



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

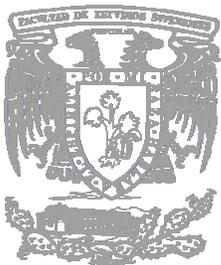
“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN ROBOT
CUADRÚPEDO”

TRABAJO DE TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
“INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA”

PRESENTAN:

MARIO ALBERTO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
ABRAHAM APOLO GONZÁLEZ TOKUN-HAGA

ASESOR: ING. JORGE BUENDÍA GÓMEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

Resumen	.....	i
Objetivos	.....	ii
Introducción	.....	iii
Índice Analítico	.....	v
Índice de Figuras	.....	vii
Índice de Tablas	.....	ix
Capítulo 1. Estado del Arte de las Máquinas Caminadoras.		
1.1 Antecedentes Históricos	.....	1
1.2 Origen y Desarrollo de la Robótica	.....	4
1.3 Definición y Clasificación del Robot	.....	7
1.3.1 Definición de Robot Industrial	.....	8
1.3.2 Clasificación del Robot Industrial	.....	10
1.3.3 Robots de Servicio y Teleoperados	.....	10
1.4. Estado del Arte	.....	13
1.5 Aplicaciones	.....	16
Capítulo 2. Definición de los Parámetros del Prototipo.		
2.1 Tamaño	.....	18
2.2 Material	.....	18
2.3 Peso	.....	22
Capítulo 3. Obtención del Modelo Cinemático.		
3.1 Definiciones	.....	23
3.2 Mecanismo	.....	28
3.3 Análisis cinemático	.....	29
Capítulo 4. Selección de los Actuadores de acuerdo a los Parámetros Motrices.		
4.1 Sistemas de coordenadas	.....	32
4.2 Condición estable y su análisis	.....	33
4.3 Secuencia estándar	.....	34
4.4 Actuadores	.....	36
4.5 El Servomotor	.....	37
Capítulo 5. Selección e Implementación de los Dispositivos Electrónicos.		
5.1 Microcontroladores	.....	45
5.2 Ejecución de un programa	.....	48
5.3 Conexión del cable serial	.....	49
5.4 Conectores seriales	.....	50
Conclusiones.	.....	51

Apéndice A. Propiedades del Nylamid XL	.....	52
Apéndice B. Especificaciones Eléctricas del BS2sx-IC.	.....	53
Apéndice C. Editor Basic Stamp.	.....	54
Apéndice D. Planos de las Piezas.	.....	65
Apéndice E. Códigos C.N.C. de las Piezas	.....	80
Apéndice F. Costos de Materiales y Tiempo de Maquinado	.....	91
Bibliografía	.....	93

ÍNDICE ANALÍTICO

	Pag
A	
Anchura de pulso	38
ATN	47
Autómata	1
B	
Balancín u oscilador	26
Basic Stamp	45
Biela o acoplador	26
Bípodo	14
C	
Cadena Cinemática	24
Cadena Cinemática Abiertas	24
Cadena Cinemática Cerradas	24
Cuadrúpedos	14
E	
EEPROM	46
Elemento	23
Eslabón	23
Estructura	23
G	
Guard band	39
H	
Hexápodo	15
Hokens, Mecanismo de Línea Recta de	28
Hunting	39
M	
Manivela	26
Máquina	23
Mecanismo	23
Microchip	46

N	
NYLAMID	18
NYLAMID Beneficios	21
NYLAMID Características	19
NYLAMID Usos	20
O	
Octópodo	16
Oscilador	46
P	
P0-P15	47
Par cilíndrico	27
Par Cinemático	24
Par de tornillo o par helicoidal	27
Par giratorio o revoluta	27
Par globular o esférico	27
Par plano	27
Par prismático	27
Pares cinemáticos superiores	26
Pares cinemáticos inferiores	26
Pares envolventes	27
PWM	38
R	
Regulador de 5V	46
Regulador de voltaje de señal serial	46
RES	47
Robot	2
Robot industrial	8
S	
Servomotor	37
SIN	47
SOUT	47
V	
VDD	47
VIN	47
VSS	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.	
Figura 1.1	Sistema de telemanipulación bilateral	03
Figura 1.2.	Robot Unimate 2000. Uno de los primeros modelos comerciales de Unimation	05
Figura 1.3.	Robot IRb6 de la firma sueca ASEA	06
Figura 1.4	Robots Staübli tipo RX pertenecientes a la última generación	07
Figura 1.5	Manipuladores de accionamiento neumático.	08
Figura 1.6.	Algunos tipos de robots actualmente existentes (I).	11
Figura 1.7.	Algunos tipos de robots actualmente existentes (II).	12
Figura 1.8	Robot Bípedo Asimo	14
Figura 1.9	Robot cuadrúpedo ALDURO	15
Figura 1.10	Robot cuadrúpedo BISAM	15
Figura 1.11	Robot Hexápodo MELANIE	16
Figura 1.12	Robot octópodo ROBUG III	16
Figura 3.1	Cadenas cerradas	24
Figura 3.2	Cadena abierta	24
Figura 3.3	Cadena de Watt	24
Figura 3.4	Cadena de Stephenson	24
Figura 3.5	Tipos de elementos por el número de pares	25
Figura 3.6	Pares Inferiores	26
Figura 3.7	Mecanismo de línea recta de Hoekens	28
Figura 3.8	Análisis cinemático del mecanismo de cuatro barras	30

Figura 4.1	Sistema de Coordenadas del Robot cuadrúpedo	32
Figura 4.2	Secuencia de movimiento del robot cuadrúpedo	34
Figura 4.3	Localización del centro de gravedad para el equilibrio del robot cuadrúpedo	35
Figura 4.4	Secuencia estándar para movimiento recto	35
Figura 4.5	Componentes internos de un servomotor	38
Figura 4.6	Señal de control para un servomotor	40
Figura 4.7	Relación de la señal de control y el ángulo de giro	40
Figura 4.8	Diagrama de un servomotor típico de modalismo	41
Figura 4.9	Ubicación de las piezas internas de un servomotor	42
Figura 4.10	Señal de pulsos que controla al servomotor	43
Figura 5.1	Componentes del microcontrolador Basic Stamp BS2sx	45
Figura 5.2	Descripción de pines para el microcontrolador Basic Stamp BS2sx	46
Figura 5.3.	Secuencia para la ejecución de un programa en el microcontrolador Basic Stamp BS2sx	48
Figura 5.4	Conexión del microcontrolador Basic Stamp BS2sx al puerto serial de la computadora	49
Figura 5.5.1	Localización de puertos seriales Db9 y Db25 y puerto paralelo	50
Figura 5.5.2	Conexión del cable serial al puerto Db9	50
Figura 5.5.3	Adaptador Db25 serial a Db9 serial	50
Figura 5.5.4	Conexión del adaptador Db25 a Db9	50
Figura 5.5.5	Adaptador USB-serial	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.1 Autómatas famosos	02
Tabla 1.2 Clasificación de los robots según la AFRI	09
Tabla 1.3 Clasificación de los robots industriales en generaciones	10
Tabla 1.4 Clasificación de los robots según T.M. Knasel	13
Tabla 2.1 Materiales típicos usados en la construcción de robots	22
Tabla 2.2 Relación de peso de las partes del robot cuadrúpedo	22
Tabla 4.1 Características del servomotor parallax modelo #900-00005	37

RESUMEN

El trabajo de tesis tiene como finalidad diseñar, construir y controlar un robot caminador de cuatro extremidades.

Con este prototipo se pretende crear la infraestructura para el desarrollo de un robot que pueda desplazarse sobre superficies irregulares.

Se escogió que fuera un robot de cuatro extremidades, para que el control fuera más simple. Cada extremidad con tres grados de libertad, accionadas por servomotores de C.D. controlados por un microcontrolador.

Tales características hicieron necesario un análisis cinemático y dinámico de los mecanismos involucrados para seleccionar el tipo y número de actuadores que hacen posible la movilidad del robot y también para la planeación de la trayectoria. El número de actuadores es un factor importante, ya que determinó el peso, el consumo de energía, número y tipo de microcontroladores, y tamaño del robot.

Los robots que caminan sobre extremidades articuladas en lugar de hacerlo sobre ruedas u orugas tienen la ventaja de acceder a lugares donde los otros no pueden hacerlo o bien no podrían hacerlo sin destruir el medio al cual acceden, tal es el caso de los tanques militares que aplastan o derriban todo lo que esta a su paso.

OBJETIVOS

- Diseñar y construir una extremidad con tres grados de libertad
- Diseñar y construir el cuerpo del robot
- Determinar una secuencia de movimiento para las extremidades y sus respectivas articulaciones que permitan al robot desplazarse.

El presente trabajo esta dividido en cinco capítulos:

En el capítulo uno se encuentran datos sobre los antecedentes del desarrollo de los robots, de los diferentes tipos de robots, así como su arquitectura.

En el capítulo dos el planteamiento del problema es dividido en tres partes, que abarcan: el tamaño, el tipo de material a emplear y el peso del robot.

El desarrollo de la propuesta para solucionar el problema planteado en el capítulo dos, es el tema que ocupa al **capítulo tres**; el cual comienza con un marco teórico acerca del mecanismo de cuatro barras y la cinemática de un mecanismo. Elementos que fueron usados en el diseño de la extremidad.

Una vez planteado el diseño de la extremidad, es presentado el cuerpo completo del robot, el cual fue planeado para acomodar cuatro extremidades, así como también el montaje de los actuadores y circuitos necesarios.

Posteriormente en el **capítulo cuatro** se hace un estudio de los sistemas de coordenadas, de la condición estable y su análisis, la secuencia estándar, y los actuadores del robot.

Para finalizar en el **capítulo cinco** se hace una selección e implementación de los dispositivos electrónicos, con los datos obtenidos en el capítulo cuatro.

Al final del documento se incluyen las conclusiones y los diferentes apéndices a que dio lugar el trabajo de tesis.

INTRODUCCIÓN

Los robots son dispositivos compuestos de sensores que reciben datos de entrada y que pueden estar conectados a la computadora. Esta, al recibir la información de entrada, ordena al robot que efectúe una determinada acción. Puede ser que los propios robots dispongan de microprocesadores que reciben la entrada de los sensores y que estos microprocesadores ordenen al robot la ejecución de las acciones para las cuales está concebido. En este último caso, el propio robot es a su vez una computadora.

Al oír la palabra robot, a menudo se produce en nuestra mente la imagen de una máquina con forma humana, con cabeza y extremidades. Esta asociación es fruto de la influencia de la televisión o del cine, cuyos anuncios o películas muestran máquinas con forma humana, llamadas androides, que generalmente son pura ficción, ya que o son hombres disfrazados de máquina o, si realmente son máquinas, no efectúan trabajos de los que el hombre se pueda aprovechar.

En la actualidad, los avances tecnológicos y científicos no han permitido todavía construir un robot realmente inteligente, aunque existen esperanzas de que esto sea posible algún día.

Hoy por hoy, una de las finalidades de la construcción de robots es su intervención en los procesos de fabricación. Estos robots, que no tienen forma humana en absoluto, son los encargados de realizar trabajos repetitivos en las cadenas de proceso de fabricación, como por ejemplo: pintar al spray, moldear a inyección, soldar carrocerías de automóvil, trasladar materiales, etc. En una fábrica sin robots, los trabajos antes mencionados los realizan técnicos especialistas en cadenas de producción. Con los robots, el técnico puede librarse de la rutina y el riesgo que sus labores encierran, con lo que la empresa gana en rapidez, calidad y precisión.

En los próximos cien años, seguramente en todas las fábricas del mundo encontraremos robots trabajando y hablando con nosotros de los temas de actualidad en las calles o en nuestros hogares.

Ciencia ficción

En el año de 1920, el escritor de origen checoslovaco Karel Capek, publicó su novela RUR (Rossum's Universal Robots), la cuál fué presentada en obra de teatro en el Teatro Nacional de Praga el 25 de Enero de 1921. "Esta obra trata de dos pequeños seres artificiales de forma humana que responden perfectamente a las órdenes de su creador, aunque al final acaban rebelándose contra él." Para referirse a estos seres, el autor les llamaba robots, derivación del vocablo checo robota, que significa "trabajo obligatorio". Y es así como surge la palabra robot para referirse a los autómatas mecánicos de aquellas épocas. Y a partir de esta novela, se les llama robots a los autómatas.

Después de la publicación de la obra de Capek, los autómatas fueron los protagonistas principales de una infinidad de relatos de ciencia-ficción. La mayoría de los novelistas de aquellos tiempos, consideraban a los autómatas como una amenaza para la existencia de la raza humana. Con este tipo de relatos, el temor hacia los autómatas fue creciendo considerablemente.

Existe un miedo a los robots debido a la evolución tan acelerada que se ha proyectado en muchas de las novelas de ciencia-ficción. Y aunque muchas de estas novelas no están tan fuera de la realidad, no hay por que tenerles pavor al desarrollo de robots, sino todo lo contrario, ya que estos existen para poder facilitar las tareas de los humanos. En la obra de Isaac Asimov, Yo robot publicada en 1940, postula tres leyes que los robots deberán de seguir:

- Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto cuando estas órdenes están en contradicción con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

Aún después de esta publicación de Isaac Asimov, los novelistas seguían cuestionándose en sus obras acerca de la naturaleza de un robot, teniendo la idea de que algún día, el hombre será esclavo de las máquinas, esta idea la plasman en sus novelas; como por ejemplo la novela de Jack Williamson en "Con las manos cruzadas", se muestra como es que la libertad humana se esclaviza por unos robots eficientes que cumplen todas las órdenes que se les dan.

CAPÍTULO 1.

Estado del Arte de las Máquinas Caminadoras

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS [1][3]

A lo largo de toda la historia, el hombre se ha sentido fascinado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: *automatos*. De esta palabra deriva la actual **autómata**: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado. Los mecanismos animados de Herón de Alejandría (85 d.C.) se movían a través de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas y tenían fines lúdicos.

