	Gearbox Efficiency	—	%	81	73	66
12	Gearbox Weight (Mass)	W_G	oz (g)	N/A N/A	6.52 (184.8)	6.88 (195.0)
13	Gearbox Length	L_2	in max (mm max)	N/A N/A	1.373 (34.87)	1.373 (34.87)
14	Length, GM14901	L_3	in max (mm max)	N/A N/A	4.322 (109.78)	4.322 (109.78)
15	Length, GM14902	L_3	in max (mm max)	N/A N/A	4.572 (116.13)	4.572 (116.13)
NO-LOAD SPEED (All Gears)						
16	GM14901	S_{NL}	rpm (rad/s)	713 (75)	214 (22)	64.2 (7)
17	GM14902	S_{NL}	rpm (rad/s)	690 (72)	207 (22)	62.1 (6)

¹Represents gearbox capability only. Continuous load torque capability will vary with gear ratio, motor selection, and operating conditions.

²Shaft rotation is designated while looking at output shaft with motor operating in a clockwise direction. Gearmotor is polarity reversible.

*Contact factory for higher ratios.

Motor Data

Line No.	Parameter	Symbol	Units	14X01	14X02
18	Continuous Torque ³	T_C	oz-in (N-m)	10.0 (70.6 X 10 ⁻³)	14.0 (98.9 X 10 ⁻³)
19	Peak Torque (Stall)	T_{PK}	oz-in (N-m)	62.8 (.44)	107 (.76)
20	Motor Constant	K_M	oz-in/ \sqrt{W} (N-m/ \sqrt{W})	4.45 (31.4 X 10 ⁻³)	5.93 (41.9 X 10 ⁻³)
21	No-Load Speed	S_0	rpm (rad/s)	4230 (443)	4087 (428)
22	Friction Torque	T_F	oz-in (N-m)	1.20 (8.5 X 10 ⁻³)	1.20 (8.5 X 10 ⁻³)
23	Rotor Inertia	J_M	oz-in-s ² (kg-m ²)	1.6 X 10 ⁻³ (1.13 X 10 ⁻⁵)	2.3 X 10 ⁻³ (1.62 X 10 ⁻⁵)
24	Electrical Time Constant	τ_E	ms	0.91	1.47
25	Mechanical Time Constant	τ_M	ms	11.4	9.26
26	Viscous Damping— Infinite Source Impedance	D	oz-in/krpm (N-m/(rad/s))	0.17 (1.15 X 10 ⁻⁵)	0.17 (1.15 X 10 ⁻⁵)
27	Viscous Damping— Zero Source Impedance	K_D	oz-in/krpm (N-m/(rad/s))	14.7 (9.91 X 10 ⁻⁴)	26.0 (1.75 X 10 ⁻³)
28	Maximum Winding Temperature	θ_{MAX}	°F (°C)	311 (155)	311 (155)
29	Thermal Impedance	R_{TH}	°F/watt °C/watt	49.8 (9.90)	48.2 (9.00)
30	Thermal Time Constant	τ_{TH}	min	22.0	24.0
31	Motor Weight (Mass)	W_M	oz (g)	20.8 (589.7)	26.0 (737.1)
32	Motor Length, 1410X, 1420X	L_1	in max (mm max)	2.953 (75.01)	3.203 (81.36)

³Continuous torque specified at 25°C ambient temperature and without additional heat sink.

Model GM14X01/GM14X02 Winding Data (Other windings available upon request)

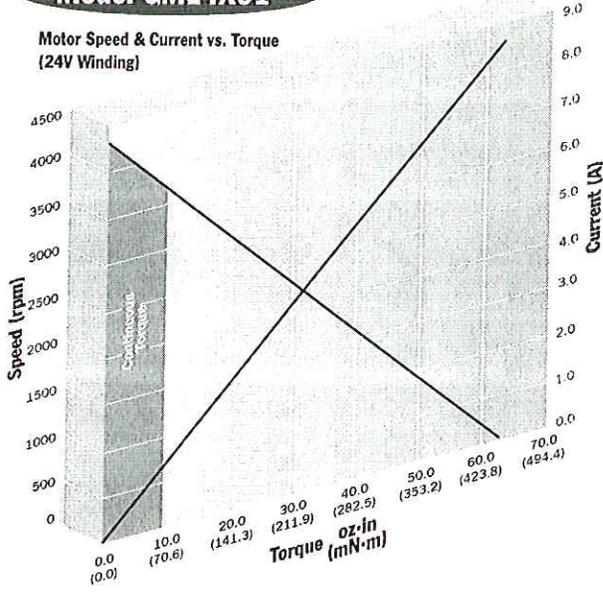
Line No.	Parameter	Symbol	Units	GM14X01				GM14X02			
				12.0	19.1	24.0	30.3	12.0	19.1	24.0	30.3
33	Reference Voltage	E	V	12.0	19.1	24.0	30.3	12.0	19.1	24.0	30.3
34	Torque Constant	K_T	oz-in/A (N-m/A)	3.72 (26.3 X 10 ⁻³)	5.89 (41.6 X 10 ⁻³)	7.44 (52.5 X 10 ⁻³)	9.46 (66.8 X 10 ⁻³)	3.90 (27.5 X 10 ⁻³)	6.16 (43.5 X 10 ⁻³)	7.80 (55.1 X 10 ⁻³)	9.85 (69.6 X 10 ⁻³)
35	Back-EMF Constant	K_E	V/krpm (V/rad/s)	2.75 (26.3 X 10 ⁻³)	4.36 (41.6 X 10 ⁻³)	5.50 (52.5 X 10 ⁻³)	6.99 (66.8 X 10 ⁻³)	2.88 (27.5 X 10 ⁻³)	4.55 (43.5 X 10 ⁻³)	5.77 (55.1 X 10 ⁻³)	7.29 (69.6 X 10 ⁻³)
36	Resistance	R_T	Ω	0.72	1.76	2.79	4.45	0.45	1.09	1.73	2.74
37	Inductance	L	mH	0.63	1.59	2.54	4.10	0.63	1.58	2.54	4.05
38	No-Load Current	I_{NL}	A	0.52	0.33	0.26	0.20	0.49	0.31	0.24	0.19
39	Peak Current (Stall) ⁴	I_P	A	16.7	10.8	8.60	6.80	26.4	17.5	13.9	11.1

⁴Theoretical values supplied for reference only.

SERIES GM14900

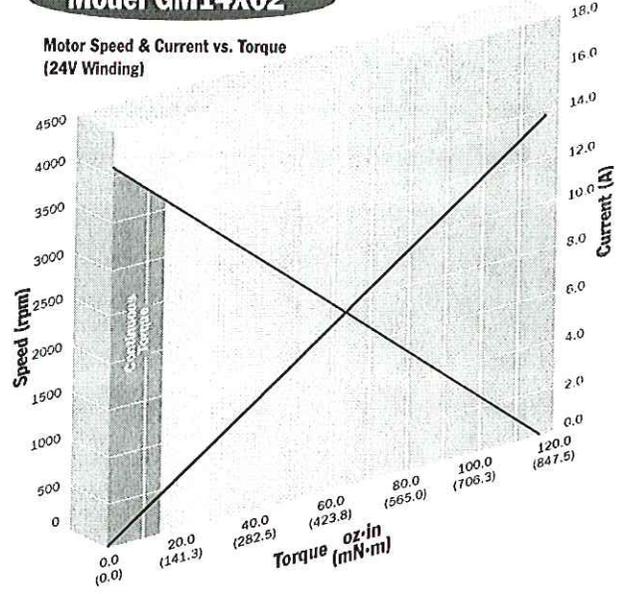
Model GM14X01

Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)

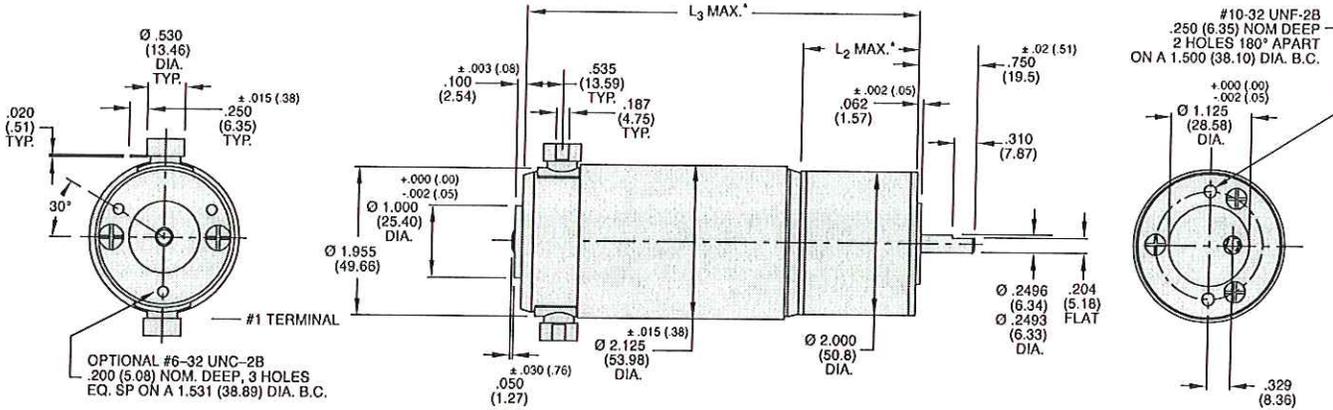


Model GM14X02

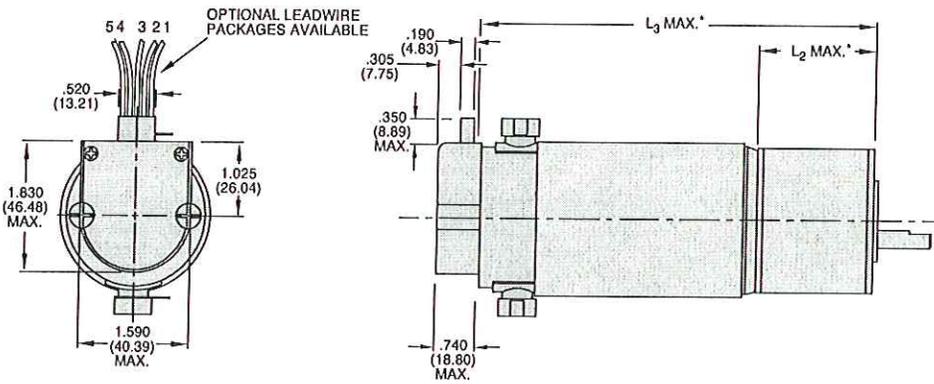
Motor Speed & Current vs. Torque
(24V Winding)



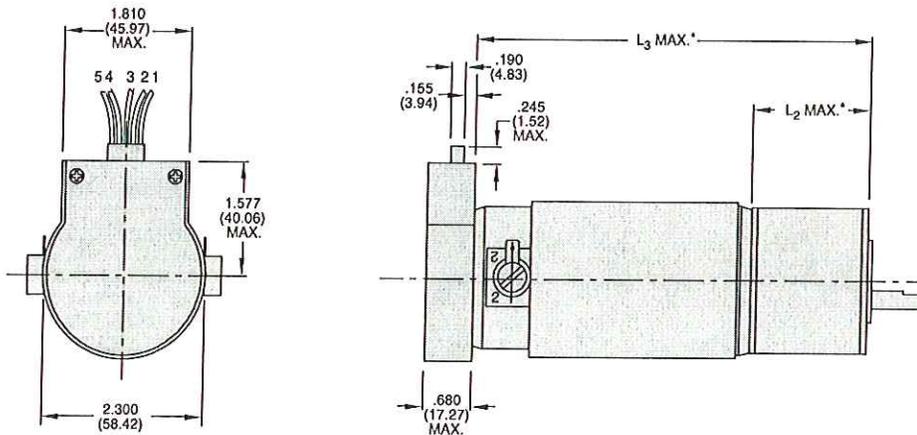
GM149XX Motor



GM149XX Motor with 91X0 Encoder



GM149XX Motor with 90X0 Encoder



Encoder Connection Chart

Pin No.	Color	Connection
1	Black	Ground
2	Green	Index/NC
3	Yellow	Channel A
4	Red	Vcc
5	Blue	Channel B

Notes:
 • Unless otherwise specified, all tolerances are to be $\pm .005$ (.01)
 • All measurements are in inches (mm)
 * See line no. 6 through 8 and 13 through 15 in gearmotor data chart

**A . DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL DESARROLLO DEL
MANIPULADOR AUTOMÁTICO**

EQUIPO	JUSTIFICACIÓN	TOTAL EN MILES DE .
Motores DC con reductor y encoder incluido marca PITTMAN	Encargados de transmitir el movimiento a cada uno de las articulaciones que conforma el robot	\$ 600.000
Poleas y Correas Dentadas	Sistemas que acoplan la transmisión de movimiento entre cada articulación	\$ 250.000
Estructura Mecánica del Manipulador (Articulación base, Hombro, Codo y Gripper) en Material Acrílico	Estructura base a la cual van acoplados cada uno de los dispositivos anteriormente nombrados	\$ 600.000
Caja de Controles eléctricos y electrónicos acrílico y teach pendant en material.	En esta caja se encontraran todos los controles eléctricos y de procesamiento. La otra es la caja de control del manipulador, desde donde se le envían todas las instrucciones de mando.	\$ 200.000
Dispositivos Mecánicos varios: Rodamientos, Ejes, Arandelas, Tuercas, Tornillos	Dispositivos necesarios para el desarrollo mecánico (Ensamble) total de la estructura	\$100.000
Sistemas Eléctricos y Electrónicos (Switches, Fuente de Alimentación, Cables, Conectores)	Circuitos y dispositivos necesarios para ofrecer la respectiva alimentación a cada uno de los componentes eléctricos del manipulador.	\$100.000
Dispositivos de Control (Microcontroladores, CPU)	Se encargan de dar las ordenes de control una vez obtenida la información de los componentes eléctricos	\$400.000
Herramienta Matemática Matlab	Software para el desarrollo del modelo cinemática y dinámico del manipulador y su respectivo estudio	-----
Herramienta CAD, Solid Works, Solid Edge.	Software para desarrollar el sistema mecánico del manipulador (Ensamble) y realizar respectivas simulaciones de movimiento.	-----
TOTAL		\$2.000.000

Los e i o s a o s e no se indicaron e res ecti o a or o s osee a Uni ersidad.

A 4. CODIGO FUENTE DE LOS PROGRAMAS Y FUNCIONES DESARROLLADOS

A 4. PROGRAMA PRINCIPAL

```
function varargout = programa20(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @programa20_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @programa20_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function programa20_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = programa20_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

set(handles.radiobutton1,'value',1);
set(handles.radiobutton2,'value',0);
set(handles.edit6,'enable','off');
set(handles.edit7,'enable','off');
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.pushbutton1,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit10,'enable','off');
set(handles.edit11,'enable','off');

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    else
        set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
    end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
if (angulo1 >= -170) & (angulo1 <= 170)

    set(handles.slider1,'value',angulo1);
    angulo2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
    set(handles.slider2,'value',angulo2);
    angulo3=str2num(get(handles.edit3,'string'));
    set(handles.slider3,'value',angulo3);
    angulo4=str2num(get(handles.edit4,'string'));
    set(handles.slider4,'value',angulo4);
    angulo5=str2num(get(handles.edit5,'string'));
    set(handles.slider5,'value',angulo5);
    graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

    [xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
    set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
    set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
    set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
    set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
    set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
    set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
end

function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

end
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
if (angulo2 >= -140) & (angulo2 <= 30)
    angulo1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
    set(handles.slider1,'value',angulo1);

    set(handles.slider2,'value',angulo2);
    angulo3=str2num(get(handles.edit3,'string'));
    set(handles.slider3,'value',angulo3);
    angulo4=str2num(get(handles.edit4,'string'));
    set(handles.slider4,'value',angulo4);
    angulo5=str2num(get(handles.edit5,'string'));
    set(handles.slider5,'value',angulo5);
    graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

    [xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
    set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
    set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
    set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
    set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
    set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
    set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
end

function slider2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'));
end

function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'));
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo3=str2num(get(handles.edit3,'string'));

```

```

if (angulo3 >= -150) & (angulo3 <= 150)
    angulo1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
    set(handles.slider1,'value',angulo1);
    angulo2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
    set(handles.slider2,'value',angulo2);

    set(handles.slider3,'value',angulo3);
    angulo4=str2num(get(handles.edit4,'string'));
    set(handles.slider4,'value',angulo4);
    angulo5=str2num(get(handles.edit5,'string'));
    set(handles.slider5,'value',angulo5);
    graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

    [xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
    set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
    set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
    set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
    set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
    set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
    set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
end

function slider3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo4=str2num(get(handles.edit4,'string'));
if (angulo4 >= -150) & (angulo4 <= 150)
    angulo1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
    set(handles.slider1,'value',angulo1);

```

```

angulo2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
set(handles.slider2,'value',angulo2);
angulo3=str2num(get(handles.edit3,'string'));
set(handles.slider3,'value',angulo3);
set(handles.slider4,'value',angulo4);
angulo5=str2num(get(handles.edit5,'string'));
set(handles.slider5,'value',angulo5);
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
end

```

```

function slider4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function slider4_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

```

```

[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

```

```

function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

angulo5=str2num(get(handles.edit5,'string'));
if (angulo5 >= -360) & (angulo5 <= 360)
    angulo1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
    set(handles.slider1,'value',angulo1);
    angulo2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
    set(handles.slider2,'value',angulo2);
    angulo3=str2num(get(handles.edit3,'string'));
    set(handles.slider3,'value',angulo3);
    angulo4=str2num(get(handles.edit4,'string'));

```

```

set(handles.slider4,'value',angulo4);
set(handles.slider5,'value',angulo5);
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));
end

```

```

function slider5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

usewhitebg = 1;
if usewhitebg
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function slider5_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

angulo1=get(handles.slider1,'value');
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
angulo2=get(handles.slider2,'value');
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
angulo3=get(handles.slider3,'value');
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
angulo4=get(handles.slider4,'value');
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
angulo5=get(handles.slider5,'value');
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremomodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

```

```

function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

set(handles.radiobutton2,'value',0);
set(handles.edit1,'enable','on');
set(handles.slider1,'enable','on');
set(handles.edit2,'enable','on');
set(handles.slider2,'enable','on');
set(handles.edit3,'enable','on');
set(handles.slider3,'enable','on');
set(handles.edit4,'enable','on');
set(handles.slider4,'enable','on');
set(handles.edit5,'enable','on');
set(handles.slider5,'enable','on');
set(handles.edit6,'enable','off');
set(handles.edit7,'enable','off');
set(handles.edit8,'enable','off');
set(handles.pushbutton1,'enable','off');
set(handles.edit9,'enable','off');
set(handles.edit10,'enable','off');
set(handles.edit11,'enable','off');

```

```

function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

set(handles.radiobutton1,'value',0);

```

```
set(handles.edit1,'enable','off');
set(handles.slider1,'enable','off');
set(handles.edit2,'enable','off');
set(handles.slider2,'enable','off');
set(handles.edit3,'enable','off');
set(handles.slider3,'enable','off');
set(handles.edit4,'enable','off');
set(handles.slider4,'enable','off');
set(handles.edit5,'enable','off');
set(handles.slider5,'enable','off');
set(handles.edit6,'enable','on');
set(handles.edit7,'enable','on');
set(handles.edit8,'enable','on');
set(handles.pushbutton1,'enable','on');
set(handles.edit9,'enable','on');
set(handles.edit10,'enable','on');
set(handles.edit11,'enable','on');
```

```
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

xextremo=str2num(get(handles.edit6,'string'));
yextremo=str2num(get(handles.edit7,'string'));
zextremo=str2num(get(handles.edit8,'string'));
alpha=str2num(get(handles.edit9,'string'));
phi=str2num(get(handles.edit10,'string'));
tetha=str2num(get(handles.edit11,'string'));

[angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5] = kineinv(xextremo, yextremo, zextremo, alpha, phi, tetha);

set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
set(handles.slider1,'value',angulo1);
set(handles.slider2,'value',angulo2);
set(handles.slider3,'value',angulo3);
set(handles.slider4,'value',angulo4);
set(handles.slider5,'value',angulo5);

graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

angulo1=0;
angulo2=0;
angulo3=0;
angulo4=0;
angulo5=0;
set(handles.edit1,'string',num2str(angulo1));
set(handles.edit2,'string',num2str(angulo2));
set(handles.edit3,'string',num2str(angulo3));
set(handles.edit4,'string',num2str(angulo4));
set(handles.edit5,'string',num2str(angulo5));
set(handles.slider1,'value',angulo1);
set(handles.slider2,'value',angulo2);
set(handles.slider3,'value',angulo3);
set(handles.slider4,'value',angulo4);
set(handles.slider5,'value',angulo5);
graficarobot(angulo1,angulo2,angulo3,angulo4,angulo5);
[xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha]=puntoextremodif(angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5);
set(handles.edit6,'string',num2str(xextremo));
set(handles.edit7,'string',num2str(yextremo));
set(handles.edit8,'string',num2str(zextremo));
set(handles.edit9,'string',num2str(gamma));
set(handles.edit10,'string',num2str(beta));
set(handles.edit11,'string',num2str(alpha));

```

A 4.2 PROGRAMA PARA DETERMINAR LA TRANSFORMACIÓN FINAL dh do

```

syms t1 t2 t3 t4 t5 real;
syms L1 L2 L3 L4 L5 L6 real;
dh= [ 0 0 t1 L1+L2 0;
      -pi/2 L3 t2 0 0;
      0 L4 t3 0 0;
      0 L5 t4 0 0;
      pi/2 0 t5 L6 0];
q=[t1 t2 t3 t4+pi/2 t5];
T=fkine(dh,q);
A01= linktrans(dh(1,:),q(1));
A12= linktrans(dh(2,:),q(2));
A23= linktrans(dh(3,:),q(3));
A34= linktrans(dh(4,:),q(4));
A45= linktrans(dh(5,:),q(5));
A02=A01*A12;
A03=A02*A23;
A04=A03*A34;
A05=A04*A45;