La cultura árabe (siglos VIII a XV) heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no solo para realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dio una aplicación práctica, introduciéndolos en la vida cotidiana de la realeza. Ejemplo de éstos son diversos sistemas dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse. También de este período son otros autómatas, de los que hasta la actualidad no han llegado más que referencias no suficientemente documentadas, como el *Hombre de hierro* de Alberto Magno (1204-1282) o la *Cabeza parlante* de Roger Bacon (1214-1294). Otro ejemplo relevante de aquella época fue el *Gallo de Estrasburgo* (1352). Éste, que es el autómata más antiguo que se conserva en la actualidad, formaba parte del reloj de la torre de la catedral de Estrasburgo y al dar las horas movía las alas y el pico.

Durante los siglos XV y XVI algunos de los más relevantes representantes del renacimiento se interesan también por los ingenios descritos y desarrollados por los griegos. Es conocido el *León mecánico* construido por Leonardo Da Vinci (1452-1519) para el rey Luis XII de Francia, que se abría el pecho con su garra y mostraba el escudo de armas del rey. En España es conocido el *Hombre de palo*, construido por Juanelo Turriano en el siglo XVI para el emperador Carlos V. Este autómata con forma de monje, andaba y movía la cabeza, ojos, boca y brazos.

Durante los siglos XVII y XVIII se crearon ingenios mecánicos que tenían alguna de las características de los robots actuales. Estos dispositivos fueron creados en su mayoría por los artesanos del gremio de la relojería. Su misión principal era la de entretener a las gentes de la corte y servir de atracción en las ferias. Estos autómatas representaban figuras humanas, animales o pueblos enteros. Son destacables entre otros el pato de Vaucanson y los muñecos de la familia Droz y de Mailladert.

Jacques Vaucanson (1709-1782), autor del primer telar mecánico, construyó varios muñecos animados entre los que destaca un flautista capaz de tocar varias melodías y un pato (1738) capaz de graznar, beber, comer, digerir y evacuar la comida. El relojero suizo Pierre Jaquet Droz (1721-1790) y sus hijos Henri-Louis y Jaquet construyeron diversos muñecos capaces de escribir (1770), dibujar (1772) y tocar diversas melodías en un órgano (1773). Estos Aún se conservan en el museo de Arte e Historia de Neuchâstel, Suiza. Contemporáneo de los relojeros franceses y

suizos fue Henry Maillardet, quién construyó, entre otros, una muñeca capaz de dibujar y que aún se conserva en Filadelfia.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se desarrollaron algunas ingeniosas invenciones mecánicas, utilizadas fundamentalmente en la industria, textil, entre las que destacan la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el telar de Jacquard (1801). Este último utilizaba una cinta de papel perforada como un programa para las acciones de la máquina. Es a partir de este momento cuando se empiezan a utilizar dispositivos automáticos en la producción, dando paso a la automatización industrial.

Año	Autor	Autómata
1352	Desconocido	Gallo de la catedral de Estrasburgo
1499	L. Da Vinci	León Mecánico
1525	J. Turriano	Hombre de palo
1738	J de Vaucanson	Flautista, tamborilero, pato, muñecas mecánicas de tamaño humano
1769	W. Von Kempelen	Jugador de ajedrez
1770	Familia Droz	Escriba, organista, dibujante
1805	H. Maillardet	Muñeca mecánica capaz de dibujar

Tabla 1.1 Autómatas famosos

La palabra **robot** fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890-1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra *Rossum's Universal Robot (R.U.R.)*. Su origen es la palabra eslava *robota*, que se refiere al trabajo realizado de manera forzada. Los robots de R.U.R. eran maquinas androides fabricadas a partir de la "fórmula" obtenida por un brillante científico llamado Rossum. Estos robots servían a sus jefes humanos desarrollando todos los trabajos físicos, hasta que finalmente se rebelan contra sus dueños, destruyendo toda la vida humana, a excepción de uno de sus creadores, con la frustrada esperanza de que les enseñe a reproducirse.

El término posiblemente hubiera caído en desuso si no hubiera sido por los escritores del género literario de la ciencia ficción, algunos de los cuales retomaron la palabra, e incluso el mensaje de la obra de Capek: la dominación de la especie humana por seres hechos a su propia imagen. Así, en 1926, Thea von Harbou escribe *Metrópolis*, novela posteriormente llevada al cine por su marido Fritz Lang, en donde la masa obrera de una sociedad superindustrializada es manipulada por un líder androide llamado María.

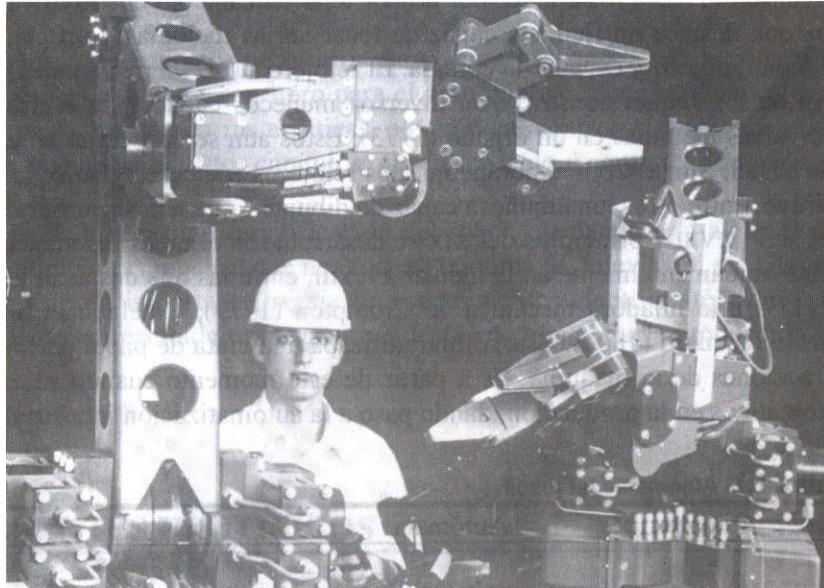


Figura 1.1 Sistema de telemanipulación bilateral

Pero sin duda alguna, fue el escritor americano de origen ruso Isaac Asimov (1920-1992) el máximo impulsor de la palabra robot. En octubre de 1945 publicó en la revista *Galaxy Science Fiction* una historia en la que por primera vez enunció sus tres leyes de la robótica¹.

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.

Se le atribuye a Asimov la creación del término *robotics* (robótica) y sin lugar a duda, desde su obra literaria, ha contribuido decisivamente a la divulgación y difusión de la robótica.

¹ En la novela *Robots e Imperio*, publicada en 1985, Asimov incorporó una cuarta ley, conocida como ley cero: un robot no puede lastimar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daño. Esta ley, de mayor prioridad que la primera (que debe ser modificada en tal sentido), antepone el bien comunitario al individual.

1.2 ORIGEN Y DESARROLLO DE LA ROBÓTICA

El robot como máquina lleva un desarrollo independiente del término robot. Tras los primeros autómatas, casi todos de aspecto humano, los progenitores más directos de los robots fueron los telemanipuladores (Figura 1.1). En 1948 R.C. Goertz del Argonne National Laboratory desarrolló, con el objetivo de manipular elementos radioactivos sin riesgos para el operador, el primer telemanipulador. Éste consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo. El manipulador maestro, situado en la zona segura, era movido directamente por el operador, mientras que el esclavo, situado en contacto con los elementos radioactivos y unido mecánicamente al maestro, reproducía fielmente los movimientos de éste. El operador además de poder observar a través de un grueso cristal el resultado de sus acciones, sentía a través del dispositivo maestro, las fuerzas que el esclavo ejercía sobre el entorno.

Años más tarde, en 1954, Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servocontrol sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica y desarrollando así el primer telemanipulador con servocontrol bilateral. Otro de los pioneros de la telemanipulación fue Ralph Mosher, ingeniero de la General Electric que en 1958 desarrolló un dispositivo denominado Handy-Man, este consiste en dos brazos mecánicos teleoperados mediante un maestro del tipo denominado exoesqueleto.

Junto a la industria nuclear, a lo largo de los años sesenta la industria submarina comenzó a interesarse por el uso de los telemanipuladores. A este interés se sumó la industria espacial en los años setenta.

La evolución de los telemanipuladores a lo largo de los últimos años no ha sido tan espectacular como la de los robots. Recluidos en un mercado selecto y limitado, son en general desconocidos y comparativamente poco atendidos por los investigadores y usuarios de robots. Por su propia concepción, un telemanipulador precisa del mando continuo de un operador, y salvo por las aportaciones incorporadas con el concepto del control supervisado y la mejora de la telepresencia promovida hoy en día por la realidad virtual, sus capacidades no han variado mucho respecto a las de sus orígenes.

La sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot.

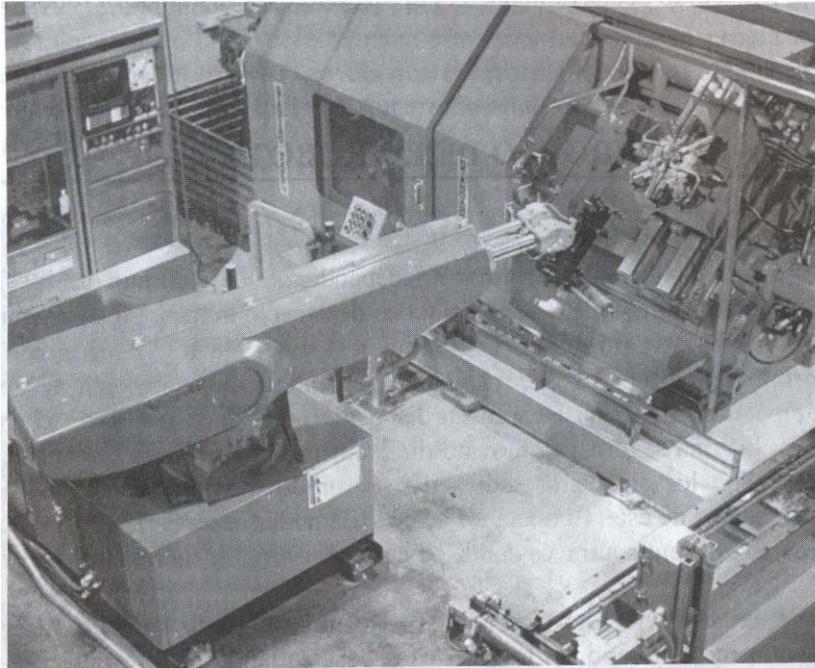


Figura 1.2 Robot Unimate 2000. Uno de los primeros modelos comerciales de Unimation.

La primera patente de un dispositivo robótico fue solicitada en marzo de 1954 por el inventor británico C.W. Kenward. Dicha patente fue emitida en el Reino Unido en 1957 con el número 781465. Sin embargo, fue George C. Devol, ingeniero norteamericano, inventor y autor de varias patentes, el que estableció las bases del robot industrial moderno. En 1954 Devol concibió la idea de un dispositivo de *transferencia de artículos programada* que se patentó en Estados Unidos en 1961 con el número 2988237. En 1956 pone esta idea en conocimiento de Joseph F. Engelberger (1925-), ávido lector de Asimov y director de ingeniería de la división aeroespacial de la empresa Manning Maxwell y Moore en Standford, Connecticut. Juntos Devol y Engelberger comienzan a trabajar en la utilización industrial de sus máquinas, fundando la Consolidated Controls Corporation, que más tarde se convierte en Unimation (Universal Automation), e instalando su primera máquina Unimate (1960) similar a la de la Figura 1.2 en la fábrica de General Motors de Trenton, Nueva Jersey, en una aplicación de fundición por inyección. Otras grandes empresas como la AMF, emprendieron la construcción de máquinas similares (Versatran, 1963), que más tarde por motivos comerciales se denominarían con el término robot procedente de la ciencia ficción y a pesar de no contar con la apariencia humana.

En 1968 J.F. Engelbergen visitó Japón y poco más tarde se firmaron acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. El crecimiento de la robótica en Japón aventajó en breve a los Estados Unidos gracias a Nissan, que formó la primera asociación robótica del mundo, la *Asociación de Robótica Industrial de Japón* (JIRA) en 1972. Dos años más tarde se formó el *Instituto de Robótica de América* (RIA), que en 1984 cambió su nombre por el de *Asociación de Industrias Robóticas*, manteniendo las mismas siglas (RIA).

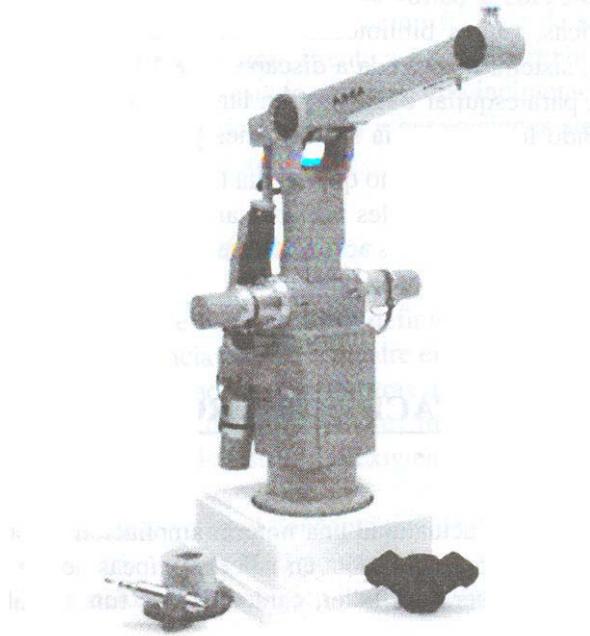


Figura 1.3. Robot IRb6 de la firma sueca ASEA

Por su parte Europa tuvo un despertar más tardío. En 1973 la firma sueca ASEA construyó el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico, el robot IRb6 (Figura 1.3), seguido un año más tarde del IRb60. En 1980 se fundó la Federación Internacional de Robótica con sede en Estocolmo, Suecia.

La configuración de los primeros robots respondía a las denominadas configuraciones esférica y antropomórfica, de uso especialmente válido para la manipulación. En 1982, el profesor Makino de la Universidad Yamanashi de Japón, desarrolla el concepto de robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) que busca un robot con un número reducido de grados de libertad (3 ó 4), un coste limitado y una configuración orientada al ensamblado de piezas.

La evolución de los robots industriales desde sus inicios ha sido vertiginosa. En poco más de 30 años las investigaciones y desarrollos sobre robótica industrial han permitido que los robots tomen posiciones en casi todas las áreas productivas y tipos de industria. En pequeñas o grandes fábricas, los robots pueden sustituir al hombre en aquellas tareas repetitivas y hostiles, adaptándose inmediatamente a los cambios de producción solicitados por la demanda variable. En la Figura 1.4 se muestra un modelo comercial de robot industrial.

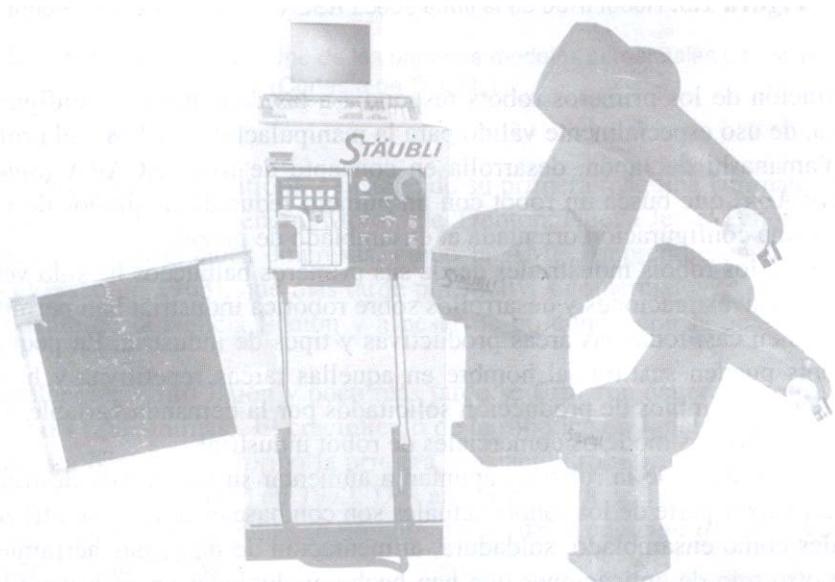


Figura 1.4 Robots Staübli tipo RX pertenecientes a la última generación.

Los futuros desarrollos de la robótica apuntan a aumentar su movilidad, destreza y autonomía de sus acciones. La mayor parte de los robots actuales son con base estática, y se utilizan en aplicaciones industriales tales como ensamblado, soldadura, alimentación de máquinas herramientas, etc. Sin embargo, existen otro tipo de aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida tanto la concepción de los robots como su propia morfología. Entre estos robots dedicados a aplicaciones no industriales destacan los robots espaciales (brazos para lanzamiento y recuperación de satélites, vehículos de exploración lunar, robots para construcción y mantenimiento de hardware en el espacio), robots para aplicaciones submarinas y subterráneas (exploración submarina, instalación y mantenimiento de cables telefónicos submarinos, limpieza e inspección de tuberías y drenajes subterráneos, inspección de sistemas de refrigeración de centrales nucleares), robots militares (desactivación de bombas, robots centinelas experimentales dedicados a patrullar áreas críticas), robots móviles industriales (robots bombero para patrullar fábricas, robots bibliotecarios, robots andantes con piernas), aplicaciones médicas (prótesis robotizadas, sistemas de ayuda a discapacitados), aplicaciones agrícolas (sembrado y recolección de cosechas, robot para esquila de ovejas), etc.

1.3 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ROBOT

La robótica está experimentando en la actualidad una notoria ampliación de sus campos de actuación. Saturadas en cierta medida las aplicaciones fuera del taller, caracterizadas fundamentalmente por la falta de estandarización del producto y del proceso y la no estructuración del entorno.

Buena parte de las definiciones y clasificaciones de los robots existentes responde al robot ampliamente utilizado hasta la fecha, destinado a la fabricación flexible de series medidas y que se conoce como **robot industrial** o robot de producción. Frente a éstos, los robots especiales, también denominados robots de servicio, están aún en un estado de desarrollo incipiente, aunque es previsible un considerable desarrollo de los mismos.

1.3.1 DEFINICIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL

Existen ciertas dificultades para establecer una definición formal de lo que es un robot industrial. La primera de ellas surge de la diferencia conceptual entre el mercado japonés y el euro-americano de lo que es un robot y lo que es un manipulador. Así, mientras que para los japoneses un robot industrial es cualquier dispositivo mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a la manipulación (ver Figura 1.5), el mercado occidental es más restrictivo, exigiendo una mayor complejidad, sobre todo en lo relativo al control.

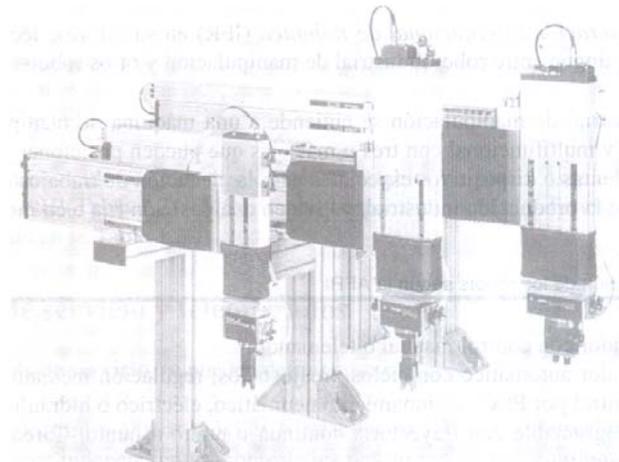


Figura 1.5 Manipuladores de accionamiento neumático.

En segundo lugar, y centrándose ya en el concepto occidental, aunque existe una idea común acerca de lo que es un robot industrial, no es sencillo establecer un criterio al establecer una definición formal. Además, la evolución de la robótica ha ido obligando a diferentes actualizaciones de su definición.

La definición más comúnmente aceptada es la de la *Asociación de Industrias Robóticas (RIA)*, según la cual:

Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

Esta definición ligeramente modificada, ha sido adoptada por la *Organización Internacional de Estándares* (ISO) que define al robot industrial como:

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.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la *Asociación Francesa de Normalización* (AFNOR) que define primero el manipulador:

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 un 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 tiene 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.

Por último, la *Federación Internacional de Robótica* (IFR) en su informe técnico ISO/TR 83737 (septiembre 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 más 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, ya sea en una posición fija o en movimiento.

En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y multifunción se consigue sin modificaciones físicas del robot.

Tipo A	Manipulador con control manual o telemando.
Tipo B	Manipulador automático con ciclos preajustados, regulación mediante fines de carrera o topes, control por PLC, accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre su entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de éstos.

Tabla 1.2 Clasificación de los robots según la AFRI

1 ^a Generación	<p>Repite la tarea programada secuencialmente.</p> <p>No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.</p>
2 ^a Generación	<p>Adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia.</p> <p>Puede localizar, clasificar (visión) y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.</p>
3 ^a Generación	<p>Su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural.</p> <p>Posee capacidad para la planificación automática de tareas.</p>

Tabla 1.3 Clasificación de los robots industriales en generaciones

Común a todas las definiciones anteriores es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL

La IFR distingue entre cuatro tipos de robots:

- Robot secuencial.
- Robot de trayectoria controlable.
- Robot adaptativo.
- Robot telemanipulado.

Esta clasificación coincide en gran medida con la establecida por la Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) (Tabla 1.2). Más simple y específica es la clasificación de los robots según generaciones recogida en la Tabla 1.3.

1.3.3 ROBOTS DE SERVICIO Y TELEOPERADOS

En cuanto a los robots de servicio, se pueden definir como:

Dispositivos electromecánicos móviles o estacionarios, dotados de uno o varios brazos mecánicos independientes, controlados por un programa de ordenador y que realizan tareas no industriales de servicio [2]

En esta definición entrarían los robots dedicados a cuidados médicos, educación, domésticos, uso en oficinas, intervención en ambientes peligrosos, aplicaciones

espaciales, aplicaciones submarinas y agricultura. Esta definición de robots de servicio excluye los telemanipuladores, pues éstos no se mueven mediante el control de un programa de ordenador, sino que están controlados directamente por el operador humano.

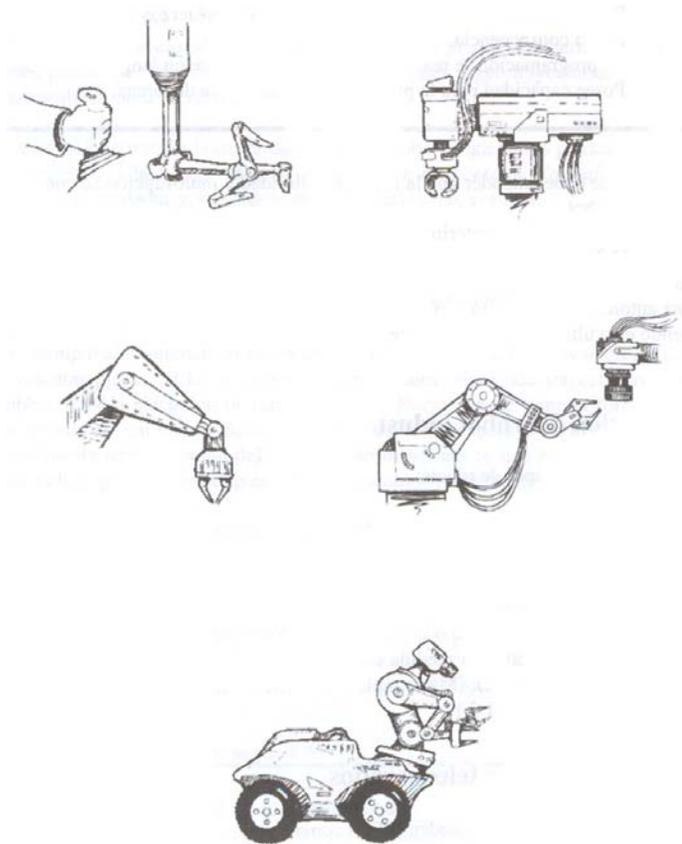


Figura 1.6. Algunos tipos de robots actualmente existentes (I).

Los robots teleoperados son definidos por la NASA (1978) como:

Dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores y cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador.

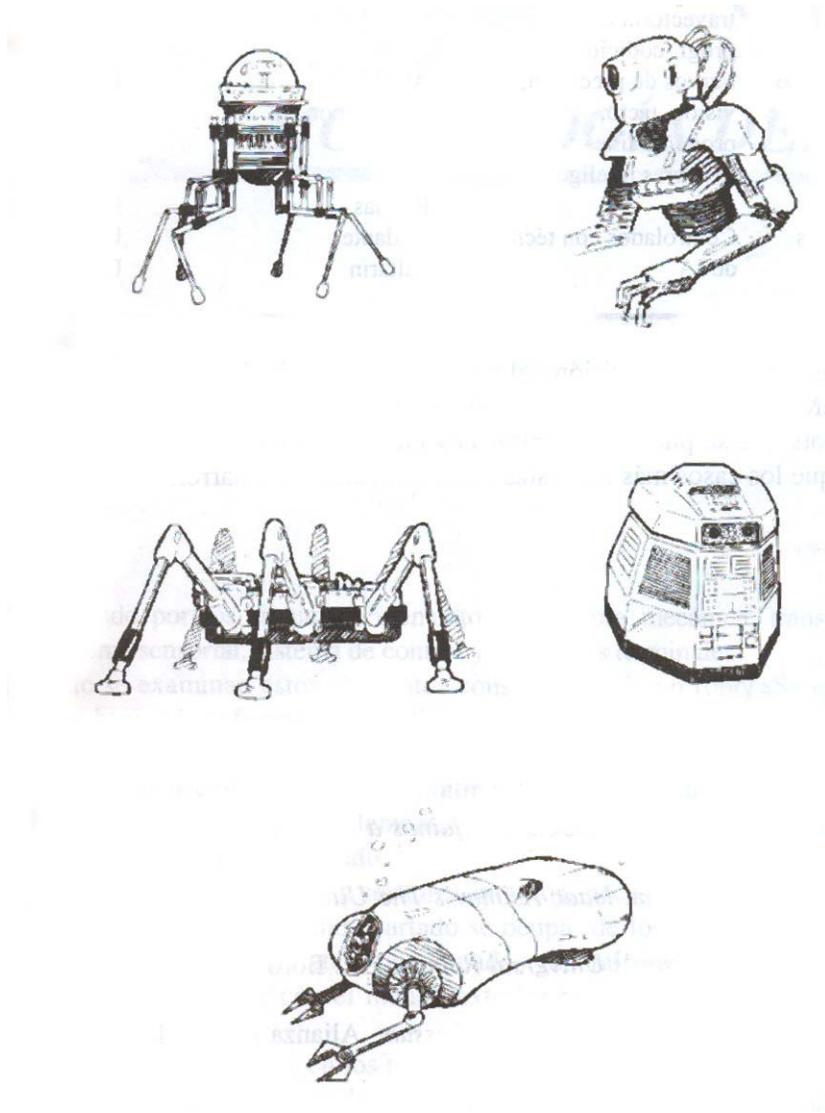


Figura 1.7. Algunos tipos de robots actualmente existentes (II).