```

A 4. FUNCION GRAFICAR ROBOT graficarot

```

function graficarobot(angle1, angle2, angle3, angle4, angle5)

L1=1.9;
L2=1.74;
L3=0.2;
L4= 2.2;
L5= 2.2;
L6= 1.5;
plot3(0, 0, 0, '*');
grid on;
xlabel('Eje X');
ylabel('Eje Y');
zlabel('Eje Z');
axis([-6 7 -6 7 0 8 0 5])
ejex=zeros(3,2);
ejex(1,2)=1;
ejey=zeros(3,2);
ejey(2,2)=1;
ejez=zeros(3,2);
ejez(3,2)=1;
hold on;
plot3(ejex(1,1:2), ejex(2,1:2), ejex(3,1:2), 'r');
text(ejex(1,2), ejex(2,2), ejex(3,2), 'X0');
plot3(ejey(1,1:2), ejey(2,1:2), ejey(3,1:2), 'r');
text(ejey(1,2), ejey(2,2), ejey(3,2), 'Y0');
plot3(ejez(1,1:2), ejez(2,1:2), ejez(3,1:2), 'r');
text(ejez(1,2), ejez(2,2), ejez(3,2), 'Z0');
ref0=[0 0 0];

%Como segunda parte tenemos la matriz A01 la cual permite la rotacion sobre
%la base alrededor del eje Z0
angle1=angle1*pi/180;
A01=rotz(angle1);
tempmatrix=eye(4);
tempmatrix(3,4)=L1+L2;
A01= A01*tempmatrix;

```

```

tempmatrix=eye(4);
tempmatrix(1,4)=L3;
A01= A01*tempmatrix;
angle= -pi/2;
tempmatrix= rotx(angle);
A01= A01*tempmatrix;
plot3(A01(1,4), A01(2,4), A01(3,4), '*');
ref11=[ref0+[0; 0; 1] [0; 0; A01(3,4)]];
plot3(ref11(1,1:2), ref11(2,1:2), ref11(3,1:2));
ref12=[ref11(:,2) A01(1:3,4)];
plot3(ref12(1,1:2), ref12(2,1:2), ref12(3,1:2));

%Tercera parte, la matriz A12 permite el movimiento de la articulacion del hombro
angle2= angle2*pi/180;
A12= rotz(angle2);
tempmatrix= eye(4);
tempmatrix(1,4)= L4;
A12= A12*tempmatrix;
A02= A01*A12;
plot3(A02(1,4), A02(2,4), A02(3,4), '*');
ref2=[ref12(:,2) A02(1:3,4)];
plot3(ref2(1,1:2), ref2(2,1:2), ref2(3,1:2),'g');

%En la cuarta parte, la matriz A23 permite el movimiento de la articulacion del codo
angle3= angle3*pi/180;
A23= rotz(angle3);
tempmatrix= eye(4);
tempmatrix(1,4)= L5;
A23= A23*tempmatrix;
A03= A02*A23;
plot3(A03(1,4), A03(2,4), A03(3,4), '*');
ref3=[ref2(:,2) A03(1:3,4)];
plot3(ref3(1,1:2), ref3(2,1:2), ref3(3,1:2),'y');

%En la quinta parte, la matriz A34 permite el movimiento de la articulacion de la muñeca
angle4= angle4*pi/180;
A34= rotz(angle4+(pi/2));
angle= pi/2;
tempmatrix= rotx(angle);
A34= A34*tempmatrix;
A04= A03*A34;
plot3(A04(1,4), A04(2,4), A04(3,4), '*');
ref4=[ref3(:,2) A04(1:3,4)];

%Por ultimo, la matriz A45 permite el movimiento de rotacion en la muñeca
angle5= angle5*pi/180;
A45= rotz(angle5);
tempmatrix= eye(4);
tempmatrix(3,4)= L6;
A45= A45*tempmatrix;
A05= A04*A45;
plot3(A05(1,4), A05(2,4), A05(3,4), '*');
ejeu4p= zeros(3,2);
ejeu4p(:,1)= A05(1:3,4);
ejeu4p(:,2)= ejeu4p(:,1)+A05(1:3,1);
ejev4p= zeros(3,2);
ejev4p(:,1)= A05(1:3,4);
ejev4p(:,2)= ejev4p(:,1)+A05(1:3,2);
ejew4p= zeros(3,2);
ejew4p(:,1)= A05(1:3,4);
ejew4p(:,2)= ejew4p(:,1)+A05(1:3,3);
plot3(ejeu4p(1,1:2), ejeu4p(2,1:2), ejeu4p(3,1:2), 'r');
text(ejeu4p(1,2), ejeu4p(2,2), ejeu4p(3,2), 'X5');
plot3(ejev4p(1,1:2), ejev4p(2,1:2), ejev4p(3,1:2), 'r');
text(ejev4p(1,2), ejev4p(2,2), ejev4p(3,2), 'Y5');
plot3(ejew4p(1,1:2), ejew4p(2,1:2), ejew4p(3,1:2), 'r');
text(ejew4p(1,2), ejew4p(2,2), ejew4p(3,2), 'Z5');

```

```

ref5=[ref4(:,2) A05(1:3,4)];
plot3(ref5(1,1:2), ref5(2,1:2), ref5(3,1:2),'k');
rotate3d
hold off;

```

A 4.4 FUNCION CALCULAR LA CINEMÁTICA INVERSA `inein`

Function [angulo1, angulo2, angulo3, angulo4, angulo5] = kineinv(xextremo, yextremo, zextremo, gamma, beta, alpha)

```

%PROGRAMA PARA CALCULAR LA CINEMATICA INVERSA DEL MANIPULADOR A PARTIR DE LAS
%COORDENADAS DEL PUNTO MAS EXTREMO DEL MISMO
%SOLUCION POR METODO GEOMETRICO

```

```

%MEDIDAS DE LOS ESLABONES DEL MANIPULADOR

```

```

L1= 1.9;
L2= 1.74;
L3= 0.2;
L4= 2.2;
L5= 2.2;
L6= 1.5;

```

```

%CALCULO DE LA MATRIZ DE ORIENTACION
gamma=gamma*pi/180;
beta=beta*pi/180;
alpha=alpha*pi/180;
A05= rpy2tr([gamma beta alpha]);

```

```

%MATRIZ HOMOGENEA DE POSICION FINAL A05
A05(1,4)= xextremo;
A05(2,4)= yextremo;
A05(3,4)= zextremo;

```

```

px=A05(1,3)*L6;
py=A05(2,3)*L6;
pz=A05(3,3)*L6;

```

```

%MATRIZ HOMOGENEA HASTA LA MUÑECA A03
A03= eye(4);
A03(1,4)=A05(1,4)-px;
A03(2,4)=A05(2,4)-py;
A03(3,4)=A05(3,4)-pz;
%CALCULO DE LA CINEMATICA INVERSA DEL SCORBOT POR METODOS GEOMETRICOS.

```

```

%PRIMERA ARTICULACION
angulo1= atan2(A03(2,4), A03(1,4));

```

```

%SEGUNDA ARTICULACION
x=(((A03(1,4))^2+((A03(2,4))^2+((A03(3,4))^2+((L3)^2+((L1+L2)^2))-
((2*L3*sqrt(((A03(1,4))^2+((A03(2,4))^2)))+(2*A03(3,4)*(L1+L2))+((L4)^2+((L5)^2)))));
x=x/(2*L4*L5);
y=sqrt(1-(x^2));
k1=sqrt(((A03(1,4))^2+((A03(2,4))^2))-L3;
k2=A03(3,4)-L1-L2;
m=-((k1*L5*y)+(k2*L5*x)+(k2*L4));
n=m/((k1)^2+(k2)^2);
n=(k1*L5*x)-(k2*L5*y)+(k1*L4);
n=n/((k1)^2+(k2)^2);
angulo2= atan2(m,n);

```

```

%TERCERA ARTICULACION
angulo3= atan2(y,x);

```

```

%CUARTA ARTICULACION
ax=A05(1,3);
ay=A05(2,3);
az=A05(3,3);
o1=cos(angulo1)*cos(angulo2)*cos(angulo3)-cos(angulo1)*sin(angulo2)*sin(angulo3);
o2=sin(angulo1)*cos(angulo2)*cos(angulo3)-sin(angulo1)*sin(angulo2)*sin(angulo3);
o3=sin(angulo2)*cos(angulo3)+cos(angulo2)*sin(angulo3);
o=o1*ax+o2*ay-o3*az;
p=sqrt(1 - (o^2));
angulo4= atan2(p,o);

%QUINTA ARTICULACION
ox=A05(1,2);
oy=A05(2,2);
r=-sin(angulo1)*ox+cos(angulo1)*oy;
s=sqrt(1 - (r^2));
angulo5= atan2(s,r);

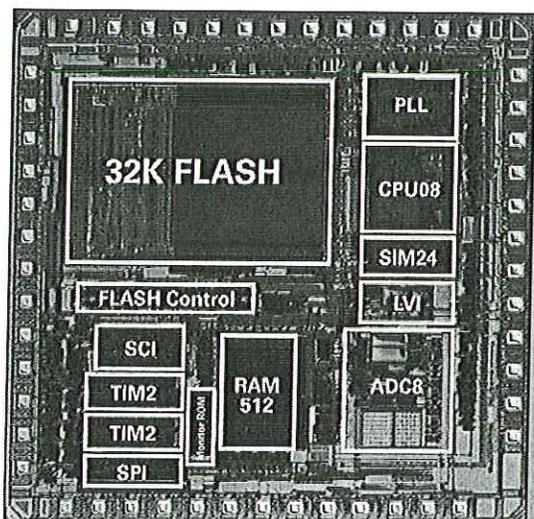
%Se entregan en grados
angulo1= angulo1*180/pi;
angulo2= angulo2*180/pi;
angulo3= angulo3*180/pi;
angulo4= angulo4*180/pi;
angulo5= angulo5*180/pi;

```

**A . ESPECIFICACIONES DEL MICROCONTROLADOR MOTOROLA
MC HC 0 GP 2**

68HC908GP32

The Motorola 68HC908GP32 provides designers with a highly integrated 8-bit FLASH microcontroller (MCU) solution. The 68HC908GP32 builds on the success of the 68HC05 family by offering a code compatible migration path to higher performance FLASH MCUs.



Features

- 32,256 bytes of in-system programmable FLASH memory
- FLASHwire technology – a single wire interface for in-circuit programming which does not require high voltage for entry
- 10,000 program/erase cycles
- FLASH programming as fast as 2 msec for a 64 byte block
- FLASH memory security features
- 512 bytes of user RAM
- High-performance 68HC08 CPU core
 - Code compatible with 68HC05
 - 8.0 MHz internal operating frequency at 5.0 V
- Peripheral modules
 - Computer Operating Properly (COP) watchdog
 - SCI asynchronous serial communications port
 - Full duplex operation
 - 32 programmable baud rates
 - Interrupt driven operation
 - 8-bit or 9-bit character length
 - SPI synchronous serial communications port
 - Full duplex operation with master and slave modes
 - Up to 4 MHz master, and 8 MHz slave mode frequencies
 - 8-channel 8-bit analog-to-digital-converter
 - Dual 16-bit two-channel timers with input capture, output compare, and PWM modes
 - Timebase module with eight user selectable periodic real-time interrupts
 - Auto wake-up out of stop capability
- Memory-mapped I/O registers
- 33 bi-directional input/output (I/O) lines, including:
 - 10 mA sink/source capability on all I/O pins
 - 15 mA sink capability on five I/O pins
 - Software programmable pullups on all I/O pins
 - Keyboard scan with selectable interrupts on eight I/O pins
- Internal pullups to V_{DD} on RESET and IRQ pins for reduced system cost
- Vectored interrupts
 - Selectable sensitivity on external interrupt (edge- and level-sensitive or edge-sensitive only)
 - External interrupt mask bit and acknowledge bit
- Illegal address reset

68HC908GP32

- Illegal opcode reset
- Low Voltage Inhibit with selectable trip points
- Clock options
 - 32 KHz crystal compatible oscillator and on-chip PLL
 - External clock
- Bi-directional RESET pin
- Power-saving Stop and Wait modes
- 40-pin DIP, 42-pin SDIP, and 44-pin QFP packages
- Pin compatible with the 68HC908GP20
- V_{DD}/V_{SS} pins adjacent for easy bypass capacitor connection
- Hyper-text linked on-line databook;
 - MC68HC908GP32/H
- Cost effective, full-featured development tools that support programming, in-circuit debug, simulation, and in-circuit emulation

Application Notes

- AN-HK-32/H In-circuit Programming of FLASH Memory in the 68HC908GP32
- AN-HK-31/H Using the MC68HC908GP32 in place of MC68HC908GP20
- AN1222/D Arithmetic Waveform Synthesis with 68HC05/68HC08 MCUs
- AN1221/D Hamming Error Control Coding Techniques with the HC08 MCU
- AN1219/D M68HC08 Integer Math Routines
- AN1218/D HC05 to HC08 Optimization
- More MCU application notes available on our website

Comprehensive Development Support

Broad third party software and hardware support – see our web site at <http://www.mcu.motsp.com>

EASY TO ORDER KITS

		RESALE*
M68ICS08GP	GPxx programmer/in-circuit debug kit	\$295
KITMMEVS08GP	Cost effective real-time in-circuit emulator kit	\$1450
KITMMDS08GP	High performance real-time in-circuit emulator kit	\$3950

INDIVIDUAL DEVELOPMENT TOOL COMPONENTS

		RESALE*
M68MMDS0508	High performance emulator	\$2950
M68MMPFB0508	MMEVS Platform Board	\$395
M68EML08GP32	Emulation module daughter board	\$495
M68CBL05B	Low noise flex-cable	\$120
M68CBL05C	Low noise flex-cable	\$120
M68TB08GP32P40	40-pin DIP target head adapter	\$175
M68TB08GP32B42	42-pin SDIP target head adapter	\$175
M68TC08GP32FB44	44-pin QFP target head adapter	\$175
M68TQS044SAG1	44-pin TQ socket with guides	\$50
M68TQP044SAM01	44-pin TQPACK	\$70

*All prices are manufacturer's suggested resale for North America.

©1999 Motorola, Inc. All rights reserved. Motorola is a registered trademark, and DigitalDNA, and the DigitalDNA logo are trademarks of Motorola, Inc. All other trademarks are the property of their respective companies.

This product incorporates SuperFlash® technology licensed from SST.

 **DigitalDNA™**
from Motorola

Appendix A. MC68HC08GP32

A.1 Contents

A.2	Introduction	398
A.3	MCU Block Diagram	398
A.4	Memory Map	400
A.5	Mask Option Registers	401
A.6	Reserved Registers	402
A.7	Monitor ROM	402
A.8	Electrical Specifications	403
A.8.1	Functional Operating Range	403
A.8.2	5.0-V DC Electrical Characteristics	403
A.8.3	3.0-V DC Electrical Characteristics	404
A.8.4	Memory Characteristics	405
A.9	ROM MC Order Numbers	406

A.2 Introduction

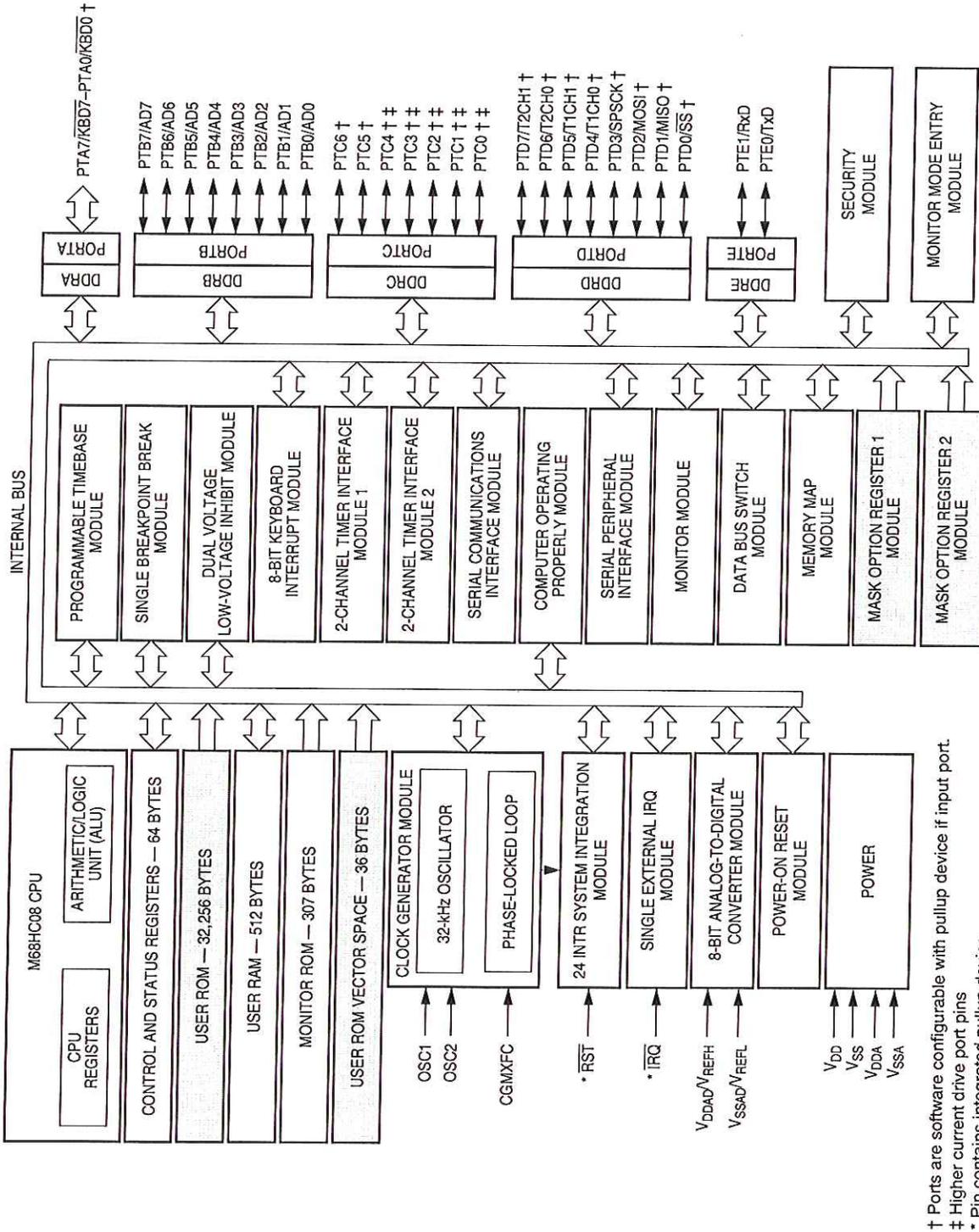
This section introduces the MC68HC08GP32, the ROM part equivalent to the MC68HC908GP32. The entire data book apply to this ROM device, with exceptions outlined in this appendix.

Table A-1. Summary of MC68HC08GP32 and MC68HC908GP32 differences

	MC68HC08GP32	MC68HC908GP32
Memory (\$8000-\$FDFF)	32,256 bytes ROM	32,256 bytes FLASH
User vectors (\$FFDC-\$FFFF)	36 bytes ROM	36 bytes FLASH
Registers at \$001E and \$001F	Mask option registers; defined by mask; read only. \$001E — MOR2 \$001F — MOR1	Configuration registers; write once after reset. \$001E — CONFIG2 \$001F — CONFIG1
Registers at \$FE08 and \$FF7E	Not used; locations are reserved	FLASH related registers. \$FE08 — FLCR \$FF7E — FLBPR
Bit 2 at \$FE01	Not used; bit is reserved	MODRST: monitor mode entry by blank reset vector bit.
Monitor ROM (\$FE20-\$FF52)	Used for testing purposes only.	Used for testing and FLASH programming/erasing.
Available Packages	42-pin SDIP 44-pin QFP	40-pin PDIP 42-pin SDIP 44-pin QFP

A.3 MCU Block Diagram

Figure A-1 shows the block diagram of the MC68HC08GP32.



† Ports are software configurable with pullup device if input port.
 ‡ Higher current drive port pins
 * Pin contains integrated pullup device
 □ Shaded blocks indicate differences to MC68HC908GP32

Figure A-1. MC68HC08GP32 Block Diagram

A.4 Memory Map

The MC68HC08GP32 has 32,256 bytes of user ROM from \$8000 to \$FDFF, and 36 bytes of user ROM vectors from \$FE00 to \$FE0B. On the MC68HC908GP32, these memory locations are FLASH memory.

Figure A-2 shows the memory map of the MC68HC08GP32.

\$0000	I/O Registers 64 Bytes
↓	
\$003F	RAM 512 Bytes
↓	
\$0040	Unimplemented 32,192 Bytes
↓	
\$023F	ROM 32,256 Bytes
↓	
\$0240	SIM Break Status Register (SBSR)
↓	
\$7FFF	SIM Reset Status Register (SRSR)
\$8000	Reserved (SUBAR)
↓	SIM Break Flag Control Register (SBFCR)
\$FDFF	Interrupt Status Register 1 (INT1)
\$FE00	Interrupt Status Register 2 (INT2)
\$FE01	Interrupt Status Register 3 (INT3)
\$FE02	Reserved
\$FE03	Reserved
\$FE09	Break Address Register High (BRKH)
\$FE0A	Break Address Register Low (BRKL)
\$FE0B	Break Status and Control Register (BRKSCR)

Figure A-2. MC68HC08GP32 Memory Map

\$FE0C	LVI Status Register (LVISR)
\$FE0D	Unimplemented 3 Bytes
↓	
\$FE0F	Unimplemented 16 Bytes Reserved for Compatibility with Monitor Code for A-Family Parts
\$FE10	
↓	
\$FE1F	Monitor ROM 307 Bytes
\$FE20	
↓	
\$FF52	
\$FF53	Unimplemented 43 Bytes
↓	
\$FF7D	Reserved
\$FF7E	
\$FF7F	Unimplemented 93 Bytes
↓	
\$FFDB	
\$FFDC	ROM Vectors 36 Bytes
↓	
\$FFFF	

Note: \$FFF6–\$FFFD reserved for 8 security bytes

Figure A-2. MC68HC08GP32 Memory Map (Continued)

A.5 Mask Option Registers

The two mask option registers at \$001E and \$001F (see **Figure A-3** and **Figure A-4**) are read-only registers. They are defined by mask options (hard-wired connections) specified at the same time as the ROM code submission.

On the MC68HC908GP32, these two registers are called configuration registers (CONFIG2 and CONFIG1).

Address: \$001E

	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
Read:	0	0	0	0	0	0	OSC-STOPENB	SCIBD-SRC
Write:								
Reset:	Mask defined							

Figure A-3. Mask Option Register 2 (MOR2)

Address: \$001F

	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
Read:	COPRS	LVISTOP	LVIRSTD	LVIPWRD	LVI5OR3	SSREC	STOP	COPD
Write:								
Reset:	Mask defined							

Figure A-4. Mask Option Register 1 (MOR1)

The bit functions for these two registers are the same as the configuration registers in MC68HC908GP32 (see **Section 8. Configuration Register (CONFIG)**).

A.6 Reserved Registers

The two registers at \$FE08 and \$FF7E are reserved locations on the MC68HC08GP32.

On the MC68HC908GP32, these two locations are the FLASH control register and the FLASH block protect register respectively.

A.7 Monitor ROM

The monitor program (monitor ROM, \$FE20–\$FF52) on the MC68HC08GP32 is for device testing only.

The monitor mode entry by blank reset vector bit, MODRST bit (bit 2 at \$FE01), is not used in the ROM device — the reset vector will always contain data in the MC68HC08GP32.

A.8 Electrical Specifications

Electrical specifications for the MC68HC908GP32 apply to the MC68HC08GP32, except for the parameters indicated below.

A.8.1 Functional Operating Range

Characteristic	Symbol	Value			Unit
		C	V	M	
Operating temperature range	T_A	-40 to +85	-40 to +105	-40 to +125	°C
Operating voltage range	V_{DD}	3V ± 10%	3V ± 10%	—	V
		5V ± 10%	5V ± 10%	5V ± 10%	

A.8.2 5.0-V DC Electrical Characteristics

Characteristic ⁽¹⁾	Symbol	Min	Typ ⁽²⁾	Max	Unit
V_{DD} supply current					
Run ⁽³⁾		—	15	20	mA
Wait ⁽⁴⁾		—	4	8	mA
Stop ⁽⁵⁾					
25 °C	I_{DD}	—	2	—	µA
25 °C with TBM enabled ⁽⁶⁾		—	20	—	µA
25 °C with LVI and TBM enabled ⁽⁶⁾		—	300	—	µA
-40 °C to 125 °C		—	—	35	µA
-40 °C to 85 °C with TBM enabled ⁽⁶⁾		—	50	—	µA
-40 °C to 85 °C with LVI and TBM enabled ⁽⁶⁾		—	500	—	µA
Low-voltage inhibit, trip falling voltage	V_{TRIPF}	3.90	4.25	4.50	V
Low-voltage inhibit, trip rising voltage	V_{TRIPR}	4.00	4.35	4.60	V
Low-voltage inhibit reset/recover hysteresis ($V_{TRIPF} + V_{HYS} = V_{TRIPR}$)	V_{HYS}	—	100	—	mV

Notes:

- $V_{DD} = 5.0 \text{ Vdc} \pm 10\%$, $V_{SS} = 0 \text{ Vdc}$, $T_A = T_L$ to T_H , unless otherwise noted
- Typical values reflect average measurements at midpoint of voltage range, 25 °C only.
- Run (operating) I_{DD} measured using external square wave clock source ($f_{OSC} = 32.8 \text{ MHz}$). All inputs 0.2V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. $C_L = 20 \text{ pF}$ on OSC2. All ports configured as inputs. OSC2 capacitance linearly affects run I_{DD} . Measured with all modules enabled.
- Wait I_{DD} measured using external square wave clock source ($f_{OSC} = 32.8 \text{ MHz}$). All inputs 0.2 V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. $C_L = 20 \text{ pF}$ on OSC2. All ports configured as inputs. OSC2 capacitance linearly affects wait I_{DD} . Measured with PLL and LVI enabled.
- Stop I_{DD} is measured with $OSC1 = V_{SS}$.
- Stop I_{DD} with TBM enabled is measured using an external square wave clock source ($f_{OSC} = 32.8 \text{ MHz}$). All inputs 0.2V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. All inputs configured as inputs.

A.8.3 3.0-V DC Electrical Characteristics

Characteristic ⁽¹⁾	Symbol	Min	Typ ⁽²⁾	Max	Unit
V _{DD} supply current					
Run ⁽³⁾		—	5.2	8	mA
Wait ⁽⁴⁾		—	1.65	4	mA
Stop ⁽⁵⁾					
25 °C		—	1	—	μA
25 °C with TBM enabled ⁽⁶⁾	I _{DD}	—	12	—	μA
25 °C with TBM enabled ⁽⁷⁾		—	25	—	μA
25 °C with LVI and TBM enabled ⁽⁶⁾		—	200	—	μA
-40 °C to 85 °C		—	—	5	μA
-40 °C to 85 °C with TBM enabled ⁽⁷⁾		—	—	50	μA
-40 °C to 85 °C with LVI and TBM enabled ⁽⁶⁾		—	300	—	μA
Low-voltage inhibit, trip falling voltage	V _{TRIPF}	2.45	2.60	2.70	V
Low-voltage inhibit, trip rising voltage	V _{TRIPR}	2.50	2.66	2.80	V
Low-voltage inhibit reset/recover hysteresis (V _{TRIPF} + V _{HYS} = V _{TRIPR})	V _{HYS}	—	60	—	mV

Notes:

- V_{DD} = 3.0 Vdc ± 10%, V_{SS} = 0 Vdc, T_A = T_L to T_H, unless otherwise noted
- Typical values reflect average measurements at midpoint of voltage range, 25 °C only.
- Run (operating) I_{DD} measured using external square wave clock source (f_{OSC} = 16.4 MHz). All inputs 0.2V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. C_L = 20 pF on OSC2. All ports configured as inputs. OSC2 capacitance linearly affects run I_{DD}. Measured with all modules enabled.
- Wait I_{DD} measured using external square wave clock source (f_{OSC} = 16.4 MHz). All inputs 0.2 V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. C_L = 20 pF on OSC2. All ports configured as inputs. OSC2 capacitance linearly affects wait I_{DD}. Measured with PLL and LVI enabled.
- Stop I_{DD} is measured with OSC1 = V_{SS}.
- Stop I_{DD} with TBM enabled is measured using an external square wave clock source (f_{OSC} = 16.4 MHz). All inputs 0.2V from rail. No dc loads. Less than 100 pF on all outputs. All inputs configured as inputs.
- Measured with TBM enabled using 32kHz crystal.

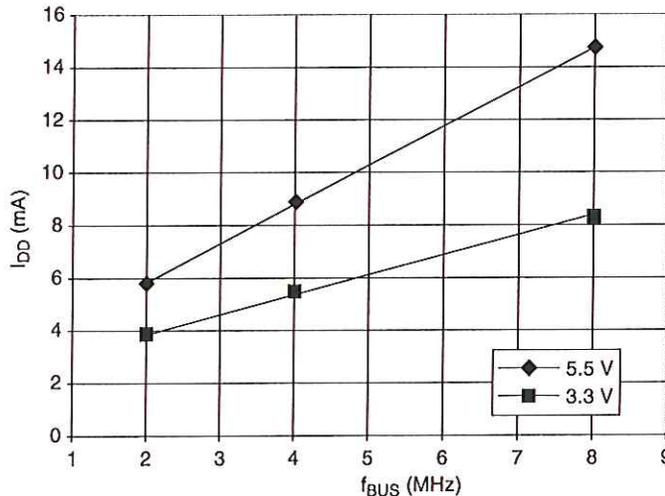


Figure A-5. Typical Operating I_{DD}

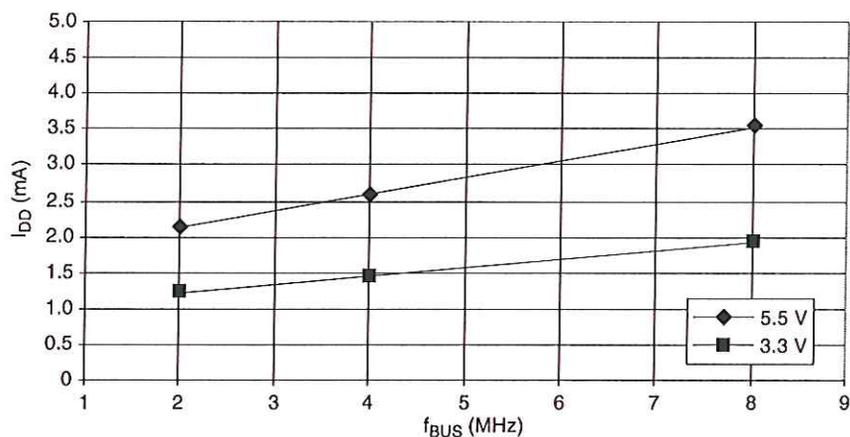


Figure A-6. Typical Wait Mode I_{DD}

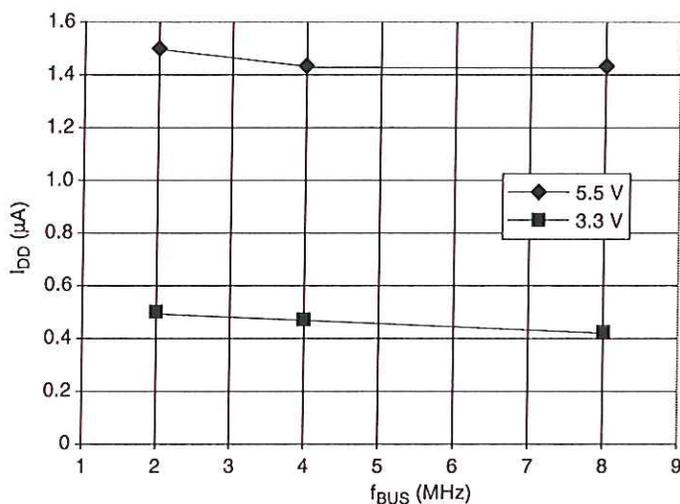


Figure A-7. Typical Stop Mode I_{DD}

A.8.4 Memory Characteristics

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
RAM data retention voltage	V _{RDR}	1.3	—	V

Notes:

Since MC68HC08GP32 is a ROM device, FLASH memory electrical characteristics do not apply.

A.9 ROM MC Order Numbers

These part numbers are generic numbers only. To place an order, ROM code must be submitted to the ROM Processing Center (RPC).

Table A-2. ROM MC Order Numbers

MC order number	Operating temperature range	Package
MC68HC08GP32CB	-40 °C to +85 °C	42-pin SDIP
MC68HC08GP32VB	-40 °C to +105 °C	
MC68HC08GP32MB ⁽¹⁾	-40 °C to +125 °C	
MC68HC08GP32CFB	-40 °C to +85 °C	44-pin QFP
MC68HC08GP32VFB	-40 °C to +105 °C	
MC68HC08GP32MFB ⁽¹⁾	-40 °C to +125 °C	

Notes:

1. Temperature grade "M" is available for 5V operating voltage only.

A . CORREAS

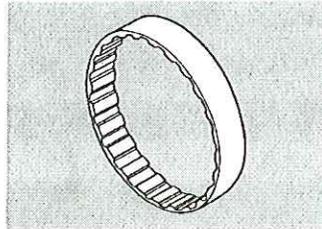
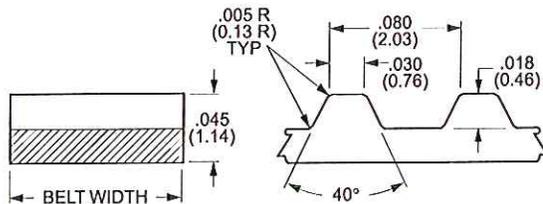
Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" & 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ NEOPRENE

■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:		Width Code	Belt Width	Example
INCH	A 6Z16-□□□□□□	012	1/8	A 6Z16-041018 is a 41 Groove 3/16" Wide Belt.
	No. of Grooves (See tables below)	018	3/16	
	Width Code (See right)	025	1/4	
		031	5/16	
		037	3/8	
METRIC	A 6Z16M□□□□□□	030	3 mm	A 6Z16M085045 is an 85 Groove 4.5 mm Wide Belt.
	No. of Grooves (See tables below)	045	4.5 mm	
	Width Code (See right)	060	6 mm	
		080	8 mm	
		095	9.5 mm	

1 - TIMING BELTS

MATERIAL: Nylon Covered, Fiberglass Reinforced, Neoprene

BREAKING STRENGTH: 51 lbs. per 1/8" (72 N per 1 mm) belt width; not representative of the load-carrying capacity of the belt.

WORKING TENSION: 18 lbs. for 1" belt (80 N for 25.4 mm belt). For more on Working Tension, see the technical section.

TEMPERATURE RANGE: -30°F to +185°F (-34°C to +85°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
36	2.88	73.15
40	3.20	81.28
*41	3.28	83.31
42	3.36	85.34
44	3.52	89.41
45	3.60	91.44
47	3.76	95.5
48	3.84	97.54
49	3.92	99.57
50	4.00	101.6
52	4.16	105.66
53	4.24	107.7
54	4.32	109.73
55	4.40	111.76
56	4.48	113.79
57	4.56	115.82
58	4.64	117.86
59	4.72	119.89

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
60	4.80	121.92
61	4.88	123.95
62	4.96	125.98
63	5.04	128.02
64	5.12	130.05
65	5.20	132.08
67	5.36	136.14
68	5.44	138.18
69	5.52	140.21
70	5.60	142.24
71	5.68	144.27
72	5.76	146.3
73	5.84	148.34
74	5.92	150.37
75	6.00	152.4
76	6.08	154.43
77	6.16	156.46
79	6.32	160.53

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
80	6.40	162.56
81	6.48	164.59
82	6.56	166.62
83	6.64	168.66
84	6.72	170.69
85	6.80	172.72
86	6.88	174.75
87	6.96	176.78
88	7.04	178.82
90	7.20	182.88
91	7.28	184.91
92	7.36	186.94
93	7.44	188.98
94	7.52	191.01
95	7.60	193.04
97	7.76	197.1
98	7.84	199.14
99	7.92	201.17

*Will be discontinued when present stock is depleted.

Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
Pulleys are available with Inch or metric standards.

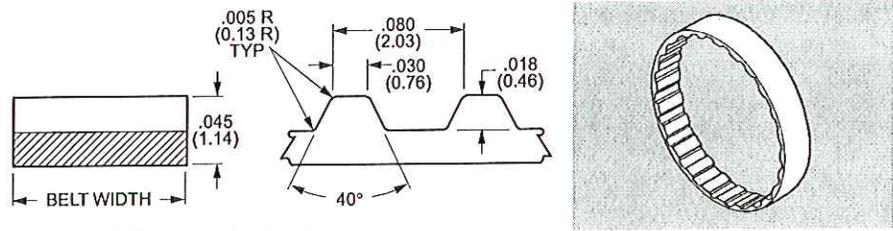
Continued on the next page

Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" & 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ NEOPRENE ■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:		Width Code	Belt Width	Example
I N C H	A 6Z16- <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	012	1/8	A 6Z16-216012 is a 216 Groove 1/8" Wide Belt.
	No. of Grooves (See tables below)	018	3/16	
	Width Code (See right)	025	1/4	
		031	5/16	
		037	3/8	
M E T R I C	A 6Z16M <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	030	3 mm	A 6Z16M130095 is a 130 Groove 9.5 mm Wide Belt.
	No. of Grooves (See tables below)	045	4.5 mm	
	Width Code (See right)	060	6 mm	
		080	8 mm	
		095	9.5 mm	

MATERIAL: Nylon Covered, Fiberglass Reinforced, Neoprene
BREAKING STRENGTH: 51 lbs. per 1/8" (72 N per 1 mm) belt width; not representative of the load-carrying capacity of the belt.
WORKING TENSION: 18 lbs. for 1" belt (80 N for 25.4 mm belt). For more on Working Tension, see the technical section.
TEMPERATURE RANGE: -30°F to +185°F (-34°C to +85°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
100	8.00	203.2
101	8.08	205.23
102	8.16	207.26
103	8.24	209.3
104	8.32	211.33
105	8.40	213.36
106	8.48	215.39
107	8.56	217.42
108	8.64	219.46
109	8.72	221.49
110	8.80	223.52
112	8.96	227.58
114	9.12	231.65
115	9.20	233.68
118	9.44	239.78
119	9.52	241.81
120	9.60	243.84
*121	9.68	245.87

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
122	9.76	247.9
123	9.84	249.94
125	10.00	254
126	10.08	256.03
127	10.16	258.06
128	10.24	260.1
129	10.32	262.13
130	10.40	264.16
131	10.48	266.19
132	10.56	268.22
134	10.72	272.29
*138	11.04	280.42
139	11.12	282.45
140	11.20	284.48
142	11.36	288.54
144	11.52	292.61
145	11.60	294.64
146	11.68	296.67

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
147	11.76	298.7
149	11.92	302.77
150	12.00	304.8
153	12.24	310.9
155	12.40	314.96
156	12.48	316.99
158	12.64	321.06
160	12.80	325.12
162	12.96	329.18
165	13.20	335.28
166	13.28	337.31
170	13.60	345.44
171	13.68	347.47
175	14.00	355.6
177	14.16	359.66
180	14.40	365.76
184	14.72	373.89
190	15.20	386.08

* Will be discontinued when present stock is depleted. Continued on the next page
 Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
 Pulleys are available with inch or metric standards.

1 - TIMING BELTS

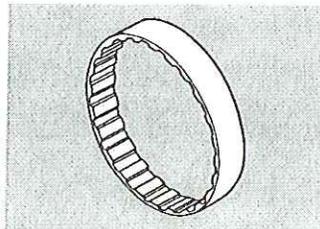
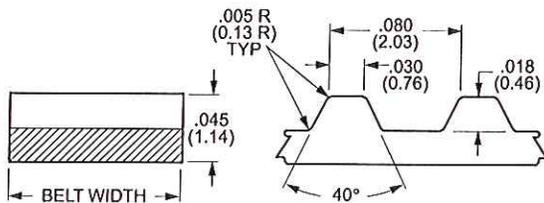
Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" & 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ NEOPRENE

■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:		Width Code	Belt Width	Example
I N C H	A 6Z16- <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	012	1/8	A 6Z16-463037 is a 463 Groove 3/8" Wide Belt.
	No. of Grooves	018	3/16	
	(See tables below)	025	1/4	
	Width Code	031	5/16	
	(See right)	037	3/8	
M E T R I C	A 6Z16M <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	030	3 mm	A 6Z16M648060 is a 648 Groove 6 mm Wide Belt.
	No. of Grooves	045	4.5 mm	
	(See tables below)	060	6 mm	
	Width Code	080	8 mm	
	(See right)	095	9.5 mm	

MATERIAL: Nylon Covered, Fiberglass Reinforced, Neoprene

BREAKING STRENGTH: 51 lbs. per 1/8" (72 N per 1 mm) belt width; not representative of the load-carrying capacity of the belt.

WORKING TENSION: 18 lbs. for 1" belt (80 N for 25.4 mm belt). For more on Working Tension, see the technical section.

TEMPERATURE RANGE: -30°F to +185°F (-34°C to +85°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
192	15.36	390.14
194	15.52	394.21
195	15.60	396.24
200	16.00	406.4
203	16.24	412.5
204	16.32	414.53
208	16.64	422.66
210	16.80	426.72
212	16.96	430.78
216	17.28	438.91
221	17.68	449.07
222	17.76	451.1
224	17.92	455.17
225	18.00	457.2
226	18.08	459.23
228	18.24	463.3
229	18.32	465.33
*230	18.40	467.36

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
232	18.56	471.42
235	18.80	477.52
236	18.88	479.55
239	19.12	485.65
240	19.20	487.68
245	19.60	497.84
248	19.84	503.94
249	19.92	505.97
250	20.00	508
251	20.08	510.03
256	20.48	520.19
260	20.80	528.32
265	21.20	538.48
267	21.36	542.54
268	21.44	544.58
273	21.84	554.74
280	22.40	568.96
281	22.48	570.99

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
288	23.04	585.22
290	23.20	589.28
295	23.60	599.44
297	23.76	603.50
298	23.84	605.54
300	24.00	609.6
305	24.40	619.76
308	24.64	625.86
310	24.80	629.92
312	24.96	633.98
315	25.20	640.08
318	25.44	646.18
320	25.60	650.24
323	25.84	656.34
324	25.92	658.37
328	26.24	666.5
332	26.56	674.62
336	26.88	682.75

* Will be discontinued when present stock is depleted.

Continued on the next page

Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
Pulleys are available with inch or metric standards.