Generación	Nombre	Tipo de control	Grado de movilidad	Usos más frecuentes
1ª (1982)	Pick & place	Fines de carrera, aprendizaje	Ninguno	Manipulación, servicio de máquinas
2ª (1984)	Servo	Servocontrol, trayectoria continua, programación condicional	Desplazamiento Por vía	Soldadura, pintura
3ª (1989)	Ensamblado	Servicios de precisión, visión, tacto, programación off-line	AGV Guiado por vía	Ensamblado Desbarbado
4ª (2000)	Móvil	Sensores inteligentes	Patatas Ruedas	Construcción Mantenimiento
5ª (2010)	Especiales	Controlados con técnicas de I.A.	Andante Saltarín	Uso militar Uso espacial

Tabla 1.4 Clasificación de los robots según T.M. Knasel

Con el fin de dar una visión del posible futuro, se incluye en la Tabla 1.4 la clasificación propuesta por T.M. Knasel {Knasel-86}. La Figura 1.6 y la Figura 1.7 recrean algunos diversos tipos de robots que se pueden encontrar en la actualidad, aunque los casos más futuristas están en estado de desarrollo en los centros de investigación de robótica.

1.4 ESTADO DEL ARTE [4]

Una de las arquitecturas más versátiles para desplazarse en cualquier terreno es: a base de extremidades. Esto es cierto porque los robots caminantes (las máquinas caminadoras) no requieren que el terreno sea uniformemente plano para desplazarse; a diferencia de los vehículos con ruedas, que si necesitan de grandes extensiones de terreno plano para moverse. Además los vehículos a base de extremidades no necesitan de rampas para desplazarse entre diferentes niveles de altura del terreno. Estas características son vitales para una buena exploración del terreno, especialmente en ambientes nuevos y desconocidos. [1]

En diferentes partes del mundo se han construido robots caminantes (máquinas caminadoras). Los primeros aproximadamente desde 1979.

Al igual que los sistemas biológicos, los robots caminantes pueden ser clasificados por su número de articulaciones:

Bípedo (dos extremidades), el más famoso de los robots bípedos. Los ASIMO P2 y P3 de Honda son robots que han sido desarrollados desde 1986 y son el proyecto con el presupuesto más alto para robots humanoides. Son capaces de caminar en línea recta, girar y subir escaleras con una velocidad comparable a la de los seres humanos. [5]



Figura 1.8 Robot Bípedo Asimo

Cuadrúpedos (cuatro extremidades). Ejemplos de este tipo son: ALDURO Anthropomorphically Legged and Wheeled Duisburg Robot (por sus siglas en inglés). Este robot mide 3.5 m de alto y pesa 1500 kg. Equipado con cuatro extremidades hidráulicas idénticas. En terrenos menos accidentados los pies de las piernas traseras pueden ser reemplazados por las ruedas para aumentar velocidad y estabilidad. Este principio ya se ha comprendido en los excavadores móviles, manejados por un operador humano. BISAM Biologically Inspired Walking Machine es accionado por motores de corriente directa. La cinemática del cuerpo se ha diseñado con cuatro grados de libertad para permitir al robot caminar por terrenos irregulares. Las cuatro extremidades son idénticas, cada una tiene cuatro grados de libertad. El robot BISAM (la máquina caminadora) es comparativamente más pequeño que ALDURO. Tiene una altura de 75 centímetros y un peso de aproximadamente 20 kg. ALDURO y BISAM se han diseñado y construido en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Computación (Forschungszentrum Informatik (FZI)) en Karlsruhe en Alemania de 1996 a 2002 [6]

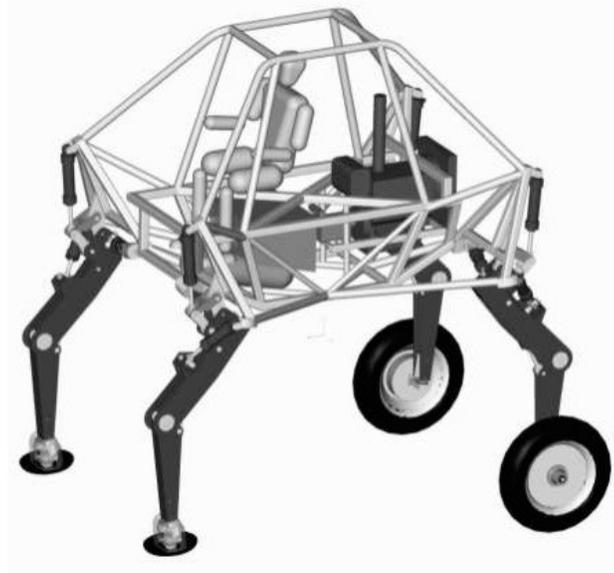


Figura 1.9 Robot cuadrúpedo ALDURO

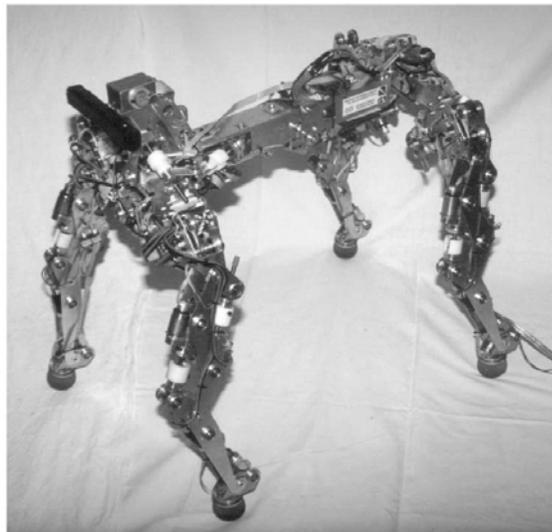


Figura 1.10 Robot cuadrúpedo BISAM

Hexápodo (seis extremidades) esta configuración es de la que hay mas variedad de modelos los hay como kit para experimentos y proyectos en diferentes universidades. Un ejemplo es: el robot "MELANIE". Mide 0.31 m. de altura y pesa 2.1 kg, es accionado por servomotores; utiliza dos baterías de Niquel- Cadmio. Cada pierna tiene 3 grados de libertad. En pruebas de laboratorio ha mostrado su capacidad de subir y caminar con 4.5 kg, dos veces su propio peso. Se diseño y construyo por Alejandro Alonso-Puig de la Universidad Politecnica de Madrid en España de Enero a Abril de 2004. su costo fue de 500 Euros. [7]



Figura 1.11 Robot Hexápodo MELANIE

Octópodo (ocho extremidades) en los modelos existentes el octópodo es muy similar al hexápodo en su anatomía con dos bancadas paralelas de extremidades, aunque también hay modelos que imitan la distribución de extremidades de la araña. También los hay en kits para experimentar y prototipos de universidades. Un ejemplo es: El ROBUG III. Mide 0.6m de altura y pesa 60 kg., accionado por cilindros neumáticos. Se diseño y construyo en el Department of Electrical Engineering, Anglesea Building, Anglesea Road, University Portsmouth PO1 3DJ, United Kingdom de Enero de 1993 a Diciembre de1995. [8]

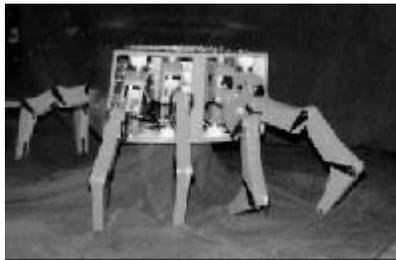


Figura 1.12 Robot octópodo ROBUG III

1.5 APLICACIONES [9]

Las aplicaciones comerciales de los robots caminadores y escaladores fueron inicialmente en la industria nuclear y espacial que demandan estricto funcionamiento en ambientes peligrosos y hostiles para el ser humano. Las aplicaciones actuales en la industria nuclear han sido formulados por la industria núcleo eléctrica de Francia e Italia para cubrir la necesidad de que los robots puedan maniobrar de manera confiable en distintos ambientes y con cierto grado de autonomía. Adicionalmente se requiere que estas maquinas sean ligeras, tengan una relación alta fuerza/peso, que

sean capaces de adaptarse a situaciones cambiantes de una manera inteligente, que posean habilidad para escalar superficies verticales, capacidad para desplazarse de piso a pared y de pared a techo, además de librar obstáculos. Evidentemente cada robot deberá tener una o dos de dichas características para ciertas aplicaciones.

Conforme la tecnología ha avanzado un número mayor de sectores de la industria ha mostrado interés en ella, dado que la misma tecnología puede ser adaptada a distintas aplicaciones tales como:

- Limpieza de barcos
- La industria costa afuera de petróleo y gas.
- La industria minera
- La industria de la construcción
- Inspección de estructuras muy altas
- La industria química en caso de accidentes o para inspección y mantenimiento en reactores
- Identificación de puntos calientes en contenedores de combustible de la industria nuclear
- Limpieza de paneles de vidrio en edificios altos

Se ha identificado que los robots escaladores y caminadores pueden dar solución a distintos problemas de inspección, mantenimiento y seguridad de dichas industrias. Las capacidades de dichas maquinas tanto en aplicaciones industriales como en prototipo han demostrado su potencial para ser utilizadas como vehículos para realizar tareas en áreas peligrosas o actuar como plataformas de trabajo para laborar en áreas que antes eran inaccesibles. Sin embargo dado que cada industria tiene requerimientos específicos la tendencia ha sido que el desarrollo de los robots se ha realizado de manera des-coordinada dando lugar a muchos “reinventos” debido a la naturaleza fragmentada de la robótica de uso industrial. Para atender dicha problemática empresas como CLAWAR de los E. U. A poseen redes de expertos en desarrollo de robots.

REQUERIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN PARA LAS APLICACIONES INDUSTRIALES

Se han identificado los siguientes requerimientos de investigación para la industria: Vehículos escaladores en pared. Para la *industria nuclear* se requiere mejorar aplicaciones en operación remota. Construcción de edificios. Para inspección y mantenimiento, por ejemplo limpieza de ventanas. Existe una necesidad para labores de mantenimiento de estructuras y casco de flotación de plataformas marinas. *Buceo*. Para inspección de puentes y limpieza de ductos en plantas hidroeléctricas, además de limpieza de drenajes y de barcos en operación. *Minería*. Detección de gases explosivos y combustión espontánea. *Industria química*. Colección de muestras en tierras contaminadas, inspección de equipo contaminado, mediciones ultrasónicas de grandes recipientes. *Servicios de emergencia*. Para incursionar en áreas devastadas por fuego o terremoto. *Aire acondicionado*. Inspección y mantenimiento de tuberías. *Aplicaciones militares*. Localización de minas

CAPÍTULO 2.

Definición de los Parámetros del Prototipo

2.1 TAMAÑO

Algunas de las consideraciones que se analizaron para definir el tamaño del prototipo fueron:

- *Secuencia de locomoción*, ya que, de la ubicación de las extremidades depende el equilibrio del robot durante el movimiento. El ancho y el largo del cuerpo son factor fundamental para el equilibrio.
- *Colocación de tarjeta electrónica*, ésta va montada en el cuerpo del robot, la cual contendrá los componentes electrónicos necesarios para el control de los servomotores.
- *Torque requerido*, los diferentes brazos de palanca encontrados en los mecanismos y eslabonamientos dependen de las dimensiones de las piezas.
- *Capacidad de la máquina empleada para fabricar las piezas*, la fresa de control numérico que hay en la facultad no es de gran capacidad ya que su objetivo principal es la enseñanza.

2.2 MATERIAL [10]

Se empleó un material poco utilizado en la construcción de robots, por lo regular se ocupan materiales como el aluminio o el acero. Pero los metales han empezado a ser sustituidos por polímeros de ingeniería. El material empleado es el Nylamid.

El **Nylamid** es un plástico de ingeniería de varias familias de polímeros, como nylon, polietileno y acetal, entre otros, fabricados por vaciado, moldeo por compresión y extrusión, de acuerdo a los adelantos más recientes de la tecnología de los plásticos. Los productos Nylamid nacieron en el año de 1969 en el Grupo Industrias Resistol, colocándose como líderes en el mercado nacional, posteriormente la marca y los derechos de fabricación fueron adquiridos por Plásticos de Mantenimiento, S.A. de C.V.

En el año de 1994 surgió una asociación con el líder mundial en la fabricación de plásticos de ingeniería, DSM Engineering Plastic Products favoreciendo la transferencia de tecnología de punta en el proceso de fabricación. El 1° de Enero del 2001 la división de Engineering Plastic Products de DSM es comprada por la holding Quadrant de Zurich, Suiza.

CARACTERÍSTICAS

Los plásticos tienen como cualidades generales, ser muy ligeros y resistentes a la oxidación, principalmente. Sin embargo, esto no es suficiente, ya que la industria demanda materiales que satisfagan necesidades aun mas complicadas y diversas.

El Nylamid ofrece múltiples alternativas de solución a estos requerimientos, ya que los diferentes productos cuentan con las características más apropiadas para cada caso, entre las más importantes mencionamos las siguientes:

- Estabilidad dimensional.
- Maleabilidad.
- Compatibilidad para usarse en contacto con alimentos, sin contaminar.
- Resistencia al desgaste.
- Resistencia dieléctrica.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia química.
- Resistencia térmica.
- Rigidez

EL Nylamid no presenta problema de corrosión y es resistente al ataque químico como los son:

- Atmósferas húmedas
- Salinas altamente corrosivas
- Hidrocarburos alifáticos (gasolina, aceites lubricantes)
- Aceites y grasas
- Alcalis diluidos y con concentraciones no superior a 30% en frío.
- Jabones
- Ácidos minerales diluidos (clorhídricos y sulfúricos, con concentraciones no superiores a 5% en frío.
- La mayor parte de los ácidos orgánicos.

Desde el punto de vista mecánico, Nylamid ofrece:

- Resistencia al impacto, absorbe cargas que pueden fracturar los dientes de metal.
- Reducción de ruido, las piezas hechas de Nylamid son silenciosas además, absorbe el ruido producido por las piezas metálicas.
- Reducción de peso, Nylamid es de 2 a 8 veces más ligero que los metales.
- Resistencia dieléctrica, debido a sus propiedades aislantes, es un material idóneo para ser aplicado en equipos eléctricos.
- Seguridad, no produce chispas y es auto extingible.

Comparado con otros materiales Nylamid presenta:

- Más fácil de maquinar que el bronce y el acero
- Más resistencia a la fricción que el bronce fosforado
- Más resistencia a la corrosión que el bronce y el acero standard
- Más resistencia al impacto que el bronce y el teflón.
- Más resistencia a la abrasión que el bronce y el acero.

HAY UN NYLAMID PARA CADA APLICACIÓN:

- Nylamid "XL" Extra lubricado (color verde).
- Nylamid "SL" Prelubricado (color negro).
- Nylamid "M" Mecánico Normal (color hueso).
- Nylamid "TS" Tabla de suaje (color ámbar).
- Nylamid "6/6" (son producidos por extrusión y se pueden fabricar hasta en largos de 244 cms., lo hay con carga de bisulfuro de molibdeno).

Dentro de la familia de Nylamid también hay:

- Nylamid "RA" = UHMWPE = Polietileno de ultra alto peso molecular.
- Nylamid "H" = Polietileno de alta densidad para uso sanitario.
- Nylamid "P" = Acetal.

El Nylamid viene en presentación:

- Barra = de 3/16 hasta 16" de diámetro.
- Placa = de 1/4 hasta 5" de espesor.
- Barra cuadrada = de 1" hasta 8".
- Buje = de 2x1" hasta 14 1/2x12" x 61 cms.

USOS

La versatilidad de los productos Nylamid ha ayudado a resolver problemas de diseño de partes para equipo original o de sustitución de refacciones fabricadas con otros materiales, como: acero, bronce, aluminio, madera, cerámica, celoron y otros plásticos, en un sinnúmero de sectores industriales, tales como:

- | | |
|---------------------|-------------------|
| • Alimenticio | • Papelero |
| • Siderúrgico | • Naval |
| • Embotellador | • Textil |
| • Azucarero | • Minero |
| • Constructor | • Farmacéutico |
| • Bienes de capital | • Transportadores |

Los usos más frecuentes que se le da al nylamid, son los siguientes:

- | | |
|--------------|---------------------------|
| • Cojinetes. | • Guías de desgaste. |
| • Engranés. | • Aislantes dieléctricos. |
| • Ruedas. | • Aislantes térmicos. |
| • Poleas. | • Soportes. |
| • Rodillos. | |

BENEFICIOS

- **Buena relación Costo-Beneficio.** El rendimiento de la piezas fabricadas con productos Nylamid, en combinación con el precio, es sin duda el principal motivo para su aplicación, ya que aunque en algunas ocasiones existan materiales más baratos, su limitada durabilidad generan gastos extras derivados de la mayor frecuencia de recambio de las refacciones, los paros para mantenimiento, montaje y desmontaje, etc.
- **Facilidad de maquinado.** Por su suavidad la mayoría de nuestros productos se maquinan mucho mas rápido que los metales, dando como resultado, ahorros muy significativos.
- **Ligereza.** Por pesar menos que los metales, los plásticos exigen menor esfuerzo de los motores, contribuyendo así a consumir menos energía.
- **Menor consumo de lubricantes.** Gracias a su bajo coeficiente de fricción el Nylamid ayuda a reducir el consumo de lubricantes y en algunos casos hasta lo elimina.
- **Reduce el nivel de ruido.** La capacidad de absorción de impactos tan característica de los plásticos ayudan a disminuir la emisión de ruido provocado por las partes que trabajan en movimiento y en contacto directo entre si.
- **Disponibilidad.** Contamos con una amplia gama de productos, presentaciones y medidas para satisfacer las necesidades del mercado, contribuyendo a reducir las importaciones.

2.3 PESO

El peso del prototipo se relaciona directamente con el material empleado para su construcción. El Nylamid es un material con baja densidad, en comparación con los materiales típicos usados en la construcción de robots.

MATERIAL	DENSIDAD(gr/cm³)
Acero	7.87
Aluminio	2.70
Nylamid	1.14

Tabla 2.1 Materiales típicos usados en la construcción de robots

Como se puede observar en la tabla, el Nylamid tiene poco menos de la mitad de la densidad del aluminio y una séptima parte del acero. El peso del robot se reduce considerablemente al construirlo con Nylamid; que con acero o aluminio, los requerimientos del par de torsión también son menores.

La distribución del peso del robot se observa en la siguiente tabla:

ELEMENTO	PESO UNITARIO(gr)	CANTIDAD	PESO TOTAL (gr)	PORCENTAJE (%)
Base extremidad	22.22	4	88.91	8.11
Eslabón corto	4.24	12	50.89	4.64
Eslabón largo	7.93	4	31.74	2.89
Eslabón curvo	12.03	4	48.15	4.39
Eslabón motor	0.68	4	2.74	0.25
Chasis	256.82	2	513.64	46.86
Motores	45	8	360	32.84
TOTAL			1096.05	100

Tabla 2.2 Relación de peso de las partes del robot cuadrúpedo

CAPÍTULO 3.

Obtención del Modelo Cinemático

3.1 DEFINICIONES

Maquinas y Mecanismos

^{2(*)} Reuleaux define una **máquina** como una “combinación de cuerpos resistentes de tal manera que, por medio de ellos, las fuerzas mecánicas de la naturaleza se pueden encauzar para realizar un trabajo acompañado de movimientos determinados”.

Define un **mecanismo** como la “combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones móviles para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo, y cuyo propósito es transformar el movimiento”. Otra definición de mecanismo es: “sistema mecánico formado por distintos elementos rígidos o flexibles unidos entre sí, de modo que existe la posibilidad de movimiento relativo entre ellos”.

Se define **estructura** como: una combinación de cuerpos (rígidos) resistentes conectados por medio de articulaciones. Una estructura tiene por objeto ser rígida, y carece de movilidad interna (no tiene movimientos relativos entre sus miembros, mientras que las máquinas y los mecanismos los tienen). De hecho, el propósito real de una máquina o un mecanismo es aprovechar estos movimientos internos relativos para transmitir potencia o transformar el movimiento.

Una máquina difiere de un mecanismo en su propósito. En una máquina, los términos fuerza, momento de torsión (o par motor), trabajo y potencia describen los efectos predominantes. Sin embargo, en un mecanismo, aunque puede transmitir la potencia de una fuerza, el concepto predominante que tiene presente el diseñador es lograr el movimiento deseado.

Eslabón o Elemento

El término **eslabón** o **elemento** se utiliza para designar a cada una de las piezas de una máquina o cada uno de los componentes de un mecanismo. Los eslabones, por regla general, se suponen completamente rígidos. Cuando no se adaptan a esa hipótesis de rigidez (por ejemplo, un resorte) no tienen normalmente efecto alguno sobre la cinemática del sistema, aunque sí sobre las fuerzas presentes en el mismo.

^{1(*)} Franz Reuleaux (1829-1905), publicó su obra Theoretische Kinematik en 1875. Definió seis componentes básicos de los mecanismos: el eslabón, la rueda, la leva, el tornillo, el trinquete y la banda (o correa). También definió los pares “superior” e “inferior”. A Reuleaux se le considera como el padre de la cinemática moderna, y creo la notación simbólica de los eslabonamientos esqueléticos genéricos utilizados en los textos de cinemática actual.

Puede ocurrir que un elemento posea rigidez unilateral (una correa, una cuerda o una cadena), es decir se considera eslabón en la tracción, que es cuando presenta rigidez, pero no así en la compresión.

La suposición de rigidez indica que no puede haber movimiento relativo entre dos puntos arbitrariamente seleccionados de un mismo eslabón.

Par Cinemático

Los eslabones se deben conectar entre sí de manera que transmitan movimiento del impulsor (eslabón de entrada) al seguidor (eslabón de salida). A cada una de las conexiones o articulaciones entre eslabones se le llamará par cinemático.

Cadena Cinemática

Una cadena cinemática está constituida por un conjunto de eslabones unidos mediante pares cinemáticos que permiten movimientos relativos, de forma que ninguno de los eslabones está fijo. A su vez, se pueden unir cadenas cinemáticas simples para obtener cadenas cinemáticas más complicadas.

Las cadenas cinemáticas se dividen en:

Cerradas: son aquellas en las que se conectan, al menos tres eslabones; de tal manera que está unido el inicio de un eslabón con el final de otro, formando un circuito cerrado (por ejemplo, un cuadrilátero articulado).Fig 3.1

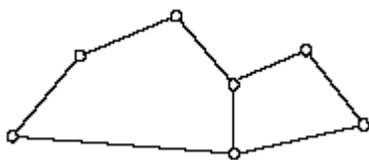


Figura 3.1 Cadenas cerradas

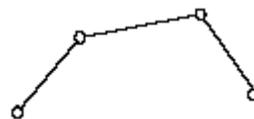


Figura 3.2 Cadena abierta

Abiertas: son aquellas en las que hay al menos un eslabón que tiene un solo par cinemático (por ejemplo, extremidades, robots,...).Fig 3.2

También se pueden clasificar por el número de elementos que tienen. Así, por ejemplo, con seis elementos podemos encontrar dos cadenas cinemáticas distintas, la cadena de Watt (Fig 3.3) y la cadena de Stephenson. Fig 3.4

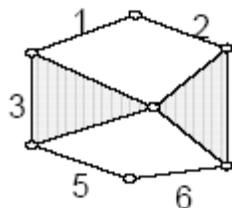


Figura 3.3 Cadena de Watt

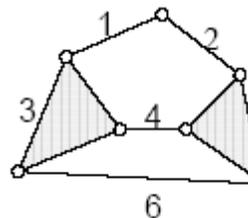


Figura 3.4 Cadena de Stephenson

Recordando la definición de mecanismo de Reuleaux, se puede definir éste en sentido estricto como “aquella cadena cinemática en la que se ha fijado uno de sus eslabones” (cuando se dice que un eslabón está fijo se da a entender que se elige como marco de referencia para todos los demás eslabones, es decir, que los movimientos de todos los demás se medirán con respecto a éste en particular). En una máquina real, el eslabón fijo es casi siempre una plataforma o base estacionaria, y se denomina eslabón marco o base.

En cualquier caso, una vez designado el marco de referencia, la cadena cinemática se convierte en un mecanismo y conforme el impulsor se mueve pasando por varias posiciones denominadas fases, todos los demás eslabones desarrollan movimientos definidos con respecto al marco de referencia elegido.

Por ello, se usa el término cadena cinemática para especificar una disposición particular de eslabones y pares cinemáticos, cuando no se ha especificado qué eslabón se usará como marco de referencia. Sin embargo, una vez señalado el eslabón de referencia, la cadena cinemática se convierte en un mecanismo.

Clasificación de los elementos de un mecanismo

La clasificación de los elementos o eslabones de un mecanismo puede atender a diferentes criterios. Así, se pueden clasificar por:

- *El nº de pares cinemáticos de cada elemento:* Hablaremos entonces de elementos binarios, ternarios, cuaternarios,... (con 2, 3, 4, ... pares cinemáticos por elemento). Fig. 3.5

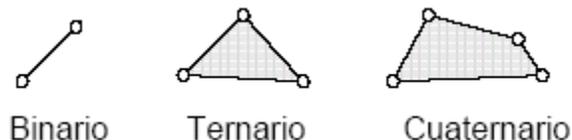


Figura 3.5 Tipos de elementos por el número de pares

- *El tipo de sólido que son:* Tendremos elementos rígidos, unirígidos (rígidos en una sola dirección como el cable, cadena, etc.) o flexibles (que se deforman elásticamente y de forma importante, a veces la deformación es del mismo orden que la magnitud de los desplazamientos).

- *El tipo de movimiento:*
 - Manivela: elemento con movimiento de rotación de 360° alrededor de un eje fijo.
 - Balancín u oscilador: igual que el anterior, pero en un ángulo menor de 360° (sin dar, por tanto, vueltas completas).
 - Biela o acoplador: elemento con un centro instantáneo de rotación que va variando (no tiene un eje de rotación fijo).

Clasificación de los Pares Cinemáticos

Para que un mecanismo sea útil, los movimientos entre los eslabones no pueden ser arbitrarios, éstos deberán restringirse para generar los movimientos relativos “adecuados” y necesarios para desarrollar el trabajo para el que haya sido diseñado ese mecanismo. Esto se consigue mediante la elección correcta del número y tipo de eslabones, así como de los tipos de pares cinemáticos utilizados para conectarlos.

La función cinemática de un eslabón es mantener una relación geométrica fija entre los pares cinemáticos. Del mismo modo, la única función cinemática de un par es determinar el movimiento relativo entre los eslabones conectados. El análisis o estudio de ese movimiento relativo precisará el establecimiento de algún o algunos parámetros variables que permita medir o calcular dicho movimiento. Se tendrán tantos parámetros como grados de libertad tenga la articulación en cuestión y se denominarán “variables del par”.

Reuleaux dividió los pares cinemáticos en superiores e inferiores, haciendo notar que en los pares inferiores (Fig 3.6) (como la articulación de pasador) los elementos del par hacen contacto en una superficie, en tanto que en los pares superiores (como la conexión entre una leva y su seguidor) el contacto entre los elementos es en una línea o un punto. Se puede establecer la distinción entre pares, en función del movimiento relativo que permita el par cinemático.