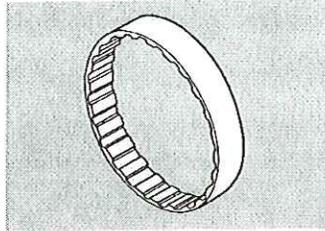
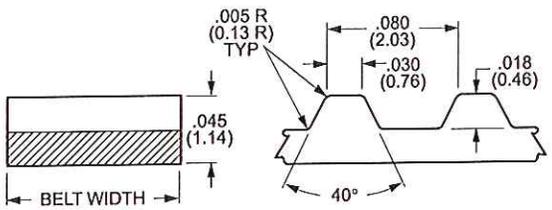
1 - TIMING BELTS

Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" & 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ NEOPRENE ■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:		Width Code	Belt Width	Example
I N C H	A 6Z16- <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	012	1/8	A 6Z16-463037 is a 463 Groove 3/8" Wide Belt.
	No. of Grooves — Width Code	018	3/16	
	(See tables below) (See right)	025	1/4	
		031	5/16	
		037	3/8	
M E T R I C	A 6Z16M <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	030	3 mm	A 6Z16M648060 is a 648 Groove 6 mm Wide Belt.
	No. of Grooves — Width Code	045	4.5 mm	
	(See tables below) (See right)	060	6 mm	
		080	8 mm	
		095	9.5 mm	

MATERIAL: Nylon Covered, Fiberglass Reinforced, Neoprene
BREAKING STRENGTH: 51 lbs. per 1/8" (72 N per 1 mm) belt Width; not representative of the load-carrying capacity of the belt.
WORKING TENSION: 18 lbs. for 1" belt (80 N for 25.4 mm belt). For more on Working Tension, see the technical section.
TEMPERATURE RANGE: -30°F to +185°F (-34°C to +85°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
337	26.96	684.78
339	27.12	688.85
343	27.44	696.98
347	27.76	705.1
353	28.24	717.3
354	28.32	719.33
355	28.40	721.36
358	28.64	727.46
359	28.72	729.49
360	28.80	731.52
364	29.12	739.65
365	29.20	741.68
371	29.68	753.87
372	29.76	755.9
380	30.40	772.16
388	31.04	788.42
390	31.20	792.48

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
397	31.76	806.7
400	32.00	812.8
402	32.16	816.86
408	32.64	829.06
412	32.96	837.18
413	33.04	839.22
420	33.60	853.44
424	33.92	861.57
425	34.00	863.6
431	34.48	875.79
434	34.72	881.89
435	34.80	883.92
440	35.20	894.08
453	36.24	920.5
463	37.04	940.82
464	37.12	942.85
466	37.28	946.91

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
475	38.00	965.2
487	38.96	989.58
488	39.04	991.62
493	39.44	1001.78
498	39.84	1011.94
500	40.00	1016
505	40.40	1026.16
532	42.56	1081.02
535	42.80	1087.12
546	43.68	1109.47
548	43.84	1113.54
592	47.36	1202.94
600	48.00	1219.2
612	48.96	1243.58
648	51.84	1316.74

Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
Pulleys are available with inch or metric standards.

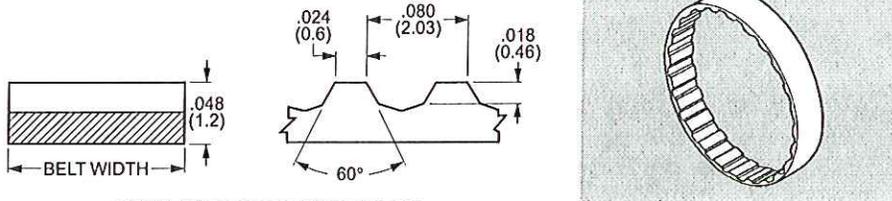
1 - TIMING BELTS

Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" or 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ POLYURETHANE ■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:				Width Code	Belt Width	Example
I N C H	A 6 □ 16 - □ □ □ □ □ □			012	1/8	A 6G16-045031 is a 45 Groove 5/16" Wide Belt with Polyester Cord.
	Polyester Cord G	No. of Grooves		018	3/16	
	Kevlar Cord B	Width Code		025	1/4	
	(See tables below)		(See right)	031	5/16	
	(See tables below)		(See right)	037	3/8	
M E T R I C	A 6 □ 16 M □ □ □ □ □ □			030	3 mm	A 6B16M035095 is a 35 Groove 9.5 mm Wide Belt with Kevlar Cord.
	Polyester Cord G	No. of Grooves		045	4.5 mm	
	Kevlar Cord B	Width Code		060	6 mm	
	(See tables below)		(See right)	080	8 mm	
	(See tables below)		(See right)	095	9.5 mm	

1 - TIMING BELTS

MATERIAL: Body - Polyurethane; Cord - Polyester Balanced Construction or Kevlar
COLOR: Polyester - Orange; Kevlar - Gray
^Δ**BREAKING STRENGTH:** Polyester: < 155 Grooves - 40 lbs. per 1/8" (56 N per 1 mm) Belt Width
 ≥ 155 Grooves - 80 lbs. per 1/8" (112 N per 1 mm) Belt Width
 Kevlar: < 155 Grooves - 80 lbs. per 1/8" (112 N per 1 mm) Belt Width
 ≥ 155 Grooves - 130 lbs. per 1/8" (182 N per 1 mm) Belt Width
TEMPERATURE RANGE: Continuous: 0°F to +185°F (-18°C to +85°C)
 Intermittent: up to +250°F (+121°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
30	2.40	60.96
35	2.80	71.12
36	2.88	73.15
40	3.20	81.28
45	3.60	91.44
46	3.68	93.47
48	3.84	97.53
50	4.00	101.6
51	4.08	103.63
54	4.32	109.6
55	4.40	111.76
60	4.80	121.92
61	4.88	123.95
64	5.12	130.05
65	5.20	132.08
68	5.44	138.18
70	5.60	142.24
71	5.68	144.27
73	5.84	148.34

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
75	6.00	152.4
78	6.24	158.5
79	6.32	160.53
80	6.40	162.56
82	6.56	166.62
83	6.64	168.66
85	6.80	172.72
87	6.96	176.78
88	7.04	178.82
*89	7.12	180.85
90	7.20	182.88
91	7.28	184.91
93	7.44	188.98
95	7.60	193.04
97	7.76	197.1
100	8.00	203.2
102	8.16	207.26
103	8.24	209.3
105	8.40	213.36

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
106	8.48	215.39
110	8.80	223.52
112	8.96	227.58
114	9.12	231.65
115	9.20	233.68
118	9.44	239.77
120	9.60	243.84
122	9.76	247.9
123	9.84	249.93
125	10.00	254
126	10.08	256.03
130	10.40	264.16
132	10.56	268.22
135	10.80	274.32
140	11.20	284.48
144	11.52	292.61
145	11.60	294.64
150	12.00	304.8
155	12.40	314.96

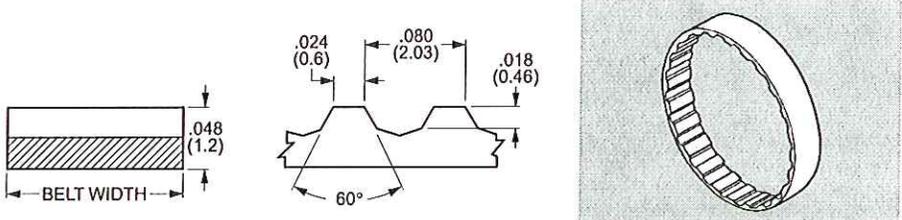
* This belt not available with Kevlar cord. Continued on the next page
^Δ Breaking strength is not representative of the load-carrying capacity of the belt.
 Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
 Pulleys are available with inch or metric standards.

Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Timing Belts - .080" or 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ POLYURETHANE ■ 1/8, 3/16, 1/4, 5/16 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6, 8 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:			Width Code	Belt Width	Example	
I N C H	A 6 <input type="checkbox"/> 16 - <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			012	1/8	A 6G16-270031 is a 270 Groove 5/16" Wide Belt with Polyester Cord.
	Polyester Cord G	No. of Grooves	Width Code	018	3/16	
	Kevlar Cord B			025	1/4	
	(See tables below) (See right)			031	5/16	
				037	3/8	
M E T R I C	A 6 <input type="checkbox"/> 16 M <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			030	3 mm	A 6B16M160095 is a 160 Groove 9.5 mm Wide Belt with Kevlar Cord.
	Polyester Cord G	No. of Grooves	Width Code	045	4.5 mm	
	Kevlar Cord B			060	6 mm	
	(See tables below) (See right)			080	8 mm	
				095	9.5 mm	

MATERIAL: Body - Polyurethane; Cord - Polyester Balanced Construction or Kevlar
COLOR: Polyester - Orange; Kevlar - Gray
Δ BREAKING STRENGTH: Polyester: < 155 Grooves - 40 lbs. per 1/8" (56 N per 1 mm) Belt Width
 ≥ 155 Grooves - 80 lbs. per 1/8" (112 N per 1 mm) Belt Width
 Kevlar: < 155 Grooves - 80 lbs. per 1/8" (112 N per 1 mm) Belt Width
 ≥ 155 Grooves - 130 lbs. per 1/8" (182 N per 1 mm) Belt Width
TEMPERATURE RANGE: Continuous: 0°F to +185°F (-18°C to +85°C)
 Intermittent: up to +250°F (+121°C)

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
160	12.80	325.12
165	13.20	335.28
170	13.60	345.44
175	14.00	355.6
180	14.40	365.76
184	14.72	373.88
185	14.80	375.92
190	15.20	386.08
195	15.60	396.24
200	16.00	406.4
205	16.40	416.56
210	16.80	426.72
212	16.96	430.78
215	17.20	436.88
220	17.60	447.04
225	18.00	457.2
230	18.40	467.36

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
235	18.80	477.52
240	19.20	487.68
245	19.60	497.84
249	19.92	505.97
250	20.00	508
255	20.40	518.16
260	20.80	528.32
265	21.20	538.48
270	21.60	548.64
275	22.00	558.8
280	22.40	568.96
285	22.80	579.12
290	23.20	589.28
295	23.60	599.44
300	24.00	609.6
310	24.80	629.92
315	25.20	640.08

No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm
320	25.60	650.24
324	25.92	658.37
330	26.40	670.56
340	27.20	690.88
350	28.00	711.2
360	28.80	731.52
370	29.60	751.84
380	30.40	772.16
390	31.20	792.48
400	32.00	812.8
403	32.24	818.9
434	34.72	881.89
454	36.32	922.53
482	38.56	979.42
502	40.16	1020.06
515	41.20	1046.48
* 1500	120.00	3048

Δ Breaking strength is not representative of the load-carrying capacity of the belt.
 Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
 Pulleys are available with inch or metric standards.

* The part number for this length belt is A 6 16 15C

1 - TIMING BELTS

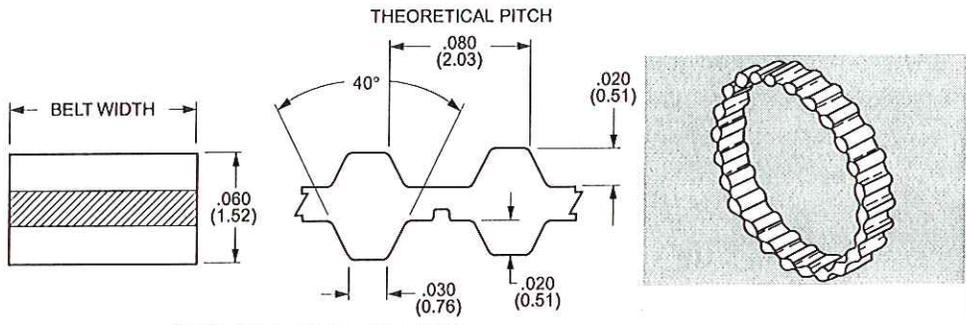
UNAR - BIRLOTTI

Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric Inch/Metric

SDPSI MXL Double-Sided Belts - .080" or 2.03 mm Pitch

Stock Drive Products/Sterling Instrument Phone: 516-328-3300 Fax: 516-326-8827

■ POLYURETHANE ■ 1/8, 3/16, 1/4 & 3/8 INCH - 3, 4.5, 6 & 9.5 mm WIDE



NOTE: Dimensions in () are mm size.

CATALOG NUMBER DESIGNATION:		Width Code	Belt Width	Example
I N C H	A 6 B 16 - D <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	012	1/8	A 6B16-D155025 is a 155 Groove 1/4" Wide Belt.
	No. of Grooves Width Code (See tables below) (See right)	018	3/16	
		025	1/4	
		037	3/8	
M E T R I C	A 6 B 16 M D <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	030	3 mm	A 6B16MD475045 is a 475 Groove 4.5 mm Wide Belt.
	No. of Grooves Width Code (See tables below) (See right)	045	4.5 mm	
		060	6 mm	
		095	9.5 mm	

MATERIAL: Body - Polyurethane
 Cord - Kevlar
COLOR: Transparent Amber
^Δ**BREAKING STRENGTH:** < 155 Grooves - 80 lbs. per 1/8" (112 N per 1 mm) Belt Width
 ≥ 155 Grooves - 130 lbs. per 1/8" (182 N per 1 mm) Belt Width
TEMPERATURE RANGE: Continuous: 0°F to +180°F (-18°C to +82°C)
 Intermittent: up to +248°F (+120°C)

No. of Grooves	Pitch Length		No. of Grooves	Pitch Length	
	Inch	mm		Inch	mm
132	10.56	268.22	195	15.60	396.24
136	10.88	276.35	200	16.00	406.4
145	11.60	294.64	212	16.96	430.78
150	12.00	304.80	236	18.88	479.55
155	12.40	314.96	250	20.00	508
160	12.80	325.12	265	21.20	538.48
165	13.20	335.28	300	24.00	609.6
170	13.60	345.44	315	25.20	640.08
175	14.00	355.6	355	28.40	721.36
180	14.40	365.76	400	32.00	812.8
185	14.80	375.92	475	38.00	965.2
190	15.20	386.08	500	40.00	1016

^Δ Breaking Strength is not representative of the load-carrying capacity of the belt.
 Special Widths - cut to size from sleeves available from stock.
 Pulleys are available with inch or metric standards.

1 - TIMING BELTS

A 2. PROGRAMAS DE LOS MICROCONTROLADORES

```
$INCLUDE 'GPGTREGS.INC'
```

```
***** ADDRESS MEMORY *****
```

```
RAM      EQU  $0040      ;START RAM
FLASH    EQU  $8000      ;This would be $8000 for the GP32
MESSAGES EQU  $B000      ;MESSAGES (They are in Flash space)
ADC      EQU  $FFDE      ;ADC CONVERSION COMPLETE VECTOR (HIGH)
KBINTERRUPT EQU $FFE0    ;KEYBOARD VECTOR (HIGH)
TIMER2INT EQU $FFEC     ;TIM2 OVERFLOW VECTOR (HIGH)
TIMER1INT EQU $FFF2     ;TIM1 OVERFLOW VECTOR (HIGH)
RESET    EQU  $FFFE      ;RESET VECTOR (HIGH)
```

```
***** FLAG BITS *****
```

```
COPD     EQU  0          ;0 BIT CONFIG1 ENABLE/DISABLE WATCHDOG

RS       EQU  0          ;LCD CONTROL (SELECT DATA/CONTROL) (PORT C PIN 0)
RW       EQU  1          ;LCD CONTROL (READ/WRITE) (PORT C PIN 1)
E        EQU  2          ;LCD CONTROL (ENABLE) (PORT C PIN 2)
LCDBL    EQU  3          ;LCD BACKLIGHT CONTROL (ON/OFF) (PORT C PIN 3)

MODEK    EQU  0          ;FLAGS OF KBI
IMASKK   EQU  1          ;FLAGS OF KBI
ACKK     EQU  2          ;FLAGS OF KBI
KEYF     EQU  3          ;FLAGS OF KBI

BCS      EQU  4          ;SELECT BIT CLOCK BASE

TRST     EQU  4          ;TIM RESET BIT
TSTOP    EQU  5          ;TIM STOP BIT
TOIE     EQU  6          ;TIM OVERFLOW INTERRUPT ENABLE BIT
TOF      EQU  7          ;TIM OVERFLOW FLAG BIT
```

```
***** VARIABLES ALMACENADAS EN MEMORIA RAM *****
```

```
ORG RAM
NUM1     RMB  1          ;Esta variable se utiliza SI se utilizan las funciones de retardos
NUM2     RMB  1          ;Esta variable se utiliza SI se utilizan las funciones de retardos
NUM3     RMB  1          ;Esta variable se utiliza SI se utilizan las funciones de retardos
CARACTER RMB  1          ;ALMACENA EL CARACTER QUE VA A SER ENVIADO
COUNTCHAR RMB 1        ;ALMACENA LA POSICION DONDE SE ALMACENARA EL CARACTER
MENSAJE  RMB  1          ;ALMACENA LA DIRECCION DE UN MENSAJE
CONT     RMB  1          ;Cuenta cada uno de los caracteres que se va a enviar en un mensaje
COLUMN   RMB  1          ;GARDA UN VALOR PAR LA ROTACION DE UN BIT PARA EL MANEJO DEL
TECLADO
KBOARDIN RMB  1          ;ALMACENA EL DATO QUE ENTRA POR EL TECLADO
TECLAPRES RMB 1         ;ALMACENA EL NUMERO DEL COMPONENTE EN EL VECTOR ASCII
```

```
***** MENSAJES ALMACENADOS EN UNA PARTE DE LA MEMORIA FLASH; SE UTILIZA LA FLASH
COMO RAM ****
```

```
ORG MESSAGES
MSG0     FDB  'INICIANDO... '
MSG1     FDB  'ESPERANDO ORDEN'
MSG2     FDB  ' '
MSG3     FDB  ' ST DOF '
MSG4     FDB  'GRIPPER '
MSG5     FDB  'MENSAJE 05'
MSG6     FDB  'MENSAJE 06'
```

```

MSG7      FDB  'MENSAJE  07'
MSG8      FDB  'MENSAJE  08'
MSG9      FDB  'MENSAJE  09'
MSGA      FDB  'MENSAJE  0A'
MSGB      FDB  'MENSAJE  0B'
MSGC      FDB  'MENSAJE  0C'
MSGD      FDB  'MENSAJE  0D'

```

***** INICIACION DEL PROGRAMA EN LA MEMORIA FLASH *****

```

ORG FLASH
NUMBERS   DB  %11101110  ;EE, D
          DB  %11101101  ;ED, C
          DB  %11101011  ;EB, B
          DB  %11100111  ;E7, A
          DB  %11011110  ;DE, #
          DB  %11011101  ;DD, 9
          DB  %11011011  ;DB, 6
          DB  %11010111  ;D7, 3
          DB  %10111110  ;BE, 0
          DB  %10111101  ;BD, 8
          DB  %10111011  ;BB, 5
          DB  %10110111  ;B7, 2
          DB  %01111110  ;7E, *
          DB  %01111101  ;7D, 7
          DB  %01111011  ;7B, 4
          DB  %01110111  ;77, 1

```

```

ASCII     DB  'DCBA#9630852*741' ;ASCII CHARACTER OVER KB

```

```

INICIO    RSP
          BSET  COPD,CONFIG1 ;WATCHDOG DISABLE
          CLRA ;CLEAR A
          CLRX ;CLEAR X
          CLRH ;CLEAR H
          MOV  #$FF,PORTA ;LOAD PORT A WHIT FF
          MOV  #$F0,DDRA ;CONFIRATION PORT A 4 MS BITS AS OUT / 4 LS BITS AS IN
          MOV  #$F0,PTAPUE ;ENABLE PULL-UP 4 LS BITS
          MOV  #$00,PORTB
          MOV  #$FF,DDRB ;CONFIGURE PORT B AS OUT
          MOV  #$F0,PORTC ;SECOND NIBLE - LCDBL OFF, LCD DISABLE, RW = WRITE, RS = CONTROL
          MOV  #$FF,DDRC ;CONFIGURE PORT C AS OUT
          MOV  #$00,PORTD
          MOV  #$FF,DDRD
          MOV  #$FC,PORTE
          MOV  #$03,DDRE
          ;TO PREVENT A FALSE INTERRUPT ON KEYBOARD INITIALIZATION
          BSET  IMASKK,INTKBSCR ;MASK KEYBOARD INTERRUPTS
          MOV  #$0F,INTKBIER ;ENABLE THE KBI PINS (FOR THIS CASE 4 LS BITS)
          BSET  ACKK,INTKBSCR ;TO CLEAR ANY FALSE INTERRUPTS
          BCLR  IMASKK,INTKBSCR ;ENABLE KB INTERRUPTS
          BCLR  MODEK,INTKBSCR ;ACTIVACION EN BAJO

```

```

MAIN     JSR  BEGIN
          JSR  LCDBLOFF
          JSR  INICIOLCD ;CONFIGURA LOS TIEMPOS DE INICIALIZACION DEL LCD
          JSR  STARTLCD8B
          JSR  LCDREADY8B
          MOV  #$00,MENSAJE
          JSR  PRINTLINE1
          JSR  FIRSTDELAY
          MOV  #$8B,COUNTCHAR
          LDA  COUNTCHAR
          JSR  LCDCONTROL
          MOV  #' ',CHARACTER

```

```

JSR PRINTCHAR
JSR FIRSTDELAY
MOV #8A,COUNTCHAR
LDA COUNTCHAR
JSR LCDCONTROL
MOV #',CHARACTER
JSR PRINTCHAR
JSR FIRSTDELAY
MOV #8A,COUNTCHAR
LDA COUNTCHAR
JSR LCDCONTROL
MOV #.',CHARACTER
JSR PRINTCHAR
JSR FIRSTDELAY
JSR PRINTCHAR
JSR FIRSTDELAY
JSR PRINTCHAR
JSR BEGIN
CLI ;ENABLE INTERRUPTS
JSR LCDBLON
JSR LCDREADY8B
JSR FIRSTDELAY
MOV #01,MENSAJE
JSR PRINTLINE1

ENDPERFECT JSR ROTACOL
BRA ENDPERFECT

JSR STARTIMER1
JSR STARTIMER2
JSR FIRSTDELAY
MOV #46,T1SC ;ENABLE TIMER1
JSR BEGIN
CLI ;ENABLE INTERRUPTS

FirstF MOV #36,T1SC
MOV #46,T1SC
BRCLR TOF,T1SC,* ;WAIT UNTIL THE TIME IS COMPLETE
MOV #36,T1SC
MOV #46,T1SC