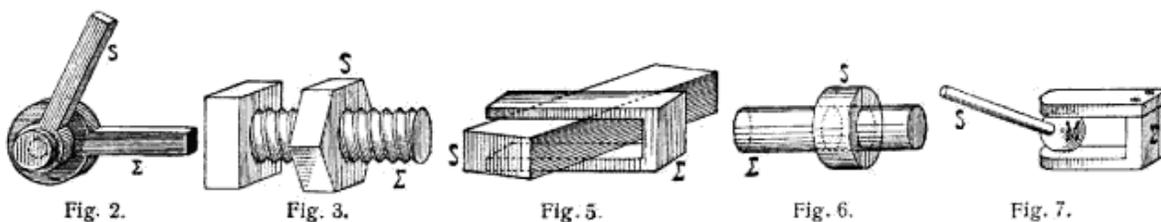


Figura 3.6 Pares Inferiores

Existen seis tipos de pares inferiores que son:

- Par giratorio o revoluto [R]: sólo permite rotación relativa (movimiento relativo circular) y por consiguiente, posee un gdl,(grado de libertad) una variable de par que es $\Delta\theta$. Se denomina también articulación de pasador o de espiga.
- Par prismático [P]: sólo permite movimiento relativo de deslizamiento (movimiento relativo lineal) y se denomina casi siempre articulación de deslizamiento. También posee un solo gdl y una variable de par que es Δs .
- Par de tornillo o par helicoidal [S]: cuenta con un solo gdl ya que los movimientos de deslizamiento y rotación están relacionados por el ángulo de hélice de la rosca (movimiento relativo helicoidal). Por tanto, como variable de par se puede elegir $\Delta\theta$ o Δs , pero no ambas.
- Par cilíndrico [C]: permite tanto la rotación angular como el movimiento de deslizamiento independiente (movimiento relativo cilíndrico), tiene 2 gdl y dos variables de par $\Delta\theta$ y Δs .
- Par globular o esférico [G]: es una articulación de rótula (movimiento relativo esférico) que posee 3 gdl, una rotación en cada uno de los ejes coordenados y tres variables de par $\Delta\theta$, $\Delta\phi$ y $\Delta\psi$.
- Par plano [F]: permite un movimiento relativo en el plano, con 3 gdl y tres variables de par $\Delta\theta$, Δx y Δy .

Todos los demás tipos de pares se conocen como pares superiores.

Entre los ejemplos clásicos están los dientes de engranes acoplados, una rueda que va rodando sobre un riel, una bola que rueda sobre una superficie plana y una leva que hace contacto con su seguidor de rodillo, etc.

Entre los pares superiores existe una subcategoría denominada **pares envolventes**. Por ejemplo, la conexión entre una banda y una polea, entre un cable y un tambor, etc. En cada caso, uno de los eslabones se caracteriza por su rigidez unilateral.

A partir de la definición de mecanismo llevada a cabo, se pueden encontrar multitud de dispositivos que incluyan tanto pares superiores como inferiores. No obstante, existe un término más descriptivo concerniente a los mecanismos que sólo tienen pares inferiores, y este es el de eslabonamiento.

3.2 MECANISMO [10] [11]

El prototipo emplea como extremidad un mecanismo de cuatro barras que tienen dos grados de libertad, uno que levanta la extremidad y otro que la hace girar. Cada grado de libertad tiene su propio actuador.

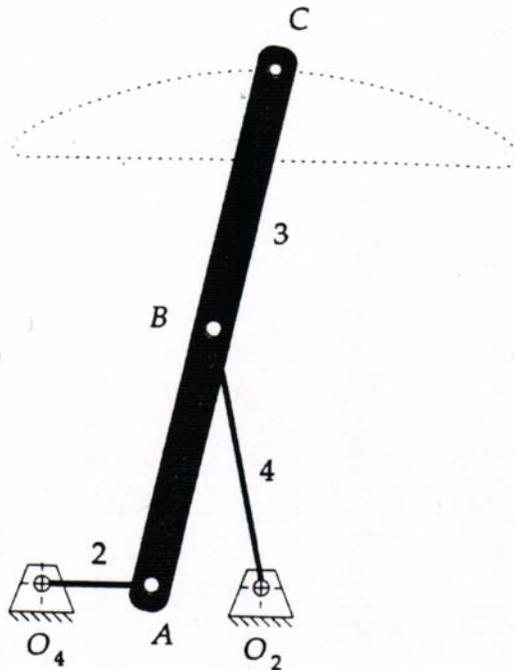


Figura 3.7 Mecanismo de línea recta de Hoekens

El mecanismo utilizado para la extremidad se llama “Mecanismo de Línea Recta de Hoekens” (figura 3.7), el cuál genera una línea recta que puede observarse en el extremo de la extensión del eslabón balancín.

Este mecanismo fue analizado por el software Working Model, el cual proporciona la información cinemática.

Se observó que la rotación de este extremo, cerca de la superficie de contacto, era casi cero, lo cual se podría aprovechar si se necesitara un soporte con mayor área que el solo punto de contacto y no se presentaría ninguna perturbación en el movimiento, ya que el soporte empujaría al robot en el momento en que se levantara la extremidad.

3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO

Además de considerar el mecanismo de línea recta, se incorporó un mecanismo de cuatro barras, el cuál tiene como función:

- Transmitir el movimiento de rotación y la fuerza del motor hacia el mecanismo de línea recta.
- Aumentar el brazo de palanca de la fuerza que ejerce el motor, hasta el punto de apoyo del mecanismo de línea recta y así obtener un mayor torque.

En la simulación se colocaron tres puntos, los cuales se encuentran en la base rectangular y son los que se utilizaron para el análisis de los movimientos del mecanismo.

En la simulación se programo que el motor estuviera oscilando desde la posición original considerada como 0° , hasta un ángulo de 90° en sentido antihorario, para después regresar a la posición original.

La coordenada "X" se mantiene constante lo que indica que se describe aproximadamente una línea recta para toda la base, mientras que la coordenada "Y" oscila del piso hasta una cierta altura máxima (aproximadamente 2 cm).

También la rotación en las cercanías del piso es casi cero, por lo que la base puede levantarse sin provocar ninguna perturbación en el robot.

Se obtuvieron las ecuaciones necesarias para encontrar la relación entre el ángulo de entrada α y las coordenadas del punto que describe la línea recta (ver figura 3.2). En la figura las letras griegas indican los ángulos de interés a analizar, las letras minúsculas el largo de los eslabones y la letra " r " indica la distancia entre los dos puntos que la componen.

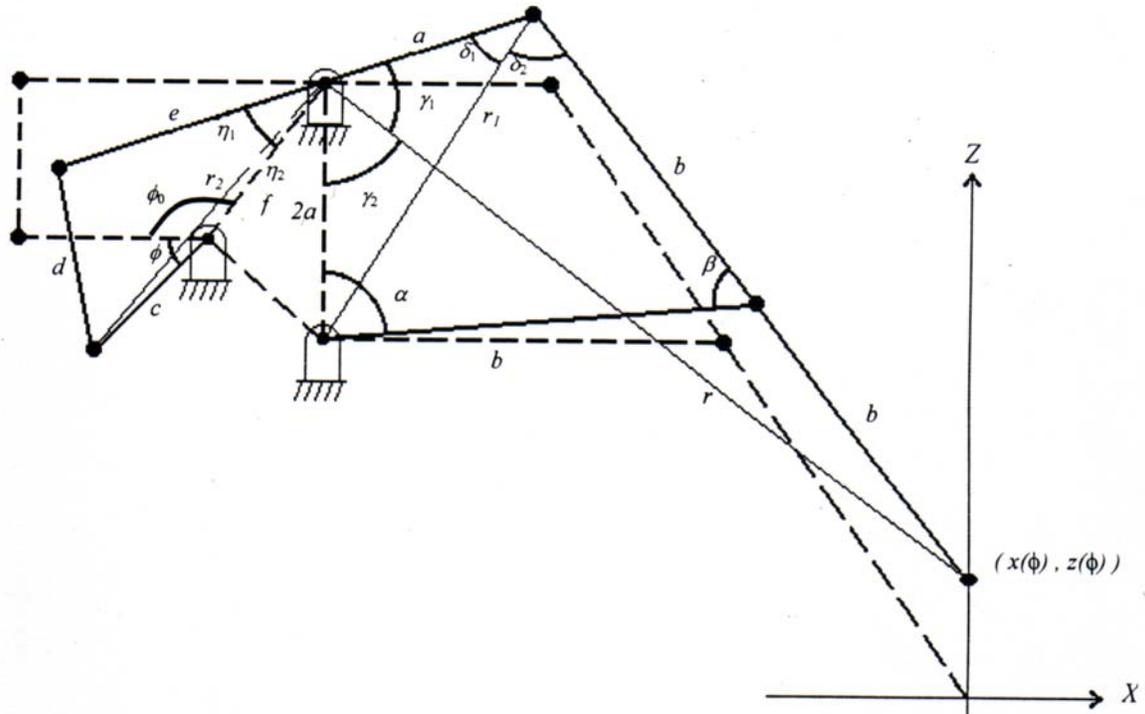


Figura 3.8 Análisis cinemático del mecanismo de cuatro barras

Los datos conocidos son las dimensiones de los eslabones y los ángulos del triángulo formado por las tierras.

Las ecuaciones encontradas son:

$$r_2 = \sqrt{c^2 + f^2 - 2cf \cos(\phi + \phi_0)} \quad (3.1)$$

$$\eta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{r_2^2 + f^2 - c^2}{2r_2 f} \right) \quad (3.2)$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (3.3)$$

Ecuación de enlace entre ambos mecanismos:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = 270 - \eta - \phi_0 \quad (3.4)$$

Ecuaciones del mecanismo de línea recta de Hoekens:

$$r_1 = a\sqrt{5 - 4\cos(\gamma)} \quad (3.5)$$

$$\delta_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{2a}{r_1} \text{sen}(\gamma) \right) \quad (3.6)$$

$$\delta_2 = \cos \left(\frac{r_1}{2b} \right) \quad (3.7)$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (3.8)$$

$$r = \sqrt{a^2 4b^2 - 4ab \cos(\delta)} \quad (3.9)$$

$$\gamma_1 = \text{sen}^{-1}\left(\frac{2b}{r} \text{sen}(\delta)\right) \quad (3.10)$$

$$\gamma_2 = \gamma - \gamma_1 \quad (3.11)$$

$$x = 4a - r \text{sen}(\gamma_2) \quad (3.12)$$

$$z = 4a - r \cos(\gamma_2) \quad (3.13)$$

Se evaluaron las ecuaciones para diferentes dimensiones del largo de los eslabones del mecanismo de línea recta, obteniendo los valores para los cuales las coordenadas "X", "Y" y "Z" son casi cero. Mientras estos resultados se aproximen más a cero se describirá una mejor línea recta, con estos datos se definieron las dimensiones finales de los eslabones.

Los valores que se encontraron para los eslabones del mecanismo de línea recta son:

$$a = 5.1 \text{ cm}$$

$$b = 3.8 \text{ cm}$$

Los valores de los eslabones para el mecanismo de transmisión son:

$$c = 1.65 \text{ cm}$$

$$d = 2.5 \text{ cm}$$

$$e = 2.6 \text{ cm}$$

$$f = 3.00 \text{ cm}$$

La posición inicial está dada cuando $\phi = 0^\circ$ y el valor máximo de $\phi = 90^\circ$.

CAPÍTULO 4.

Selección de los Actuadores de acuerdo a los Parámetros Motrices

4.1 SISTEMAS DE COORDENADAS

Es importante tener un sistema de coordenadas en el cual se realice el análisis, para poder determinar los movimientos del robot. El robot tiene coordenadas situadas en el cuerpo, específicamente en el centro de masa que se denominara Σ (G_{XYZ}), y el ambiente sobre el que camina tiene las coordenadas absolutas Σ_0 ($X_0Y_0Z_0$), donde Z_0 es designada de acuerdo a la dirección negativa de la gravedad. Estos sistemas de coordenadas tienen la siguiente relación. Las coordenadas del cuerpo Σ están trasladadas solo a una distancia en la dirección Z_0 de las coordenadas absolutas Σ_0 como se muestra en la [figura 4.1](#).

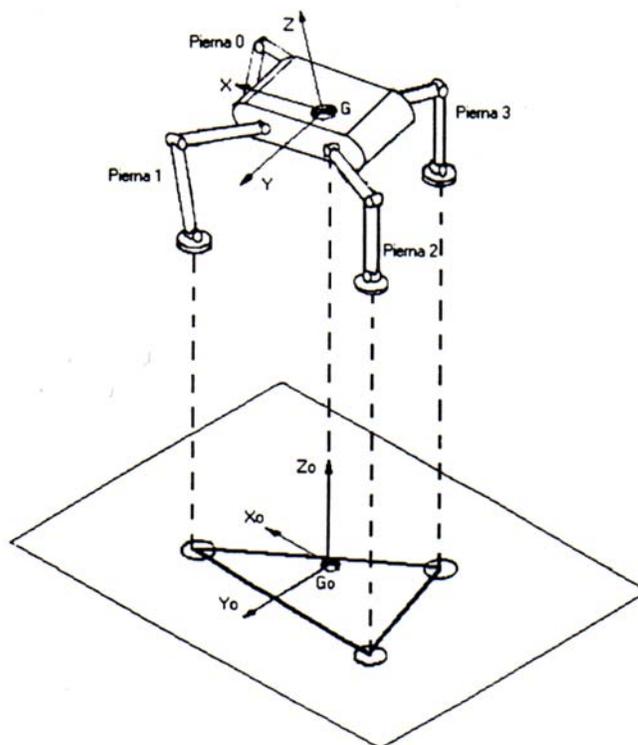


Figura 4.1 Sistema de Coordenadas del robot cuadrúpedo

En las superficies no regulares el robot tiene cierta orientación. Se puede conocer esta orientación al obtener los valores de los ángulos pitch (rotación) y roll (pronación). La inclinación alrededor del eje X_0 de las coordenadas absolutas esta dada por la proyección de la coordenada X , la cual está rotada por el ángulo roll y subsecuentemente la inclinación para el eje Y_0 esta dada por la proyección de la coordenada Y , la cual esta dada por el ángulo pitch. Con la siguiente matriz de transformación se puede pasar de un sistema de coordenadas a otro.

$$A = E^{j\phi_p} E^{j\phi_r} \quad (4.1)$$

Donde:

$$E^{j\phi_p} = \begin{bmatrix} \cos\phi_p & 0 & \text{sen}\phi_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\phi_p & 0 & \cos\phi_p \end{bmatrix}$$

(4.2)

$$E^{j\phi_r} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi_r & -\text{sen}\phi_r \\ 0 & \text{sen}\phi_r & \cos\phi_r \end{bmatrix}$$

(4.3)

Cuando la rotación es hecha, la proyección de las coordenadas del cuerpo en el eje X sobre las coordenadas absolutas del plano XoYo quedan de acuerdo con las del eje Xo, de la misma manera las coordenadas del cuerpo en el eje Y.