```

***** CARGAR LA VARIABLES CON CERO *****

```

BEGIN CLR NUM1
CLR NUM2
CLR NUM3
CLR CHARACTER
MOV #80,COUNTCHAR
CLR CONT
CLR MENSAJE
MOV #7F,COLUMN
CLR TECLAPRES
ENDBEGIN RTS

```

***** DELAY AND TIMERS *****

```

STARTIMER1 MOV #36,T1SC
MOV #FF,T1MODH
MOV #FF,T1MODL
ENDSTARTIMER1 RTS

STARTIMER2 MOV #36,T2SC
MOV #FF,T2MODH
MOV #FF,T2MODL

```

```

ENDSTARTIMER2 RTS

DELAYS SMALL LDA #\$FF
MIDDELAYS SMALL DECA
                BNE MIDDELAYS SMALL
ENDELAYS SMALL RTS

FIRSTDELAY PSHH
                PSHX
                LDA #\$FF
MIDDELAY LDHX #\$1F
LOOP AIX #-1
                CPHX #\$0
                BNE LOOP
                DECA
                BNE MIDDELAY
                PULX
                PULH
ENDFIRSTDELAY RTS

DELAYMO NOP
                NOP
ENDELAYMO RTS

I2CDELAY NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP
                RTS

RET20MS MOV #\$16,NUM1 ;4 HC08 CYCLES
D20MS2 MOV #\$FF,NUM2 ;4 HC08 CYCLES
D20MS1 DBNZ NUM2,D20MS1 ;5 HC08 CYCLES
                DBNZ NUM1,D20MS2 ;5 HC08 CYCLES
                RTS ;4 HC08 CYCLES
                ;TOTAL CYLCES: 5 * 255 VECES = 1275 CYCLES; 22 * 1275 CYLCES = 28050 CYCLES
                ;+ 4 CYCLES FIRST MOV INSTRUCTION = 4
                ;+ 22 * 4 SECOND MOV INSTRUCTION = 88
                ;+ 22 * 5 SECOND BBNZ INSTRUCTION = 110 SUBTOTAL 110 + 88 + 4 = 202 CYCLES
                ; 28050 + 202 = 28252 CLYCLES
                ;TIME DELAY = 28252 * FREQ XTAL / NUMBER

RET5MS MOV #\$04,NUM1
D5MS2 MOV #\$FF,NUM2
D5MS1 DBNZ NUM2,D5MS1
                DBNZ NUM1,D5MS2
                RTS

RET120US MOV #\$1E,NUM1
D120US DBNZ NUM1,D120US
                RTS

RET75MS MOV #\$48,NUM1
D75MS2 MOV #\$FF,NUM2
D75MS1 DBNZ NUM2,D75MS1
                DBNZ NUM1,D75MS2
                RTS

RET100MS MOV #\$60,NUM1
D100MS2 MOV #\$FF,NUM2
D100MS1 DBNZ NUM2,D100MS1
                Dbnz NUM1,D100MS2
                RTS

```

```
RET145MS MOV #8B,NUM1
D145MS2 MOV #FF,NUM2
D145MS1 DBNZ NUM2,D145MS1
        DBNZ NUM1,D145MS2
        RTS
```

```
RETD270MS MOV #D8,NUM1
D270MS2 MOV #FF,NUM2
D270MS1 NOP
        DBNZ NUM2,D270MS1
        DBNZ NUM1,D270MS2
        RTS
```

```
RET456MS MOV #02,NUM1
D456MS3 MOV #DB,NUM2
D456MS2 MOV #FF,NUM3
D456MS1 DBNZ NUM3,D456MS1
        DBNZ NUM2,D456MS2
        DBNZ NUM1,D456MS3
        RTS
```

```
RET765MS MOV #03,NUM1
D765MS3 MOV #F5,NUM2
D765MS2 MOV #FF,NUM3
D765MS1 DBNZ NUM3,D765MS1
        DBNZ Num2,D765MS2
        DBNZ Num1,D765MS3
        RTS
```

```
RET2150MS MOV #A,NUM1
D2150MS3 MOV #CF,NUM2
D2150MS2 MOV #FF,NUM3
D2150MS1 DBNZ NUM3,D2150MS1
        DBNZ NUM2,D2150MS2
        DBNZ NUM1,D2150MS3
        RTS
```

```
RET3300MS MOV #F,NUM1
D3300MS3 MOV #D4,NUM2
D3300MS2 MOV #FF,NUM3
D3300MS1 DBNZ NUM3,D3300MS1
        DBNZ NUM2,D3300MS2
        DBNZ NUM1,D3300MS3
        RTS
```

***** LCD BACK LIGHT CONTROL *****

```
LCDBLON BSET LCDBL,PORTC ;BACKLIGHT ON
ENDLCDBLON RTS
```

```
LCDBLOFF BCLR LCDBL,PORTC ;BACKLIGHT OFF
ENDLCDBLOFF RTS
```

***** SUBROUTINAS PARA EL MANEJO DEL LCD *****

```
INICIOLCD JSR RET20MS
          LDA #30
          JSR LCDCONTROL
          JSR RET5MS
          LDA #30
          JSR LCDCONTROL
          JSR RET120US
          LDA #30
          JSR LCDCONTROL
ENDINICIOLCD RTS
```

```

LCDCONTROL  STA  PORTB          ;BYTE TO DATA BUS
             BCLR  RS,PORTC      ;RS=0 (CONTROL)
             BCLR  RW,PORTC      ;RW=0 (WRITE)
             BSET  E,PORTC       ;ENABLE INSTRUCTION
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  E,PORTC       ;DISABLE
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  RS,PORTC
ENDLCDCONTROL RTS

LCDDATO     STA  PORTB          ;BYTE TO DATA BUS
             BSET  RS,PORTC      ;RS=1 (DATA)
             BCLR  RW,PORTC      ;RW=0 (WRITE)
             BSET  E,PORTC       ;ENABLE DATA
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  E,PORTC       ;DISABLE
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  RS,PORTC
ENDLCDDATO  RTS

LCDREADBFAC MOV  #$00,DDRB      ;CONFIGURE PORTB AS IN
             BCLR  RS,PORTC      ;RS=0 (CONTROL)
             BSET  RW,PORTC      ;RW=1 (READ)
             BSET  E,PORTC       ;ENABLE SEND
             JSR   DELAYSMALL
             LDA   PORTB
             STA  COUNTCHAR
             BSET  7,COUNTCHAR
             BCLR  E,PORTC       ;DISABLE
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  RS,PORTC
             BCLR  RW,PORTC
             MOV  #$FF,DDRB      ;CONFIGURE PORTB AS OUT
ENDLCDREADBFAC RTS

LCDREADATA  MOV  #$00,DDRB      ;CONFIGURE PORTB AS IN
             BSET  RS,PORTC      ;RS=1 (DATA)
             BSET  RW,PORTC      ;RW=1 (READ)
             BSET  E,PORTC       ;ENABLE SEND
             JSR   DELAYSMALL
             LDA   PORTB
             STA  CHARACTER
             BCLR  E,PORTC       ;DISABLE
             JSR   DELAYSMALL
             BCLR  RS,PORTC
             BCLR  RW,PORTC
             MOV  #$FF,DDRB      ;CONFIGURE PORTB AS OUT
ENDLCDREADATA RTS

***** LCD BUS DE DATOS A 8 BITS *****

STARTLCD8B  LDA  #$38           ;DISPLAY A OCHO BITS, 2 LINEAS DE PANTALLA
             JSR  LCDCONTROL
             LDA  #$0E           ;SCREEN ON,ENABLE CURSOR Y AVOID BLINK
             JSR  LCDCONTROL
             LDA  #$06           ;AVANZA HACIA LA DERECHA,NO MOVER LAS PANTALLA REAL
             JSR  LCDCONTROL
ENDSTARTLCD8B RTS

LCDREADY8B  LDA  #$01           ;CLR SCREEN
             JSR  LCDCONTROL
             LDA  #$80           ;CURSOR HOME
             JSR  LCDCONTROL
ENDLCDREADY8B RTS

```

```

***** PRINT ON LCD *****
PRINTCHAR JSR LCDREADBFAC
           LDA COUNTCHAR
           CMP #$90
           BEQ PTSECONDLINE
           LDA COUNTCHAR
           CMP #$D0
           BEQ PTFIRSTLINE
PTCHARACTER LDA CHARACTER
           JSR LCDDATO
           BRA ENDPRINTCHAR
PTFIRSTLINE MOV #$80,COUNTCHAR
           LDA COUNTCHAR
           JSR LCDCONTROL
           BRA PTCARACTER
PTSECONDLINE MOV #$C0,COUNTCHAR
           LDA COUNTCHAR
           JSR LCDCONTROL
           BRA PTCARACTER
ENDPRINTCHAR RTS

PTCHARL1 LDA COUNTCHAR
           CMP #$10
           BEQ ENDPTCHARL1
           JSR LCDCONTROL
           LDA CHARACTER
           JSR LCDDATO
END2PTCHARL1 INC COUNTCHAR
ENDPTCHARL1 RTS

PTCHARL2 LDA COUNTCHAR
           CMP #$D0
           BEQ ENDPTCHARL2
           JSR LCDCONTROL
           LDA CHARACTER
           JSR LCDDATO
END2PTCHARL2 INC COUNTCHAR
ENDPTCHARL2 RTS

PRINTLINE1 LDA #$80
           JSR LCDCONTROL
           LDA MENSAJE
           LDX #$10 ;X=$10
           MUL
           MOV #$10,CONT ;CONT=$10
           PSHA
           PULX
           CLRA
           CLRH
MEDIOPRINTL1 LDA MSG0,X ;A=MSG0[X]
           JSR LCDDATO ;SEND TO LCD
           DEC CONT ;CONT--1
           BEQ ENDPRINTLINE1 ;CONT=00?, YES => JMP ENDPRINTLINE1
           INCX ;INCREMENTA EL REGISTRO INDEXADO
           BRA MEDIOPRINTL1
ENDPRINTLINE1 RTS

PRINTLINE2 LDA #$C0
           JSR LCDCONTROL
           LDA MENSAJE
           LDX #$10
           MUL
           MOV #$10,CONT
           PSHA
           PULX
           CLRA
           CLRH

```

```

MEDIOPRINTL2 LDA MSG0,X
              JSR LCDDATO
              DEC CONT
              BEQ ENDPRINTLINE2
              INCX
              BRA MEDIOPRINTL2
ENDPRINTLINE2 RTS

```

***** KEYBOARD *****

```

ROTACOLINI   MOV #7F,COLUMN
              BRA ENDROTACOL
ROTACOL      SEC
              ROR COLUMN
              BRCLR 3,COLUMN,ROTACOLINI
ENDROTACOL   MOV COLUMN,PORTA
              JSR FIRSTDELAY
              RTS

```

```

FOURDOFUP   JSR MENSAJEIGUAL
              MOV #4',CHARACTER
              JSR PRINTCHAR
              JSR FLECHAUP
ENDFOURDOFUP BRA ENDCOMPARACARA
FIVEDOFUP   JSR MENSAJEIGUAL
              MOV #5',CHARACTER
              JSR PRINTCHAR
              JSR FLECHAUP
ENDFIVEDOFUP BRA ENDCOMPARACARA
GRIPPEROPEN JSR MENSAJEGRIP
              JSR FLECHAUP
ENDGRIPPEROPEN BRA ENDCOMPARACARA
FOURDOFDOWN JSR MENSAJEIGUAL
              MOV #4',CHARACTER
              JSR PRINTCHAR
              JSR FLECHADOWN
ENDFOURDOFDOWN BRA ENDCOMPARACARA
FIVEDOFDOWN JSR MENSAJEIGUAL
              MOV #5',CHARACTER
              JSR PRINTCHAR
              JSR FLECHADOWN
ENDFIVEDOFDOWN BRA ENDCOMPARACARA
GRIPPERCLOSE JSR MENSAJEGRIP
              JSR FLECHADOWN
ENDGRIPPERCLOSE BRA ENDCOMPARACARA

```

```

COMPARACARA LDA CHARACTER
              CMP #1'
              BEQ ONEDOFUP
              CMP #2'
              BEQ TWODOFUP
              CMP #3'
              BEQ THREEDOFUP
              CMP #4'
              BEQ ONEDOFDOWN
              CMP #5'
              BEQ TWODOFDOWN
              CMP #6'
              BEQ THREEDOFDOWN
              CMP #7'
              BEQ FOURDOFUP
              CMP #8'
              BEQ FIVEDOFUP
              CMP #9'
              BEQ GRIPPEROPEN
              CMP #*
              BEQ FOURDOFDOWN

```

```

CMP    #0'
BEQ    FIVEDOFDOWN
CMP    ##
BEQ    GRIPPERCLOSE
ENDCOMPARACARA JSR  FIRSTDELAY
MOV    #$02,MENSAJE
JSR    PRINTLINE2
RTS

ONEDOFUP JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #1',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHAUP
ENDONEDOFUP BRA  ENDCOMPARACARA
TWODOFUP JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #2',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHAUP
ENDTWODOFUP BRA  ENDCOMPARACARA
THREEDOFUP JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #3',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHAUP
ENDTHREEDOFUP BRA  ENDCOMPARACARA
ONEDOFDOWN JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #1',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHADOWN
ENDONEDOFDOWN BRA  ENDCOMPARACARA
TWODOFDOWN JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #2',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHADOWN
ENDTWODOFDOWN BRA  ENDCOMPARACARA
THREEDOFDOWN JSR  MENSAJEIGUAL
MOV    #3',CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
JSR    FLECHADOWN
ENDTHREEDOFDOWN BRA  ENDCOMPARACARA

MENSAJEIGUAL MOV  #$03,MENSAJE
JSR    PRINTLINE2
MOV    #$C0,COUNTCHAR
LDA    COUNTCHAR
JSR    LCDCONTROL
ENDMENSAJEIGUAL RTS

MENSAJEGRIP MOV  #$04,MENSAJE
JSR    PRINTLINE2
ENDMENSAJEGRIP RTS

FLECHAUP MOV  #$C9,COUNTCHAR
LDA    COUNTCHAR
JSR    LCDCONTROL
MOV    #$7E,CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
ENDFLECHAUP RTS

FLECHADOWN MOV  #$C9,COUNTCHAR
LDA    COUNTCHAR
JSR    LCDCONTROL
MOV    #$7F,CHARACTER
JSR    PRINTCHAR
ENDFLECHADOWN RTS

***** INTERRUPTS *****

```

```

KEYBOARD  MOV  #$00,PTAPUE  ;DISABLE PULL-UP
          LDX  #$00
          LDA  PORTA
          STA  KBOARDIN
SALIDA    LDA  KBOARDIN
          CMP  NUMBERS,X
          BEQ  OUT
          INCX
          CPX  #$10
          BEQ  OUTKB
          BRA  SALIDA
OUT       STX  TECLAPRES
          LDA  ASCII,X
          STA  CHARACTER
PRINTCARA ;JSR  PRINTCHAR
          JSR  COMPARACARA
OUTKB     MOV  #$0F,PTAPUE  ;ENABLE PULL-UP
          RTI

TIMER1    BCLR  TOF,T1SC
          MOV  #$36,T1SC
          RTI

```

```

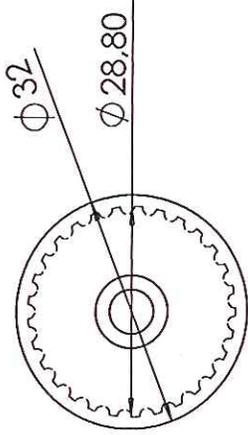
ORG  KBINTERRUPT
DW   KEYBOARD

ORG  TIMER1INT
DW   TIMER1

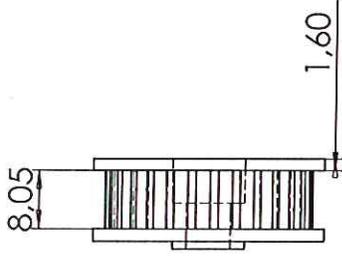
ORG  RESET
DW   INICIO

```

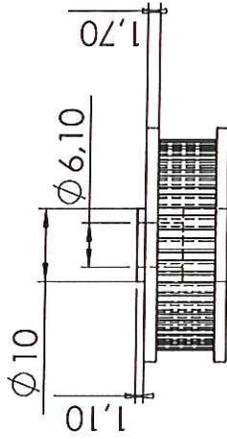
A . PLANOS



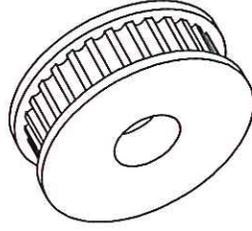
FRONTAL



LATERAL



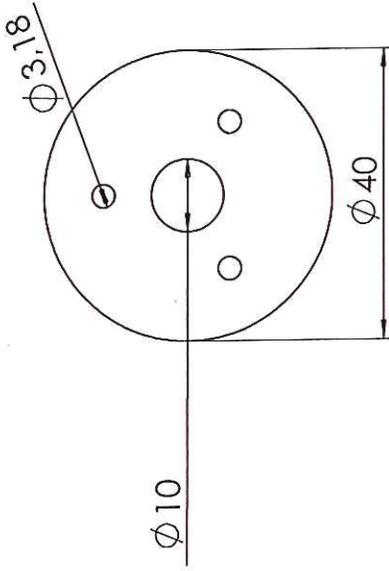
SUPERIOR



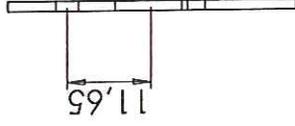
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	PIÑON TENSOR	
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:1	PROYECTO DE GRADO	
		MANIPULADOR AUTOMÁTICO	

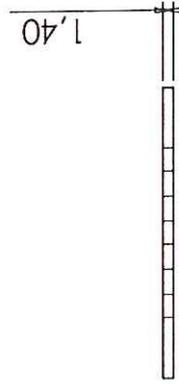
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



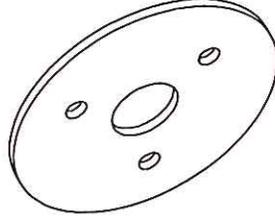
FRONTAL



LATERAL

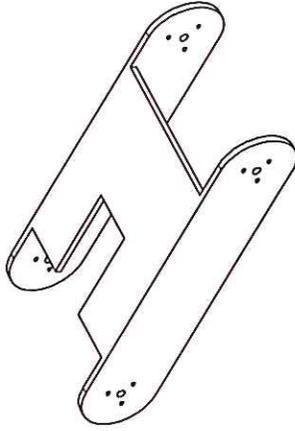
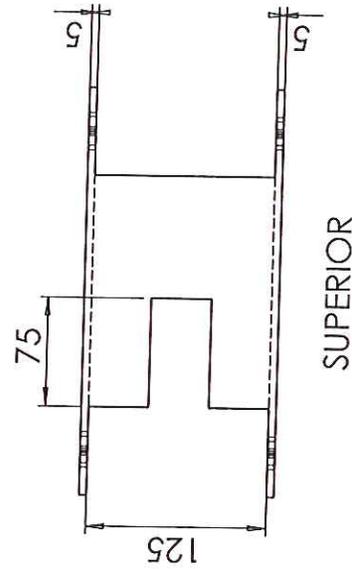
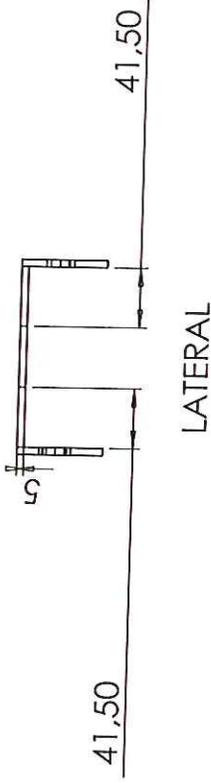
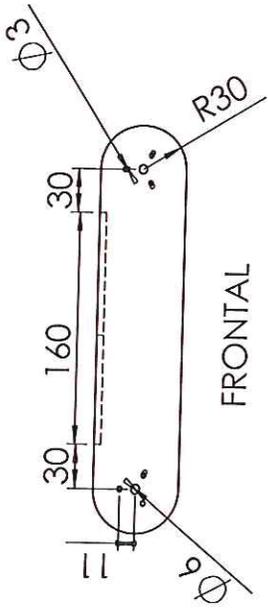


SUPERIOR



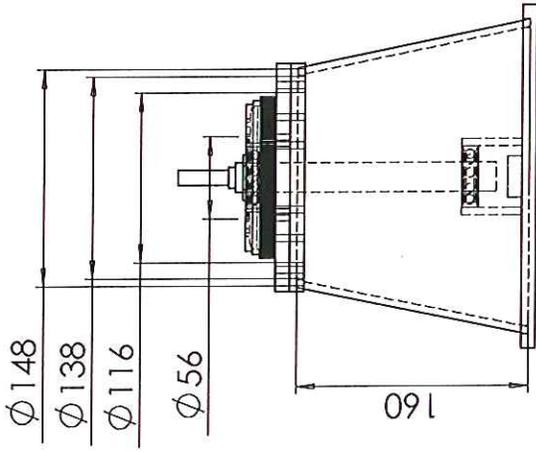
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO	
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:1	ACRILICO DE AJUSTE PIÑON	