El movimiento del robot es completamente descrito con un sistema de coordenadas de dos dimensiones. Por lo que la coordenada Z es constante.

4.2 CONDICIÓN ESTABLE Y SU ANÁLISIS

La condición estática de un robot cuadrúpedo esta dada por la relación que existe entre la posición de las piernas que soportan al robot y el centro de gravedad del cuerpo. Como se muestra en la [figura 4.1](#). El punto Go es la proyección del centro de masa G del cuerpo del robot sobre las coordenadas absolutas del plano XoYo, ésta debe permanecer dentro del polígono formado por las extremidades, en este caso son las piernas 1,2 y 3, éstas también se proyectan en el plano XoYo. Para determinar el modo de andar se tiene que obtener, las proyecciones del centro de gravedad del cuerpo y las coordenadas de las extremidades primeras absolutas sobre el plano XoYo y eso se logra a través de la Ec.4.1. Se consideran los ángulos roll y pitch como cero ya que no existe alguna inclinación sobre el terreno, de manera que al evaluar en la matriz de transformación ésta queda como una matriz identidad y por lo tanto las coordenadas del cuerpo Σ (G_{XYZ}) son iguales a las coordenadas absolutas Σ_0 ($X_0Y_0Z_0$).

$$E^{j\phi_p} = \begin{bmatrix} \cos\phi_p & 0 & \text{sen}\phi_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}\phi_p & 0 & \cos\phi_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 0 & 0 & \text{sen} 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen} 0 & 0 & \cos 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$E^{j\phi_r} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi_r & -\text{sen}\phi_r \\ 0 & \text{sen}\phi_r & \cos\phi_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 0 & -\text{sen} 0 \\ 0 & \text{sen} 0 & \cos 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

La coordenada Z es igual a la altura del robot y como es siempre la misma en el análisis no se considerara solo se referirán las coordenadas X y Y.

4.3 SECUENCIA ESTÁNDAR

Para que un robot cuadrúpedo se mueva correctamente, debe mover una sola extremidad a la vez, a este modo de andar se le llama “movimiento a gatas” pues es un movimiento lento. Estudios previos sobre secuencias periódicas de caminar demuestran que existen seis secuencias de movimientos de las extremidades como se muestra en la [figura 4.2](#) y son las secuencias +x, -x, +y, -y que son secuencias con buena estabilidad en el movimiento recto, mientras que para +z, -z son secuencias con buena estabilidad para la rotación del robot en su correspondiente dirección.

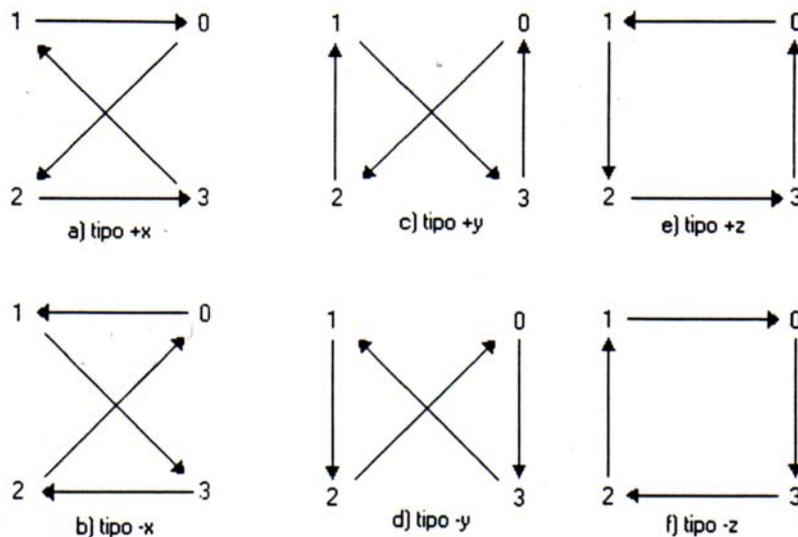


Figura 4.2 Secuencia de movimiento del robot cuadrúpedo

Se considera que el robot cuadrúpedo se encuentra sobre sus cuatro extremidades en un tiempo inicial, que tiene un movimiento rectilíneo y no hay movimiento hacia atrás, y que presenta una secuencia de movimiento estándar de las piernas. Como se muestra en la [figura 4.3](#) donde cada extremidad es referida como pierna 0, perna1, pierna 2 y pierna 3.

Considerando que el robot deberá seguir la trayectoria T (ver fig. 4.3) y la pierna 0 es movida en el tiempo inicial. El orden de la secuencia estándar para seguir una trayectoria recta es: extremidad 0, extremidad 2, extremidad 1 extremidad 3. La trayectoria de las extremidades esta dada por el cambio de los puntos del triángulo diagonal (CTD). En la [figura 4.3](#) la línea L_{13} es la diagonal entre las extremidades 1 y 3, G_0 es la posición inicial del centro de masa, G_1 y G_2 son dos puntos que están sobre la trayectoria T y la distancia entre L_{13} a cada punto es S_1 . La distancia del punto G_0 a los puntos G_1 y G_2 esta representada por D_1 y D_2 respectivamente.

Definiendo $P_1(i)$ y $P_p(i)$ como dos posiciones del centro de masa en el tiempo cuando una extremidad "i" es elevada para ser movida y adquirir una nueva posición al hacer contacto con el suelo.

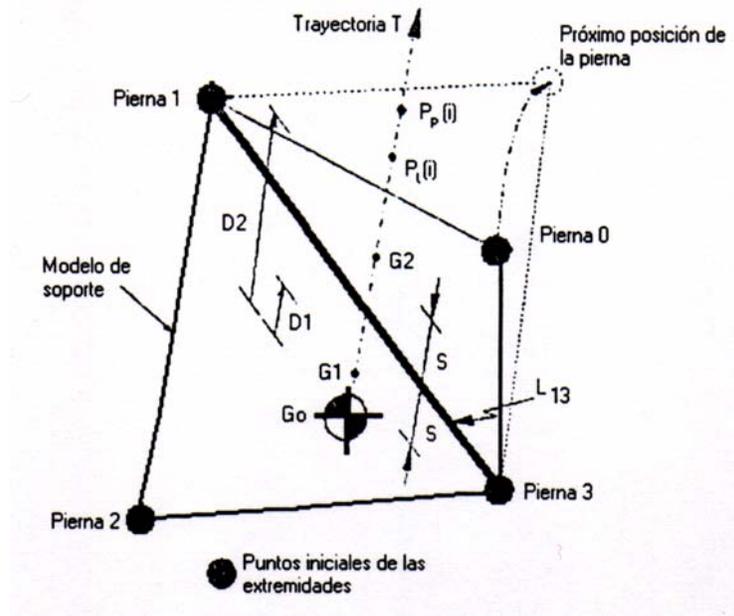


Figura 4.3 Localización del centro de gravedad para el equilibrio del robot cuadrúpedo

En la secuencia estándar el caminar es continuo por lo que se repite el cambio del triángulo formado por el soporte de las piernas, manteniendo el centro de gravedad del robot dentro del triángulo a pesar del cambio de posición.

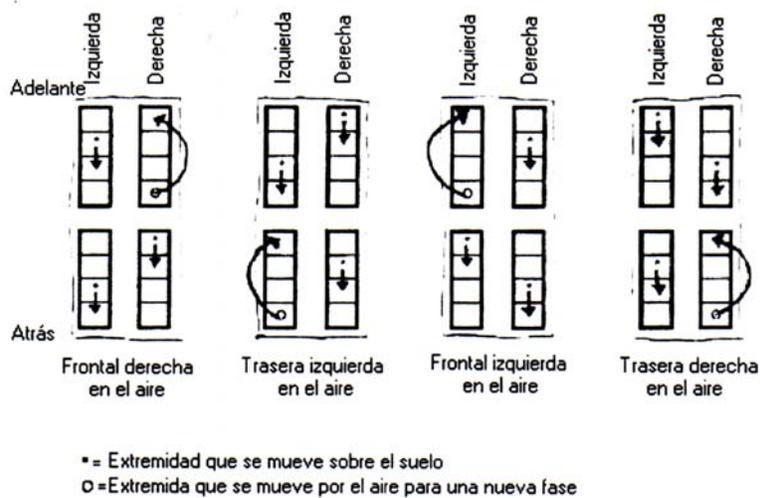


Figura 4.4 Secuencia estándar para movimiento recto

La secuencia estándar se divide en cuatro fases, cada fase cuenta con una posición específica para cada extremidad con respecto a las coordenadas del cuerpo Σ (G_{xyz}).

Para pasar de una fase a otra, es necesario que se muevan las cuatro extremidades y que el centro de gravedad del cuerpo quede comprendido dentro del triángulo (CTD).

La transición comienza cuando la extremidad 0 es la primera en hacer el movimiento más largo, mientras las otras tres hacen movimientos cortos y más rápidos. Cuando los movimientos han finalizado el robot se encuentra en una nueva fase.

4.4 ACTUADORES

Al establecer un aproximado del peso total de la estructura, se hizo el cálculo del par de torsión necesario para el actuador que se ocupara, inicialmente se considero únicamente el peso de la estructura sin los actuadores ya que no se conocían.

Para un peso total aproximado de $W = 1096.05\text{gr.}$, dividido entre tres extremidades $w = 365.35\text{ gr}$ y con un brazo de palanca de $L = 7.2\text{ cm}$. Se requiere un par de torsión en el motor de al menos, $T = 2.63\text{ kg*cm}$.

Con este valor se debe buscar un actuador con mayor par de torsión o encontrar la manera de aumentarlo, ya sea mediante una caja de engranes, un juego de poleas o algún sistema que cumpla con el propósito.

La segunda parte del mecanismo, que tiene como función aumentar el par de torsión del motor, lo que se explica que con un torque “T” a una distancia $c = 2.5\text{cm}$ se produce una fuerza “F”, que es la misma fuerza aplicada con referencia a la distancia $e = 3.20\text{cm}$, del eslabón que transmite el movimiento como la fuerza. Por lo tanto la relación del nuevo torque T’ es:

$$F = \frac{T}{c} = \frac{T}{1.65} \quad (4.5)$$

$$T' = F * e = \left(\frac{T}{c}\right) * e = \left(\frac{e}{c}\right) * T \quad (4.6)$$

$$T' = \left(\frac{3.2}{2.5}\right) * T = 1.28 * T \quad (4.7)$$

El par de torsión se incrementa un poco más del original, aplicando el principio básico de brazo de palanca.

Con estos datos se seleccionó como actuador un servomotor, el cuál además de tener un buen valor de torque es ligero, características difíciles de reunir en un mismo dispositivo disponible en el mercado.

El servomotor empleado es el fabricado por la compañía Parallax mod. (#900-00005) standard servomotor, el cual es ideal para robótica y proyectos con movimientos básicos. Este servomotor tiene un rango de movimiento que va de 0° hasta 180° y sus características son:

CARACTERÍSTICAS	VALOR
<i>Alimentación</i>	6vdc max
<i>Velocidad</i>	0.19sec/60° sin carga
<i>Peso</i>	45.0gr
<i>Torque</i>	3.40kg-cm
<i>Tamaño</i>	40.5x20.0x38.0 mm

Tabla 4.1 Características del servomotor parallax modelo #900-00005 [16]

El motor puede ser utilizado sin el mecanismo que aumenta el par de torsión, pero éste proporciona un factor de seguridad un poco arriba del original.

4.5 EL SERVOMOTOR [13][14]

Un **Servomotor** es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servomotor mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia.

Existen tres tipos de servomotores:

- Servomotores de CC
- Servomotores de AC
- Servomotores de imanes permanentes o Brushless.

En la práctica, se usan servomotores para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots.

Los Servomotores son sumamente útiles en robótica. Los motores son pequeños, tienen internamente una circuitería de control interna y son sumamente poderosos para su tamaño. Un servomotor normal o Standard como el HS-300 de Hitec tiene 42 onzas por pulgada o 3kg por cm. de par de torsión; que es bastante fuerte para su tamaño. Un servomotor, por consiguiente, no consume mucha energía. Se muestran los componentes internos de un servomotor en la figura [Fig. 4.5](#)



Figura 4.5 Componentes internos de un servomotor

Podrá observar la circuitería de control, el motor, un juego de piñones, y la caja. También puede ver los 3 alambres de conexión externa. Uno es para alimentación Vcc (+5volts), conexión a tierra GND y el alambre blanco es el alambre de control.

FUNCIONAMIENTO

La velocidad del motor, así como la dirección del movimiento de los «servos» se controla mediante servopulsos modulados en amplitud. El servomotor convierte los servopulsos en un movimiento mecánico. La magnitud del giro del eje del «servo» es proporcional a la **anchura del pulso** que llega por la línea de control. Este tipo de pulsos está formado por una señal digital que se genera aproximadamente cada 20 milisegundos. La anchura de estos pulsos va de un mínimo de 1 ms a un máximo de 2 ms. Aunque la relación anchura del pulso y la posición del eje no está estandarizada, lo normal es que trenes de pulsos de 1,5 ms lleven el eje del servo al centro de su rango, anchura neutra. Si la anchura del pulso es de 1 ms, el servomotor se posiciona en el extremo izquierdo, mientras que si el pulso tiene una anchura de 2 ms la posición del «servo» es el extremo opuesto.

Esta técnica se conoce como modulación por ancho de pulso, en ingles **PWM** (*Pulse Width Modulation*). El servomotor trabaja comparando la anchura del pulso de entrada con la anchura del pulso producido por el *timer* interno. A su vez, el período del *timer* interno es controlado por el potenciómetro acoplado al eje del «servo». La diferencia entre la anchura del pulso de entrada y la anchura del pulso interno se utiliza como señal de error. La lógica del «servo» se encarga de determinar la dirección en la que ha de girar el motor para minimizar dicho error. Para ello activa los *drivers* de salida apropiados. El motor girará modificando la posición del potenciómetro de retroalimentación. Cuando llega el siguiente pulso se vuelve a realizar la comparación, comprobando de forma continua la posición del eje y realizando también constantemente las correcciones necesarias en la posición del mismo.