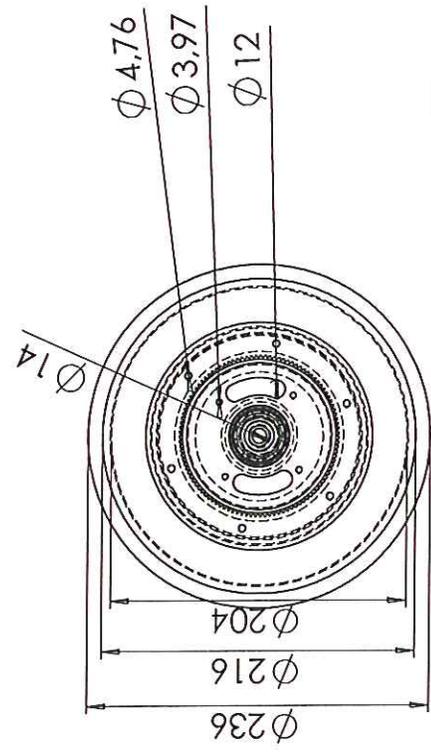


Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:5	ANTEBRAZO	

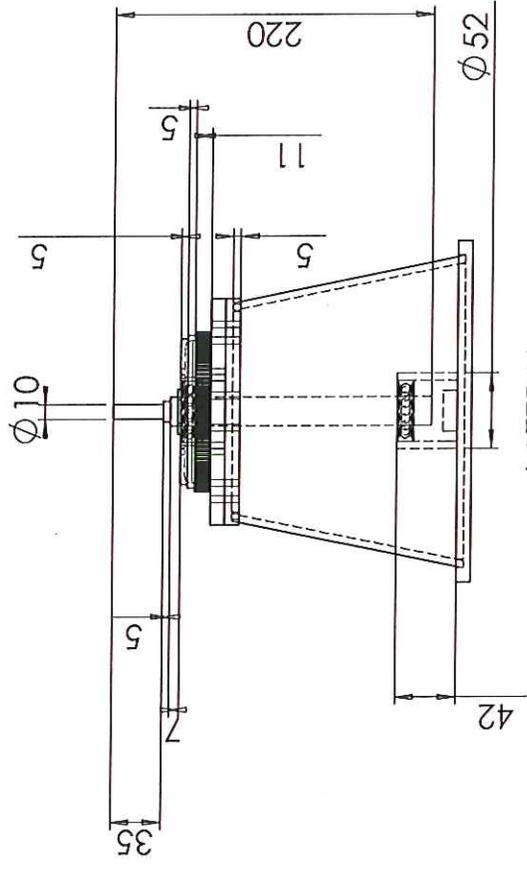
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



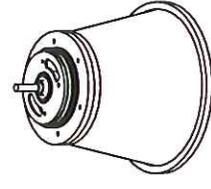
FRONTAL



SUPERIOR



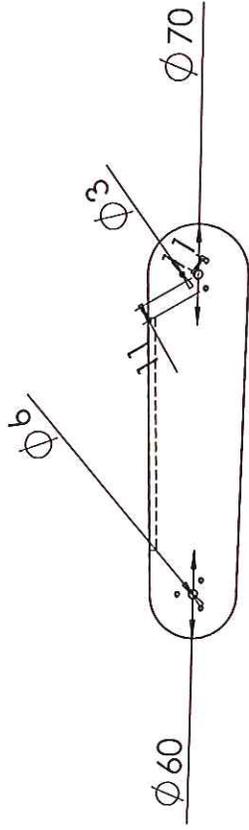
LATERAL



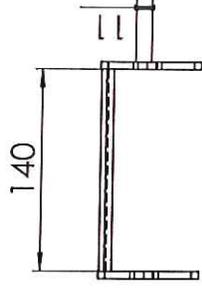
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:5	BASE MANIPULADOR	

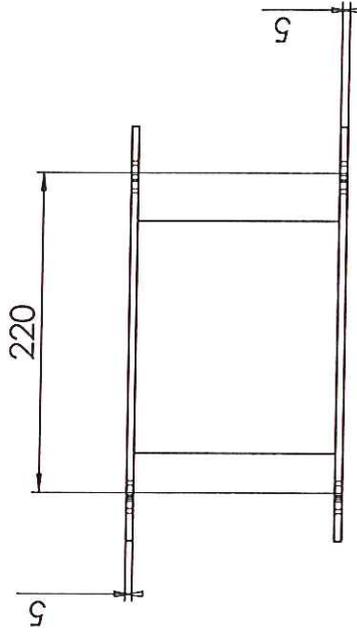
Edición de So id or s
S o ara so ed caciona



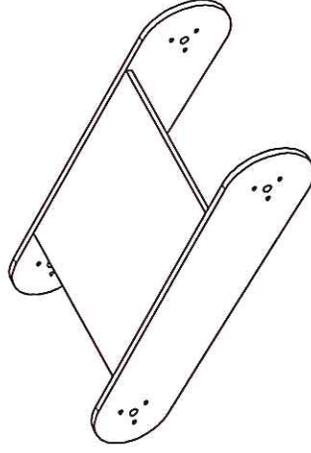
FRONTAL



LATERAL



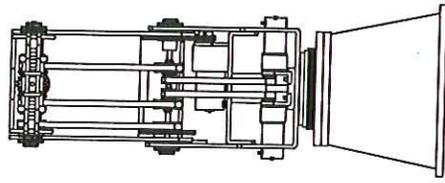
SUPERIOR



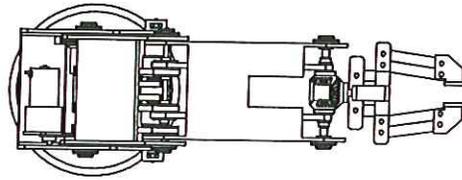
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:5	BRAZO	
		PROYECTO DE GRADO	MANIPULADOR AUTOMÁTICO

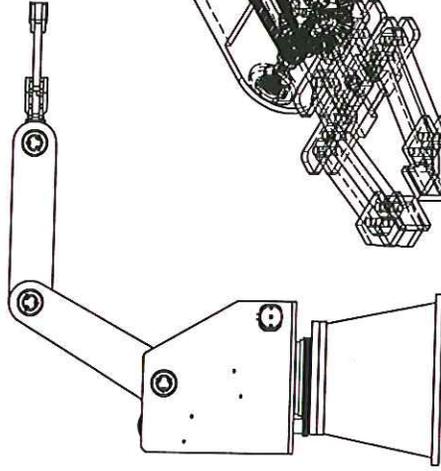
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



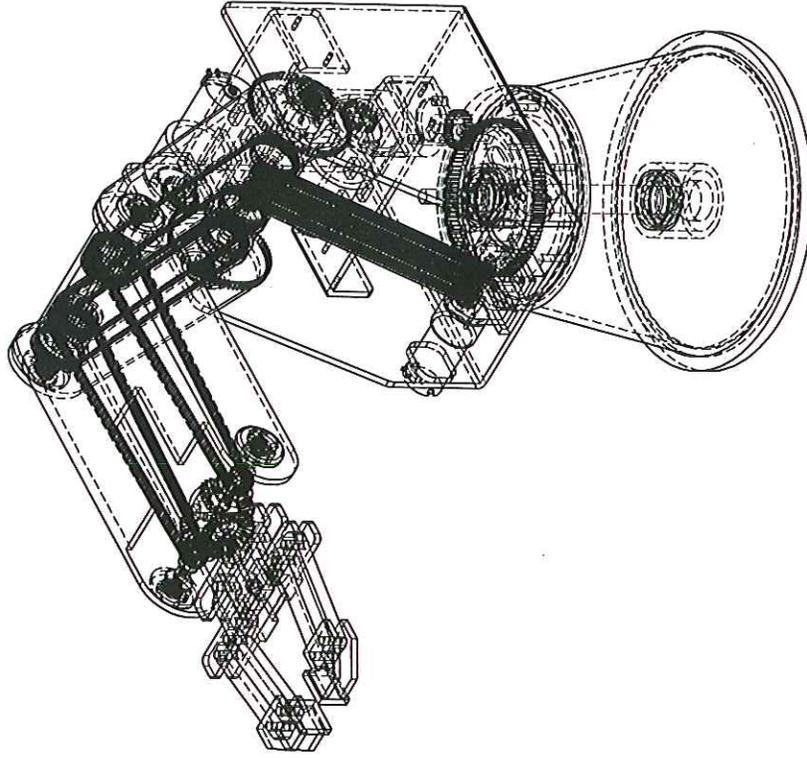
FRONTAL



SUPERIOR



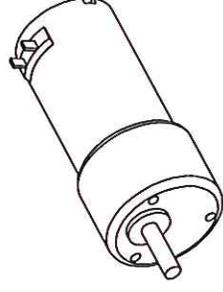
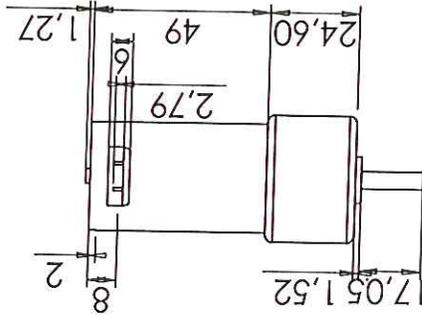
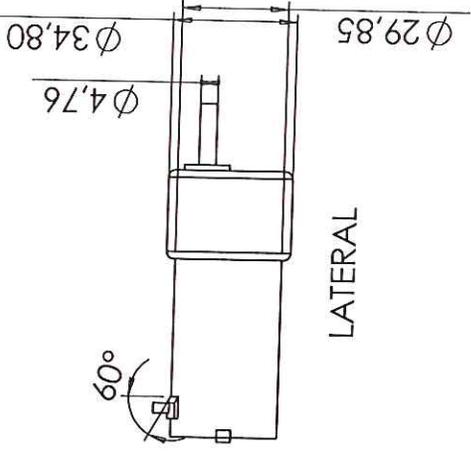
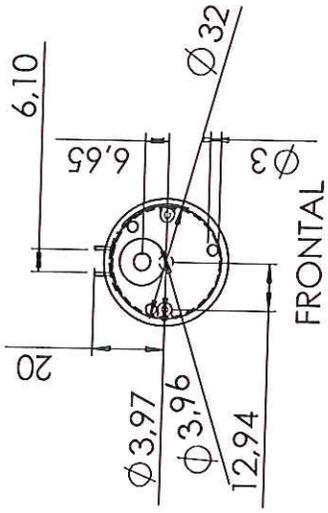
LATERAL



ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004		
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.		
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:5		
UNAB UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA		FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	
		MANIPULADOR	
		PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO	

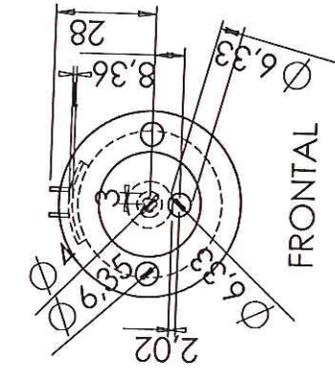
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



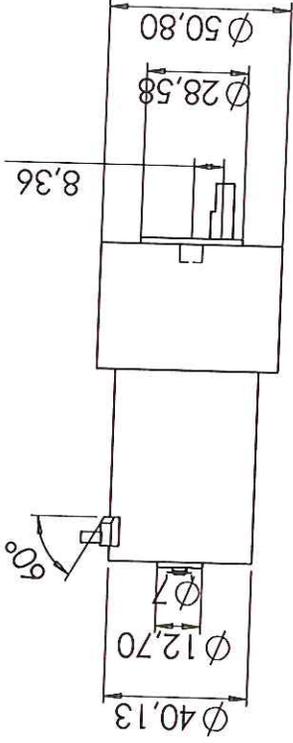
SUPERIOR

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:2	MOTOR ENGRANAJE CONICO	

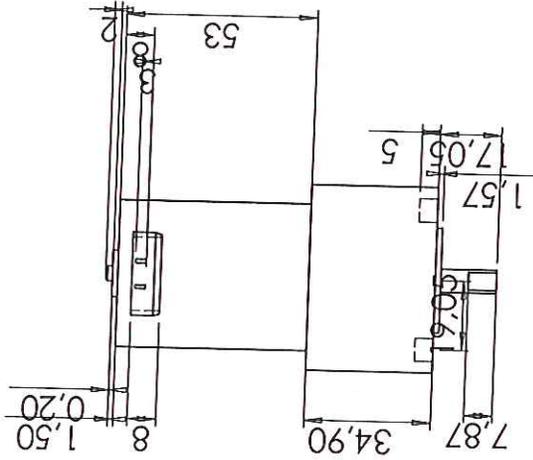
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



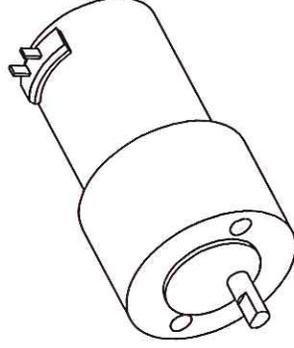
FRONTAL



LATERAL



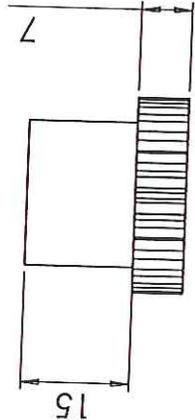
SUPERIOR



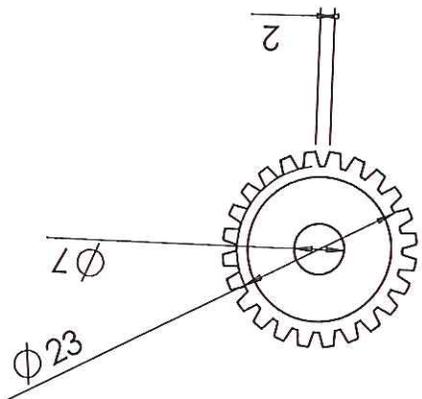
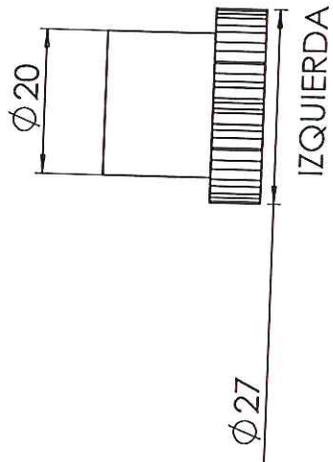
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:2	MOTOR HOMBRO BRAZO	

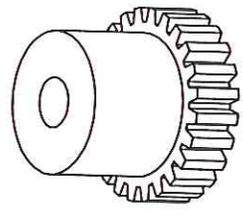
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



FRONTAL



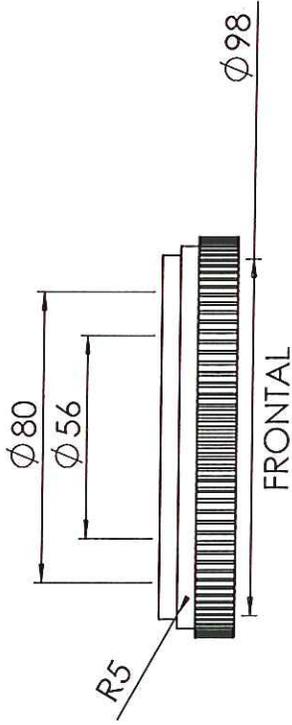
SUPERIOR



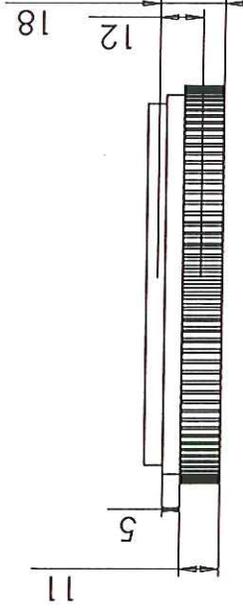
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:1	PIÑÓN BASE	

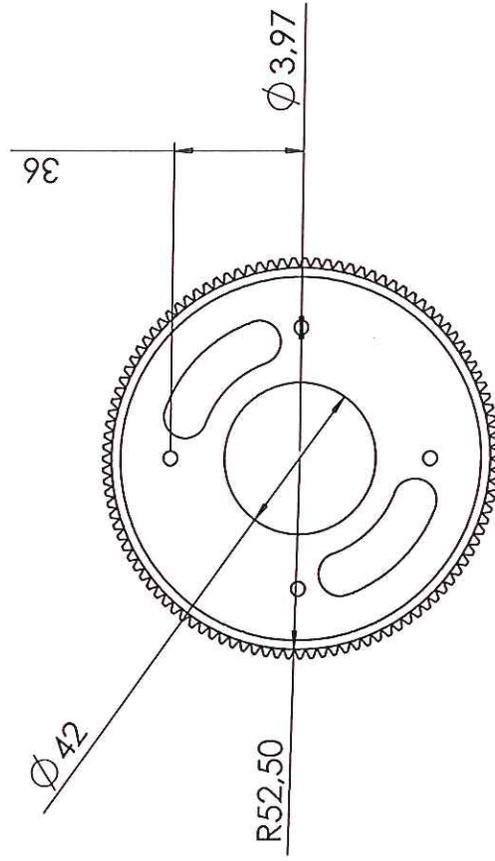
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



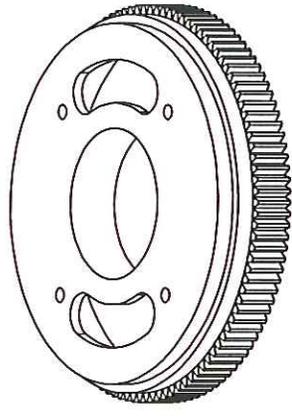
FRONTAL



IZQUIERDA



SUPERIOR



ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004
Asesor:	Omar Lengerke Pérez
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.
Código:	18299036 - 18299014
Escala:	1:2

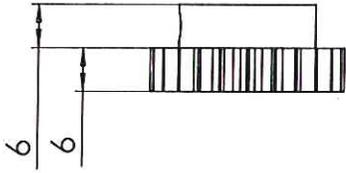
UNAB
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
BUCARAMANGA

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

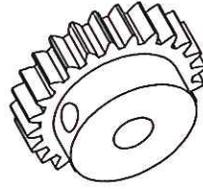
RUEDA PRICIPAL BASE

PROYECTO DE GRADO
MANIPULADOR AUTOMÁTICO

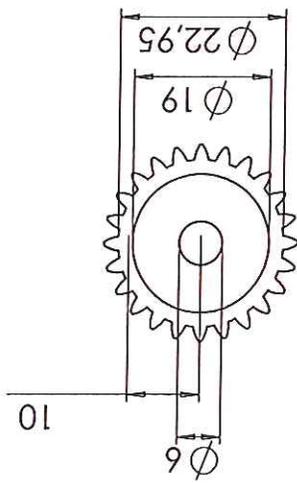
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



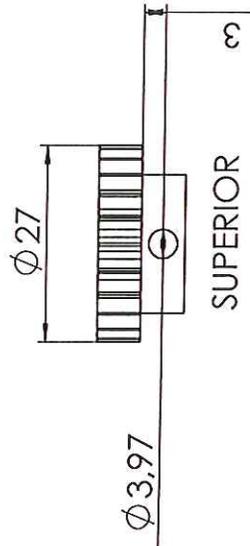
IZQUIERDA



ISOMETRICA



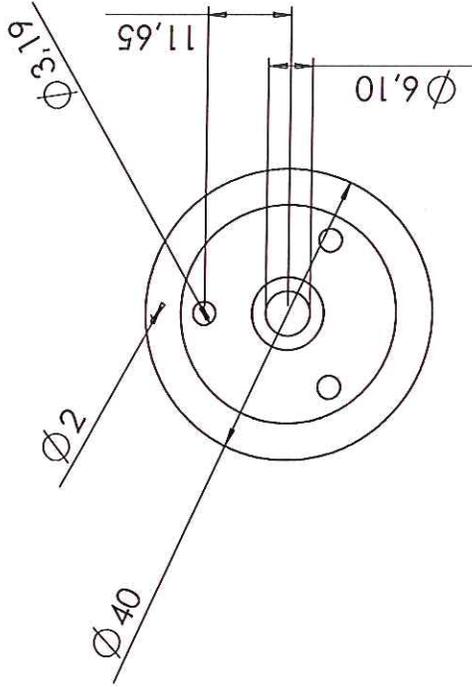
FRONTAL



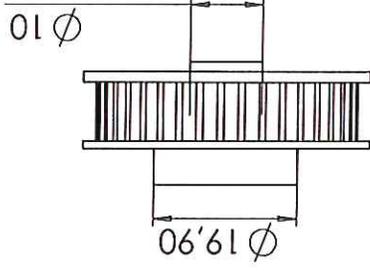
SUPERIOR

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:1	PIÑÓN ANTEBRAZO	

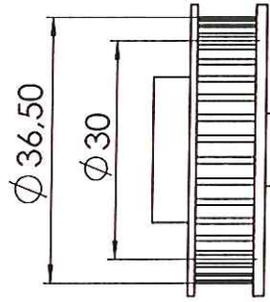
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



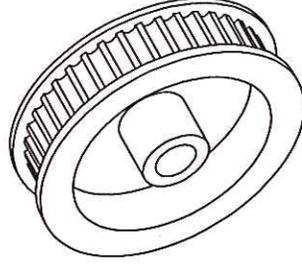
FRONTAL



IZQUIERDA



SUPERIOR



ISOMETRICA

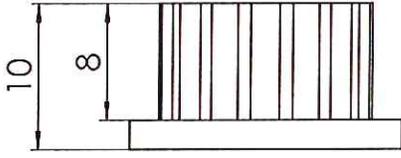
Fecha:	3 de Noviembre de 2004
Asesor:	Omar Lengerke Pérez
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.
Código:	18299036 - 18299014
Escala:	1:1

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

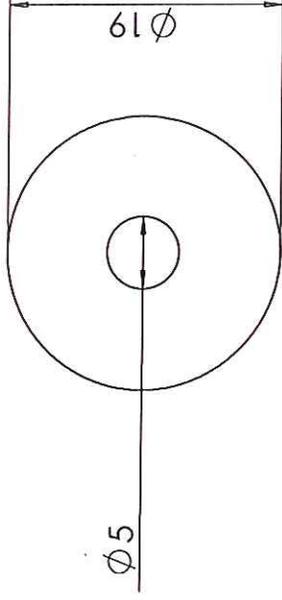
UNAB
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
BUCARAMANGA

PROYECTO DE GRADO
MANIPULADOR AUTOMÁTICO

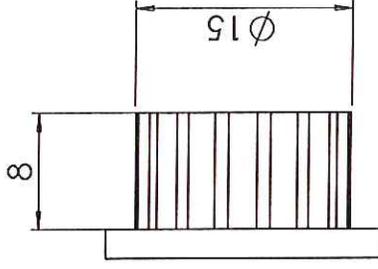
PIÑÓN FIJO ANTEBRAZO



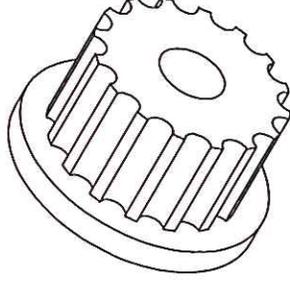
FRONTAL



IZQUIERDA

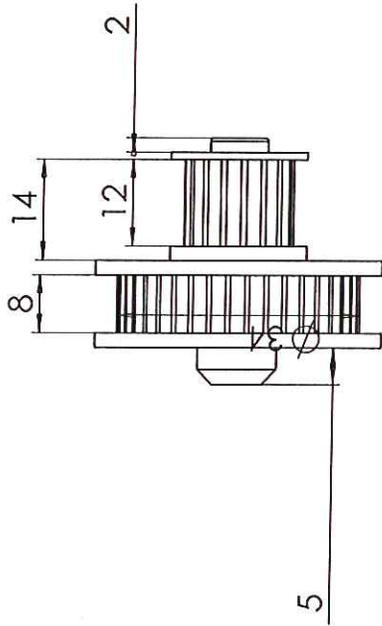


SUPERIOR

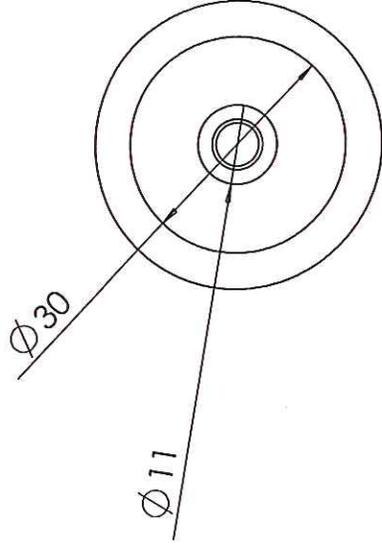


ISOMETRICA

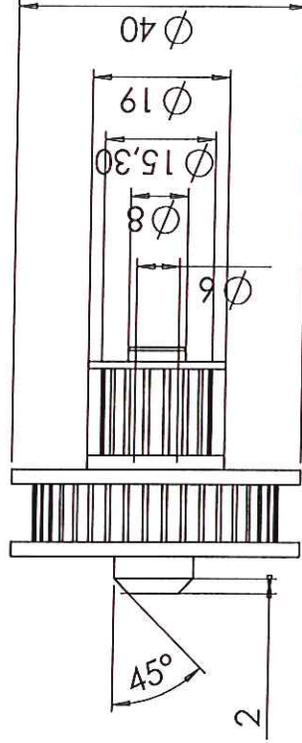
Fecha:	3 de Noviembre de 2004		UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez			
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	
Código:	18299036 - 18299014			
Escala:	2:1		PIÑÓN MOTOR CONICOS	
			PROYECTO DE GRADO	MANIPULADOR AUTOMÁTICO



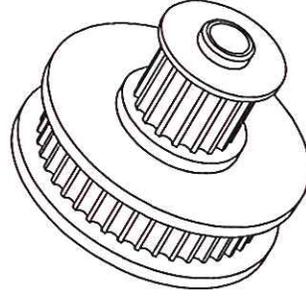
FRONTAL



IZQUIERDA



SUPERIOR



ISOMETRICA

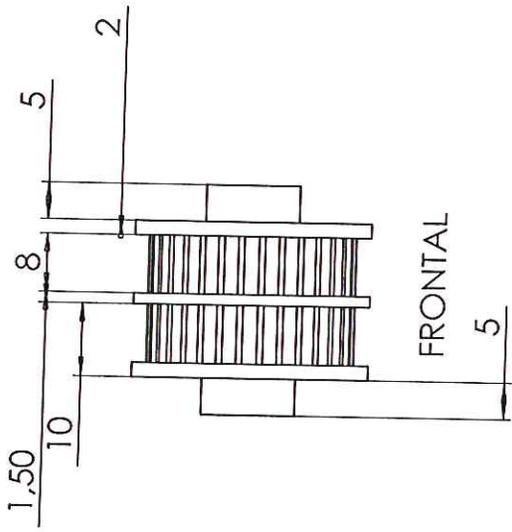
Fecha:	3 de Noviembre de 2004
Asesor:	Omar Lengerke Pérez
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.
Código:	18299036 - 18299014
Escala:	1:1

UNAB
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
BUCARAMANGA

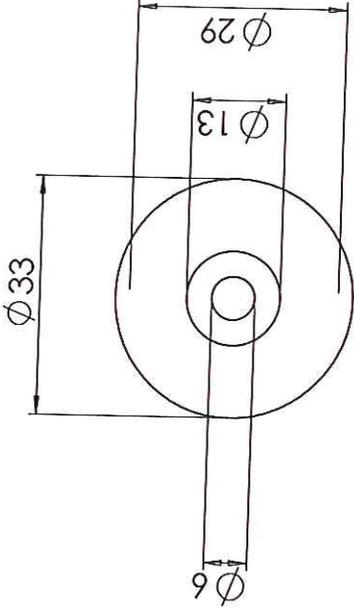
**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

PIÑÓN MOTOR CONICOS II

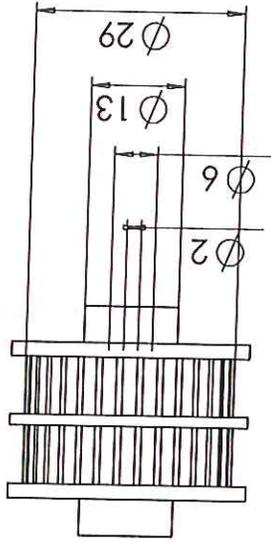
PROYECTO DE GRADO
MANIPULADOR AUTOMÁTICO



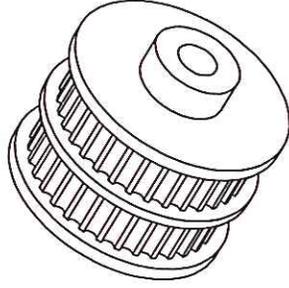
FRONTAL



IZQUIERDA



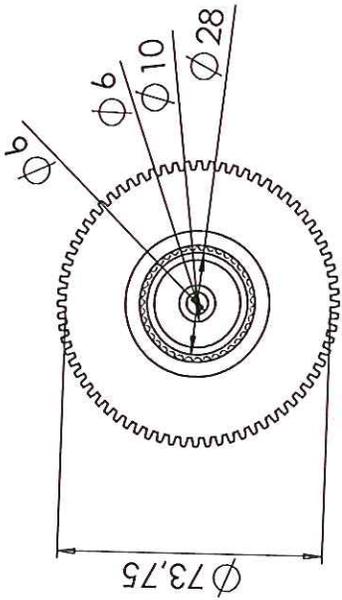
SUPERIOR



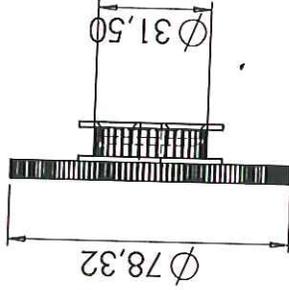
ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	
Asesor:	Omar Lengerke Pérez	
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	
Código:	18299036 - 18299014	
Escala:	1:1	
PIÑON MOTOR CONICOS III		
UNAB UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA		FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
		PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO

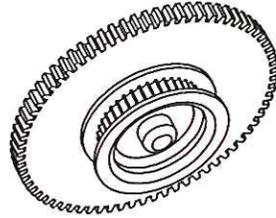
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



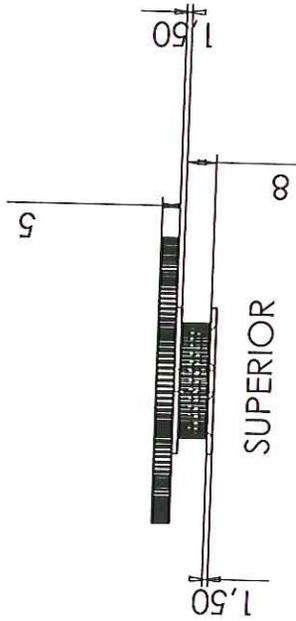
FRONTAL



LATERAL



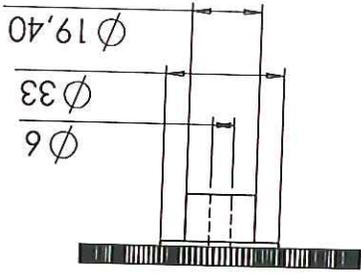
ISOMETRICA



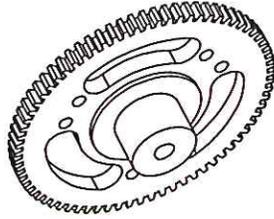
SUPERIOR

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:2	PIÑÓN ANTEBRAZO	

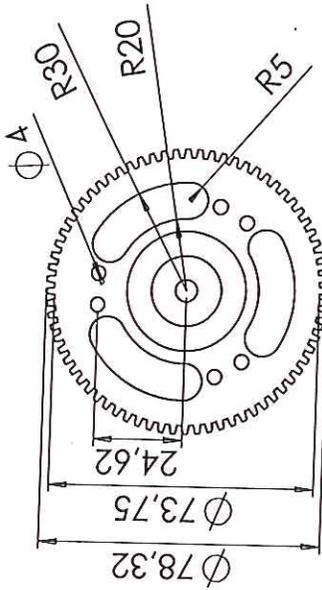
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



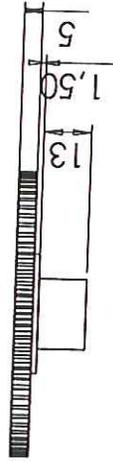
LATERAL



ISOMETRICA



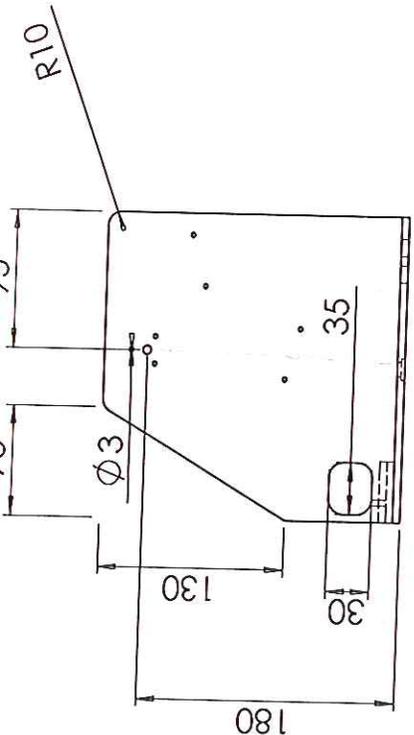
FRONTAL



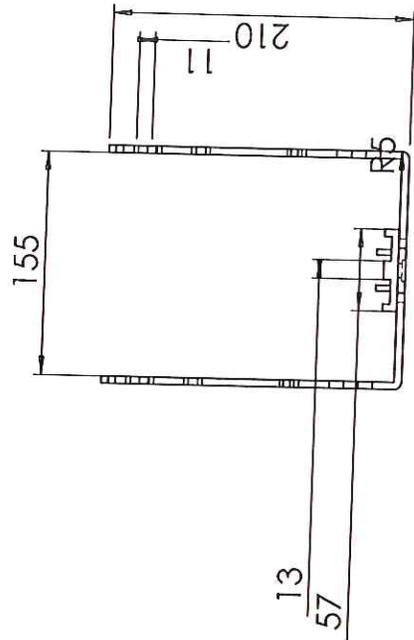
SUPERIOR

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	PIÑÓN BRAZO	
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:2		

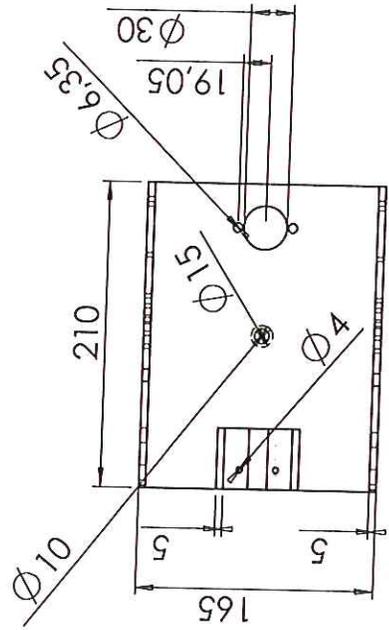
Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



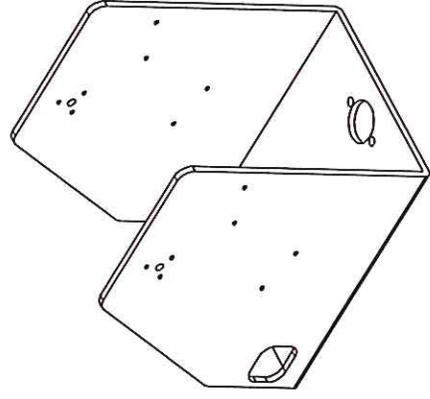
FRONTAL



LATERAL



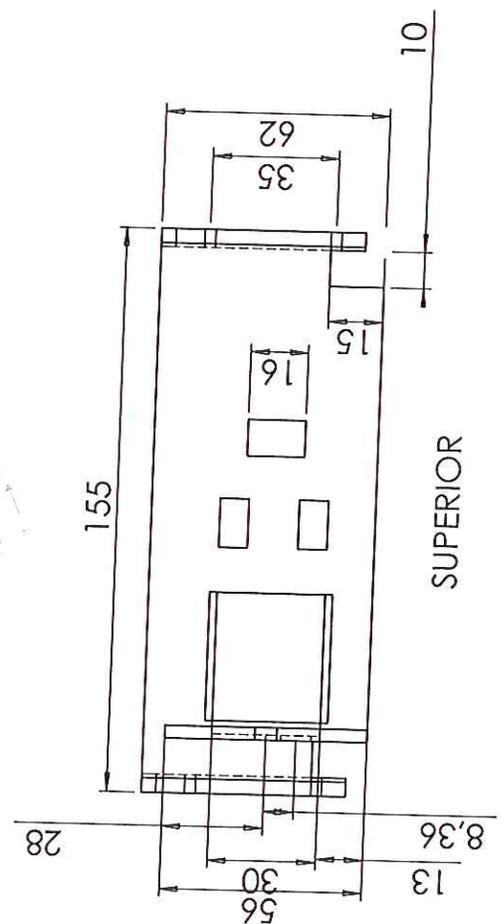
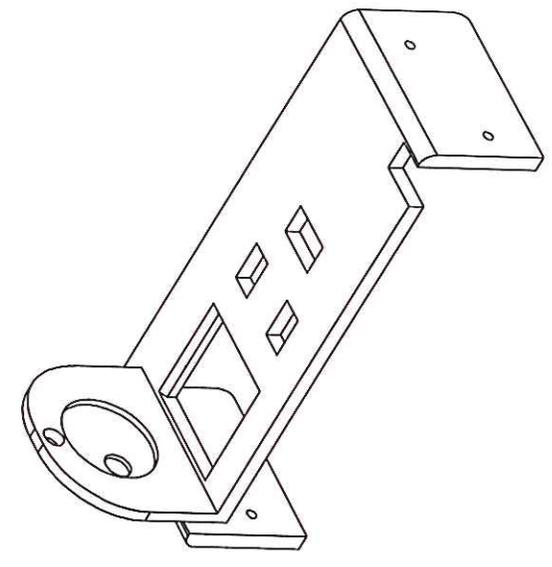
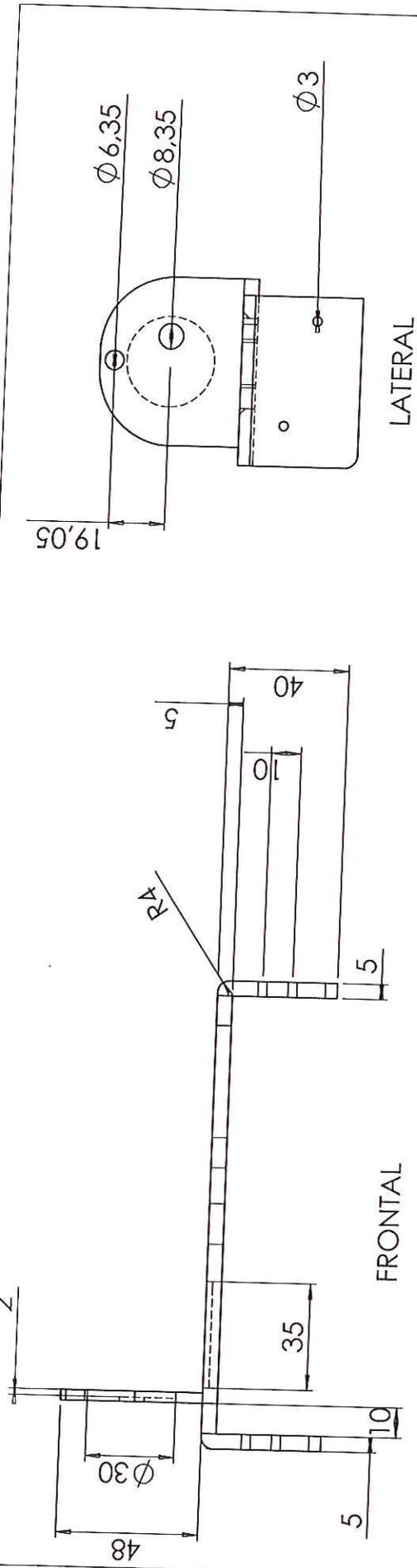
SUPERIOR



ISOMETRICA

Fecha:	3 de Noviembre de 2004	
Asesor:	Omar Lengerke Pérez	
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	
Código:	18299036 - 18299014	
Escala:	1:5	
HOMBRO		
UNAB UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCHARAMANGA		
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
PROYECTO DE GRADO		MANIPULADOR AUTOMÁTICO

Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



Fecha:	3 de Noviembre de 2004
Asesor:	Omar Lengerke Pérez
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.
Código:	18299036 - 18299014
Escala:	1:2

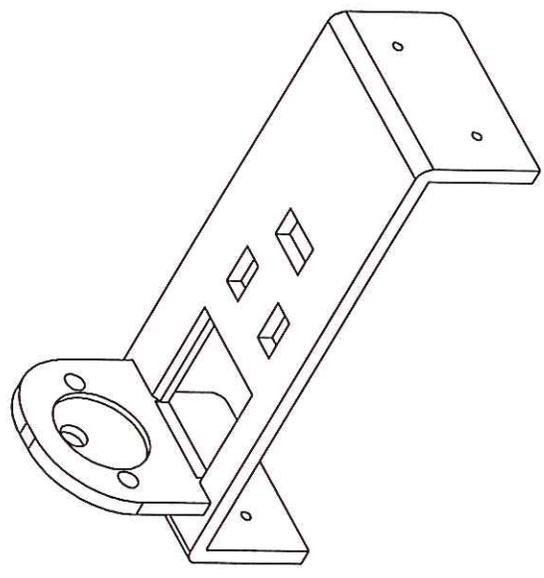
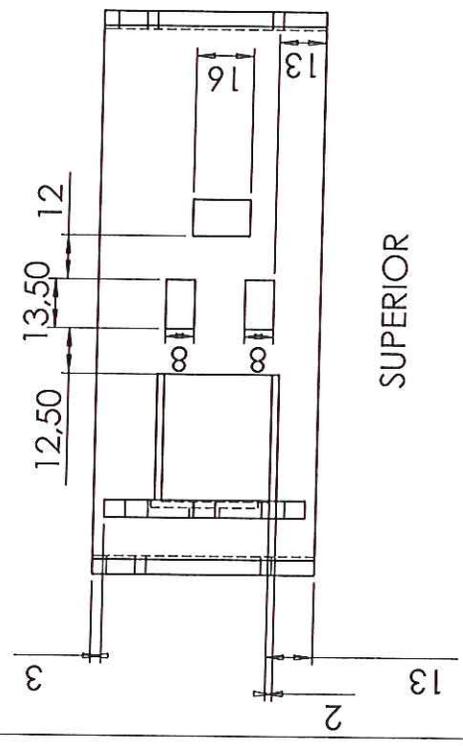
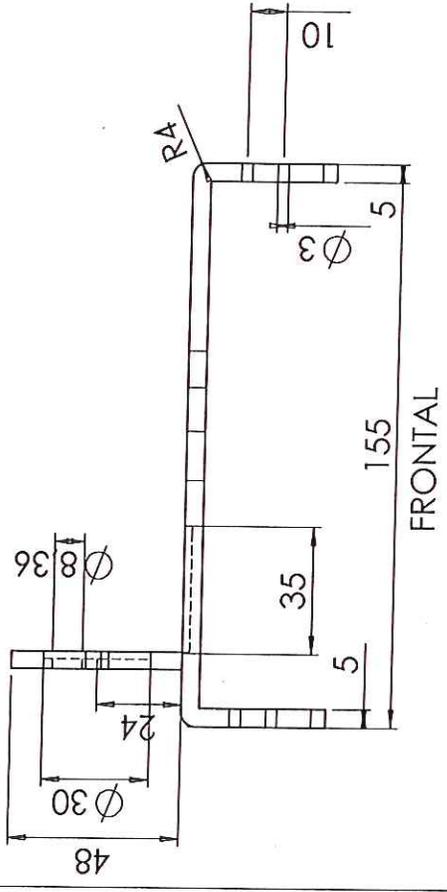
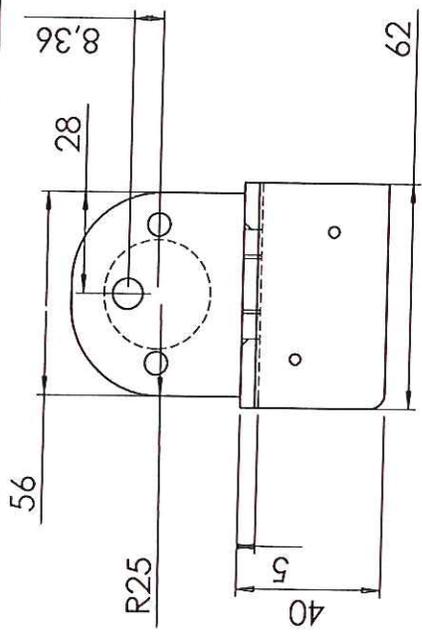
UNAB
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
BUCARAMANGA

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

SOPORTE MOTOR ANTEBRAZO

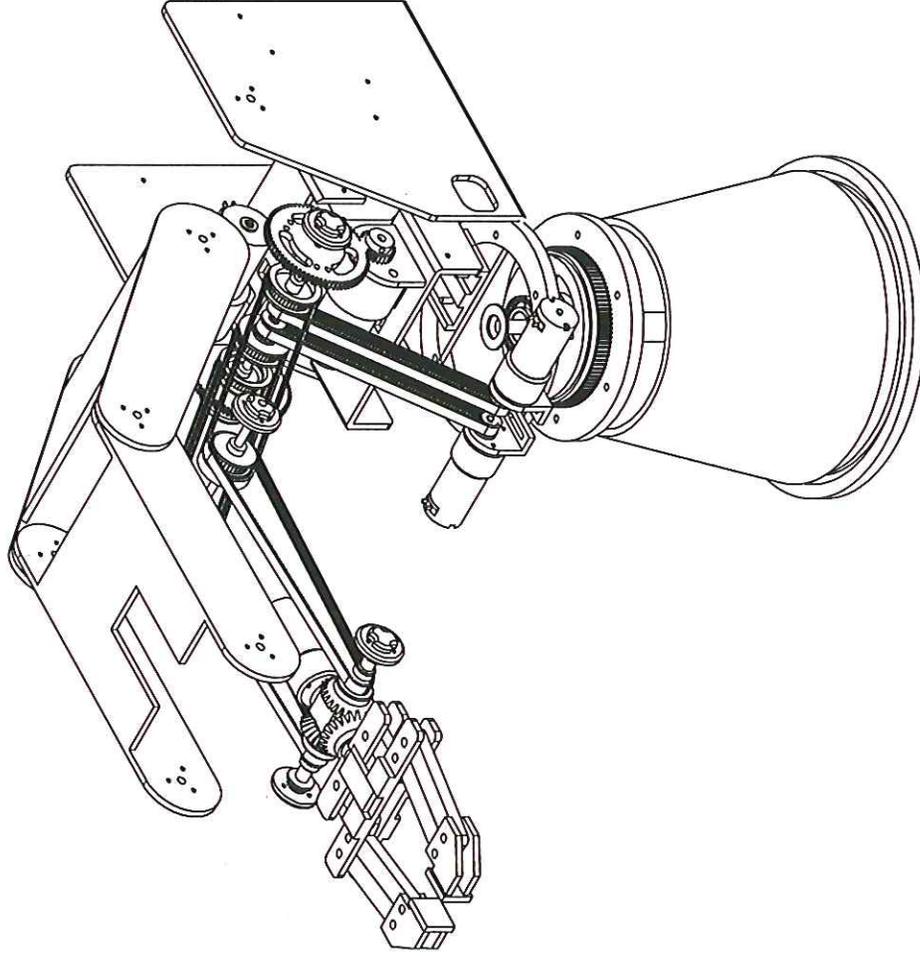
PROYECTO DE GRADO
MANIPULADOR AUTOMÁTICO

Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona



Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO	
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:2	SOPORTE MOTOR BRAZO	

Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona

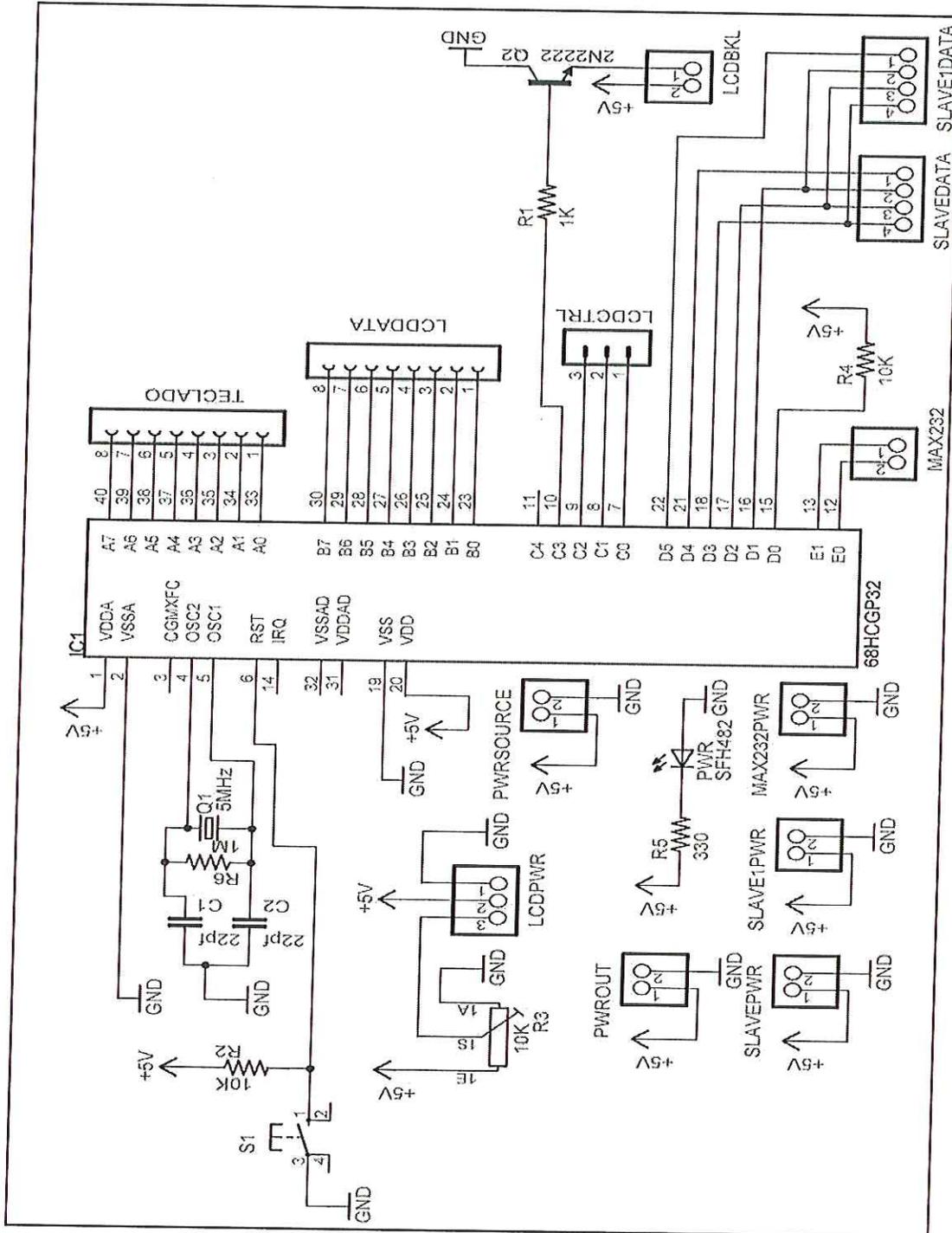


Fecha:	3 de Noviembre de 2004	UNAB	FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
Asesor:	Omar Lengerke Pérez		
Digitalizó:	Alberly Quintero M. - Arbey Hernandez G.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA	PROYECTO DE GRADO MANIPULADOR AUTOMÁTICO
Código:	18299036 - 18299014		
Escala:	1:5	MANIPULADOR	

Edici n ed caciona de So id or s
S o ara so ed caciona

ANEXO A . CIRCUITOS

A . Circ ito Es e tico De Microcontro ador Maestro

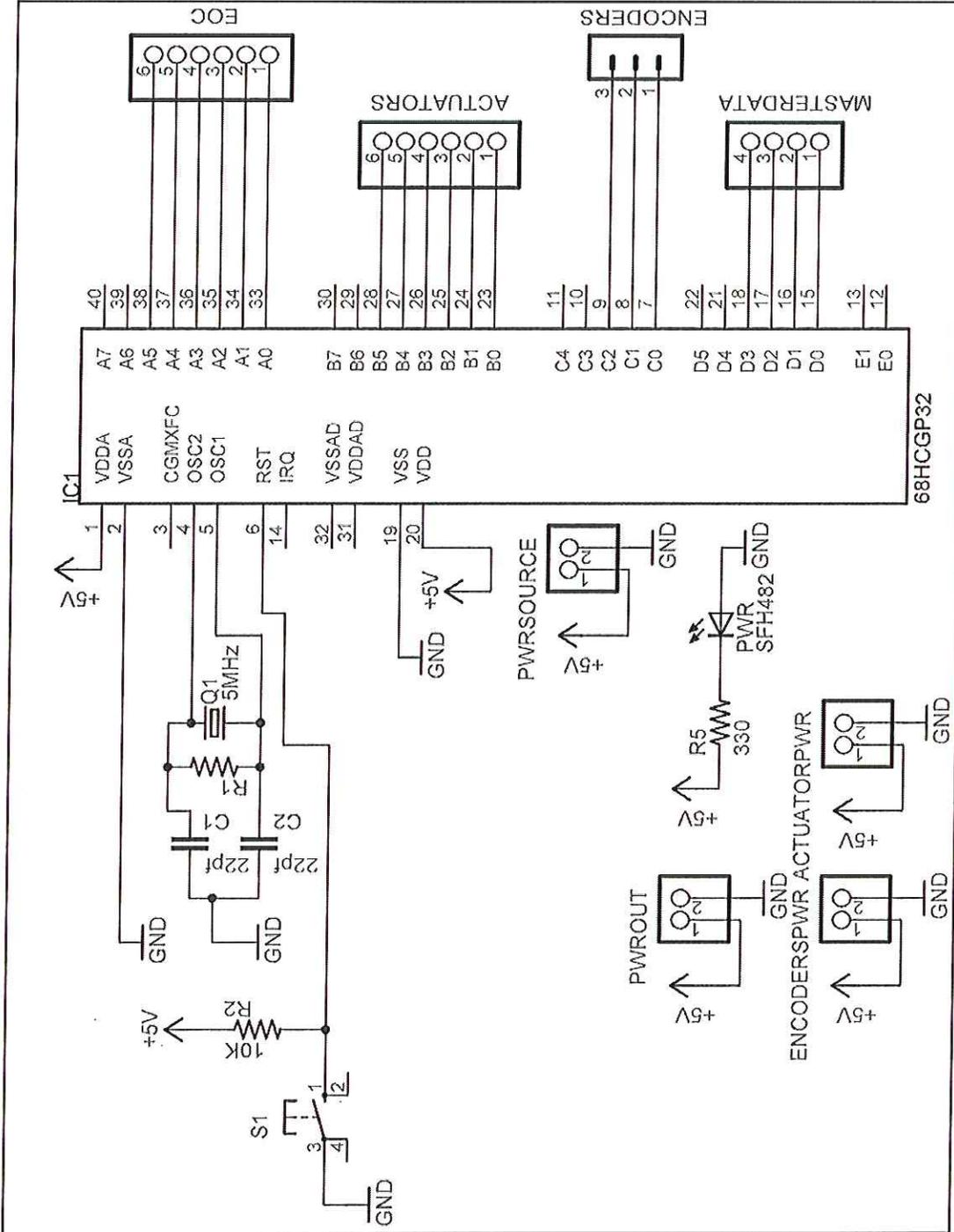


1993-1

Elementos de circuito Maestro

- Microcontrolador Motorola 68HC908GP32CP
- Condensadores, resistencia y Cristal para generar la señal de reloj con la que trabajara el microcontrolador.
- 2 pines de alimentación de entrada y 2 pines de alimentación de Salida.
- 2 pines de alimentación a esclavo 1, 2 pines de alimentación a esclavo 2 y 2 pines de alimentación a Max232.
- Resistencia y Diodo led para visualizar alimentación del circuito.
- Resistencia y pulsador para señal de reset del microcontrolador.
- 8 Pines de Entrada de Teclado Matricial 4x4
- Teclado Matricial 4x4
- Pantalla de Cristal Liquido
- 16 Pines de Conexión para la pantalla de cristal liquido
- Potenciómetro de 10K para el control del contraste de la Pantalla.
- 8 Pines de Conexión a los microcontroladores esclavos
- Salidas a Max232.

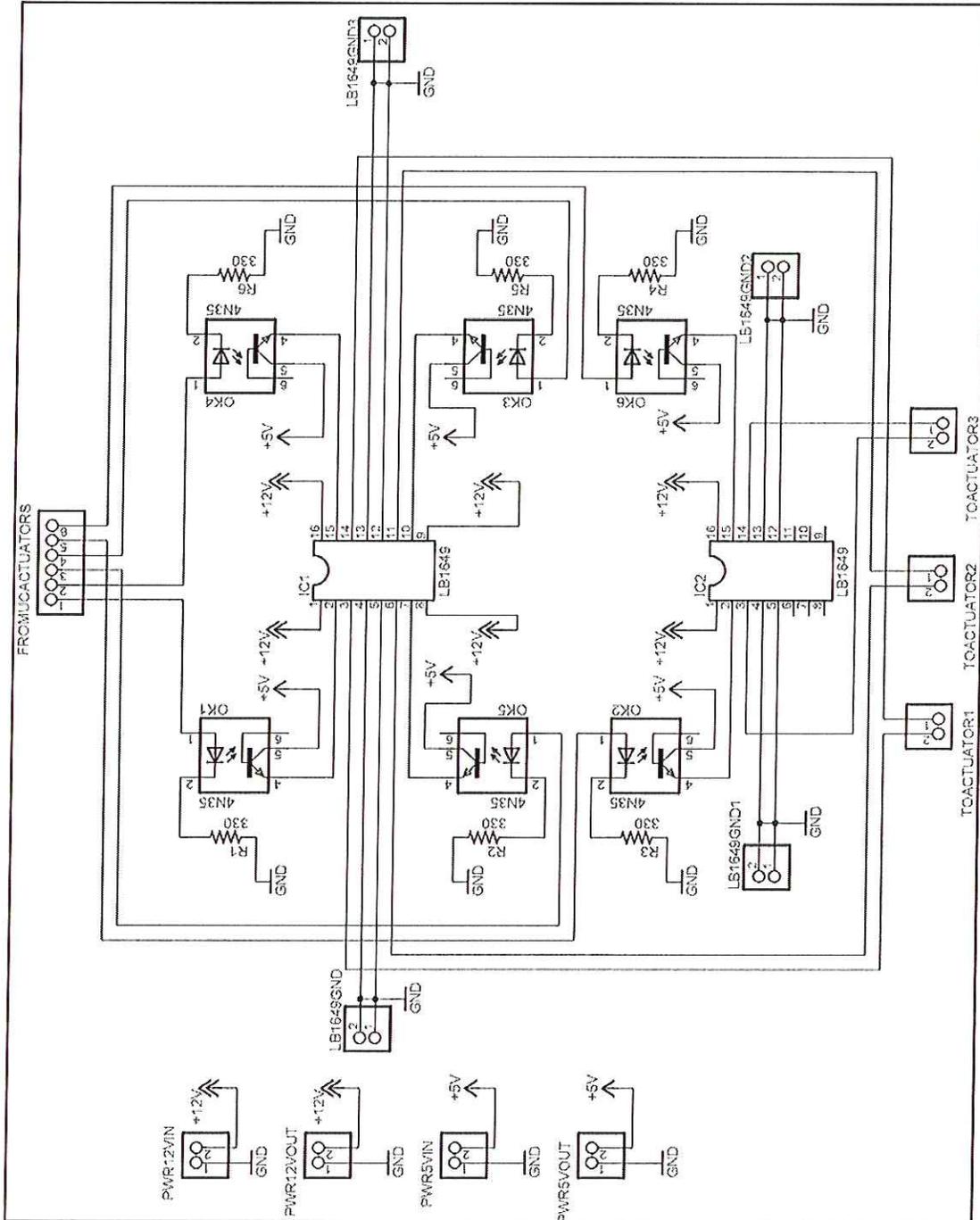
A .2 Circ ito Es e tico de os Esc a os



Elementos de circuito Esc a o

- Microcontrolador Motorola 68HC908GP32CP
- Condensadores, resistencia y Cristal para generar la señal de reloj con la que trabajara el microcontrolador.
- 2 pines de alimentación de entrada, 2 pines de alimentación de Salida, 2 pines de alimentación a los encoders y 2 de alimentación a los actuadores.
- Resistencia y Diodo led para visualizar alimentación del circuito.
- Resistencia y pulsador para señal de reset del microcontrolador.
- 6 Pines de Entrada de los sensores de presencia.
- 6 Pines de Salida a los Actuadores.
- 3 Pines de Entrada de los Encoders
- 4 Pines de Conexión al microcontrolador maestro.

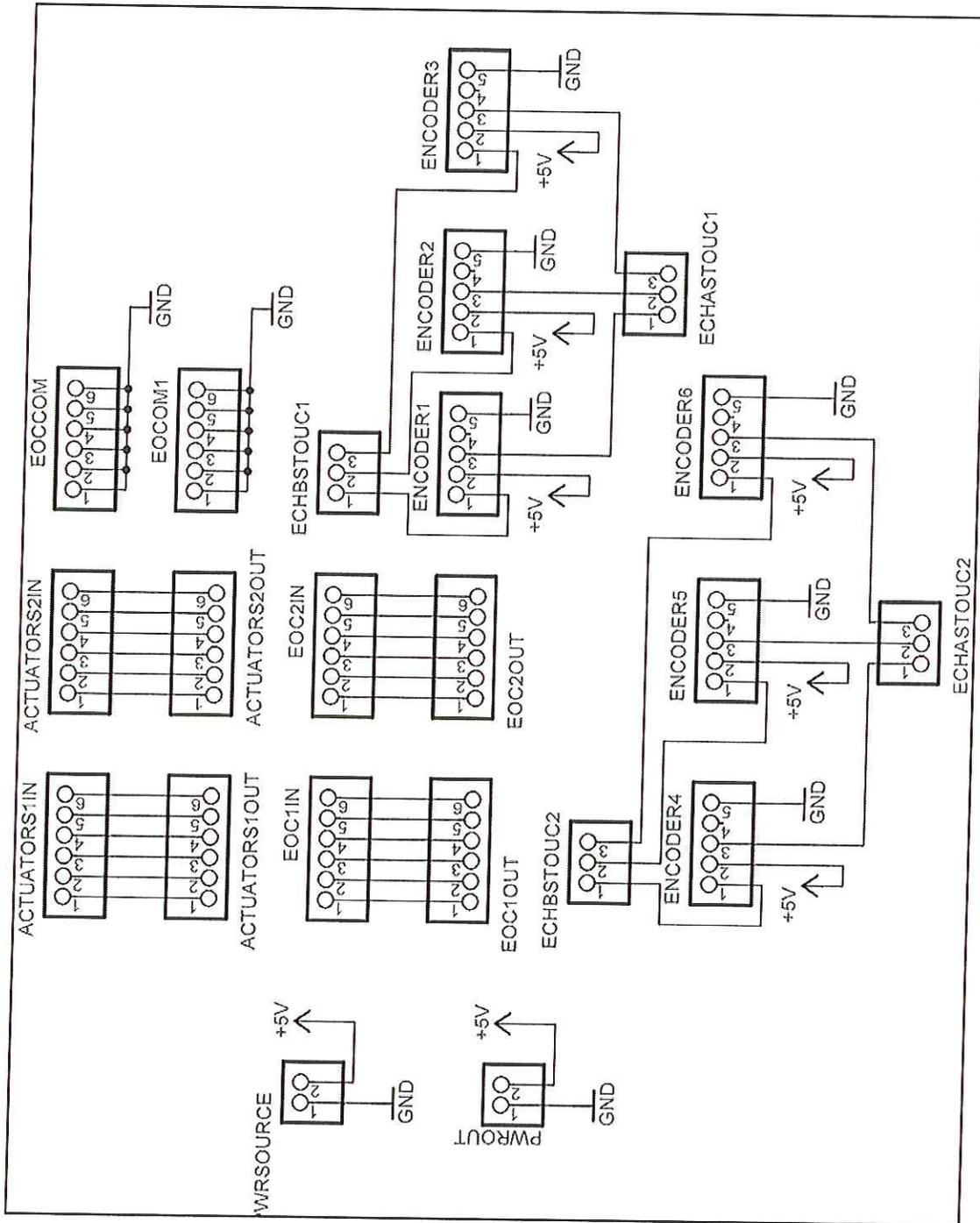
A . Circ ito de Potencia



Elementos de circuito de potencia

- 2 LB1649 (Puente H)
- 6 optoacopladores 4N35
- 2 pines de alimentación de 12 voltios y 2 pines de salida de 12 voltios.
- 2 pines de alimentación de 5 voltios y 2 pines de salida de 5 voltios.
- 6 Pines de conexión al micro que envia la señal
- 6 pines de conexión a los actuadores.

A .4 Diagrama a es e tico de a i entaci n se a de sensores.



Elementos del Circuito Alimentación de Sensores

- 2 pines de alimentación de entrada y 2 pines de alimentación de salida a 5 V.
- 12 entradas y 12 salidas a los actuadores.
- 12 pines para referencia de los encoders de presencia.
- 12 entradas y 12 salidas de las señales de los sensores de presencia.
- 6 formaciones de 5 pines cada una para los encoders.
- 6 pines de salida de los canales A de los sensores.
- 6 pines de salida de los canales B de los sensores.