Como se ha podido apreciar, se trata de un bucle de retroalimentación negativa. Si la posición del potenciómetro no se iguala con la posición deseada del eje, el motor se moverá hacia adelante o hacia atrás, hasta que la posición del

potenciómetro sea equivalente a la posición deseada del eje. En este momento la corriente del motor se apaga. La precisión al posicionarse depende tanto de la precisión del potenciómetro como de la precisión de la anchura de los pulsos que llegan al motor. La mayoría de los modelos de servomotores consiguen una resolución de 0,5 grados. Cuando se reduce la señal de error a un nivel aceptable, el eje del «servo» se encuentra en la posición correcta. En ese momento la señal de error suele ser de unos 5 μ s, diferencia entre el ancho del pulso de la señal de entrada y el ancho del pulso de la señal interna. Esto se corresponde con una fracción de grado del recorrido del servomotor. Al ser el cero demasiado crítico, cuando el error está en este rango, conocido como zona muerta o **guard band**, el «servo» apaga los *drivers* del motor. Si la señal de error no está por debajo de estos 5 μ s, la electrónica interna continuará intentando cancelar el minúsculo error, haciendo girar el motor atrás o adelante en un movimiento conocido como **hunting**.

La electrónica interna tiene como misión mantener la anchura de los pulsos del monoestable interno igual a la anchura de los pulsos de entrada. Debido a que hay una relación fija entre el ángulo de rotación del potenciómetro y la anchura del pulso interno, la magnitud de rotación del «servo» se puede controlar directamente con la anchura de los pulsos aplicados. En conclusión, el circuito electrónico integrado en el motor convierte la anchura del pulso de entrada en una posición determinada del eje de salida.

La cantidad de voltaje aplicado al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así, si el eje necesita regresar una distancia grande, el motor regresará a toda velocidad. Si este necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor correrá a una velocidad más lenta. A esto se le llama control proporcional.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Estos servos tienen un amplificador, servo motor, piñonería de reducción y un potenciómetro de realimentación; todo incorporado en el mismo conjunto. Esto es un servo de posición (lo cual significa que uno le indica a qué posición debe ir), con un rango de aproximadamente 180 grados. Ellos tienen tres cables de conexión eléctrica; Vcc, GND, y entrada de control.

Para controlar un servo, se le ordena un cierto ángulo, medido desde 0 grados. Y se envía una serie de pulsos. En un tiempo ON de pulso indica el ángulo al que debe posicionarse; 1ms = 0 grados, 2.0ms = máx grado (cerca de 120) y algún valor entre ellos da un ángulo de salida proporcional. Generalmente se considera que en 1.5ms está el "centro." Entre límites de 1 ~ 2ms son las recomendaciones de los fabricantes, normalmente se puede usar un rango mayor de 1.5ms para obtener un ángulo mayor e incluso de 2ms para un ángulo de rendimiento de 180 grados o más.

El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos construidos en el servo. Un sonido de zumbido normalmente indica que se está forzando al servo, entonces debe disminuir un poco.

Este es un ejemplo de la señal que debería tener el servo:



Figura 4.6 Señal de control para un servomotor

El tiempo de OFF en el servo no es crítico; puede estar alrededor de los 20ms. Hemos usado entre 10ms y 30 ms. Esto no tiene que ser de ésta manera, puede variar de un pulso a otro. Los pulsos que ocurren frecuentemente en el tiempo de OFF pueden interferir con el sincronismo interno del servo y podría escucharse un sonido de zumbido o alguna vibración en el eje. Si el espacio del pulso es mayor de 50ms (depende del fabricante), entonces el servo podría estar en modo SLEEP entre los pulsos. Entraría a funcionar en pasos pequeños y el rendimiento no sería el óptimo.

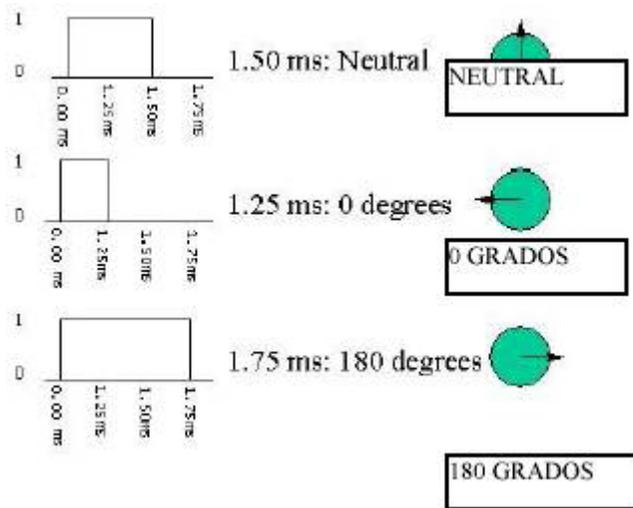


Figura 4.7 Relación de la señal de control y el ángulo de giro

Como se observa en la figura, (Fig. 4.7) la duración del pulso determina el ángulo del eje (mostrado como un círculo verde con flecha). Nótese que las ilustraciones y los tiempos reales dependen del fabricante de motor. Sin embargo, el principio, es el mismo.

El cable de control se usa para comunicar el ángulo. El ángulo está determinado por la duración de un pulso que se aplica al alambre de control. El servo (Fig. 4.9) espera ver un pulso cada 20 milisegundos (.02 segundos). La longitud del pulso determinará los giros de motor. Un pulso de 1.5 ms., por ejemplo, hará que el motor se torne a la posición de 90 grados (llamado la posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms., entonces el motor se acercará a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se acercará a los 180 grados.

SERVOMOTORES EN MODELISMO

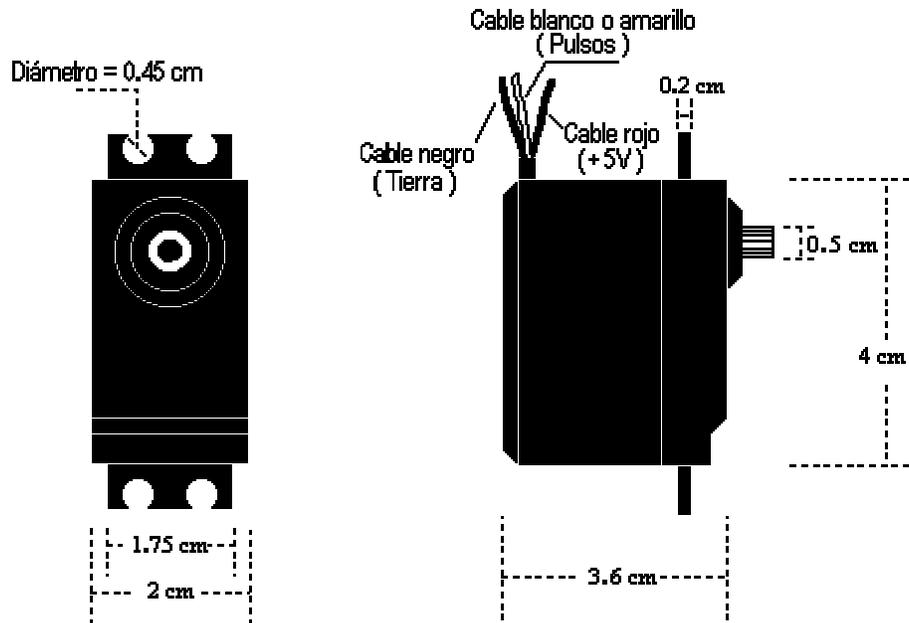


Figura 4.8 Diagrama de un servomotor típico de modelismo [17]

Un servomotor de este tipo es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede girar en un ángulo de aproximadamente 180 grados (no dan vueltas completas como los motores normales).

De los tres cables que salen de su cubierta:

- El rojo es de **voltaje de** alimentación (+5V).
- El negro es de tierra (0V ó GND).
- El cable blanco (a veces amarillo) es el cable por el cuál se le instruye al servomotor en qué posición ubicarse (entre 0 grados y 180).

Dentro del servomotor, una tarjeta controladora le dice a un pequeño motor de corriente directa cuántas vueltas girar para acomodar la **flecha** (el eje de plástico que sale al exterior) en la posición que se le ha pedido.

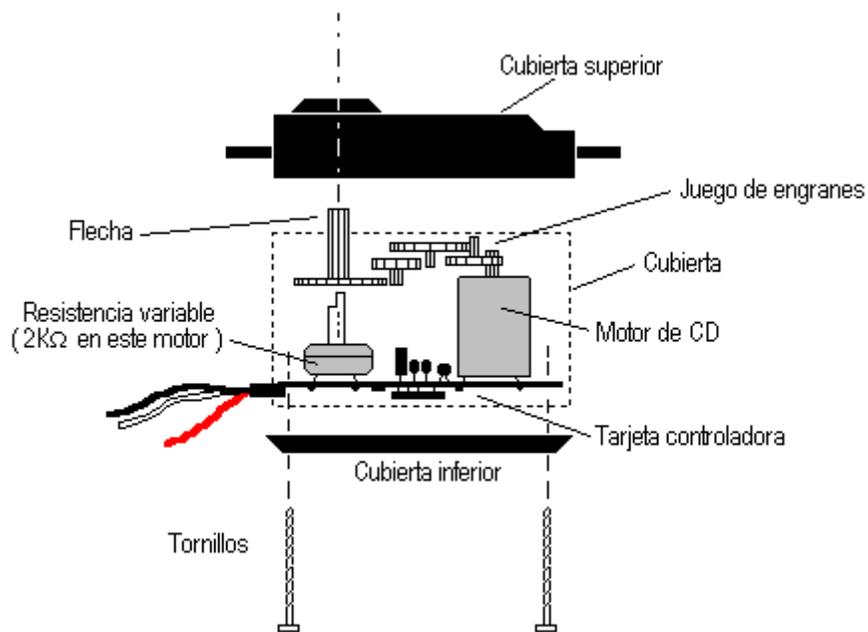


Figura 4.9 Ubicación de las piezas internas de un servomotor [18]

Un potenciómetro que está sujeto a la flecha, mide hacia dónde está ubicado en todo momento. Es así como la tarjeta controladora sabe hacia dónde mover al motor.

La posición deseada se le da al servomotor por medio de pulsos. Todo el tiempo debe haber una señal de pulsos presente en ese cable.

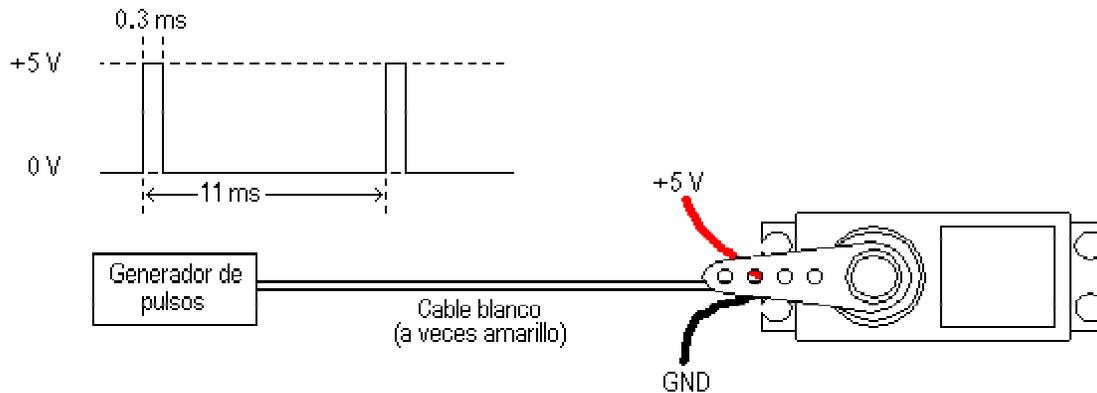


Figura 4.10 Señal de pulsos que controla al servomotor

Nótese que el intervalo de tiempo entre pulsos se mantiene constante, y la variación del ancho de los mismos es lo que le indica al servo la posición que se desea. Estos valores de milisegundos han funcionado bastante bien para los servomotores FUTABA FP-S148, FUTABA S3003, Hitec HS-300 y HOBBICO COMMAND CS-51, y hemos encontrado también que son bastante tolerables en cuanto al período de los pulsos de control. Responden adecuadamente a pulsos desde 50 hz hasta aproximadamente 100 hz., pero una vez escogida una frecuencia de operación debe procurarse mantener la misma frecuencia todo el tiempo.

VENTAJAS

Entre las ventajas que aporta el empleo de un «servo» están las siguientes: poco peso, alta potencia (par de fuerza), fiabilidad, fortaleza (los «servos» y su electrónica normalmente sobreviven a choques y funcionan en ambientes de alta temperatura, suciedad, humedad y vibraciones), simplicidad, versatilidad y bajo costo.

En las tiendas de modelismo pueden encontrarse muchos tipos de servomotores de las casas Futaba, FMA, Multiplex, Sanwa, etc. con par de fuerza que va desde unos 3 Kg/cm y una velocidad de giro de unos 0,22 segundos como el Futaba FPS3003, hasta el FPS9402 con un par de 8 Kg, una velocidad de giro de 0,1 segundos y engranajes metálicos. Aunque para el aprendizaje es suficiente un «servo» de los más baratos, los mejores tienen engranajes metálicos y mayor velocidad de giro, que junto al par de fuerzas determinan su precio.

El voltaje de alimentación nominal, suele ser el que pueden proporcionar cuatro baterías de NiCd $4 \times 1.2 \text{ V} = 4.8 \text{ V}$. En la práctica este valor puede variar. Algunas compañías de radiocontrol fabrican paquetes de cinco celdas de NiCd que proporcionan un valor nominal de 6 V. Si el voltaje es demasiado bajo, la respuesta del «servo» se hace más lenta.

Aunque pareciera que el consumo será alto, el consumo de corriente depende en su mayor parte del momento (par de fuerza) que se aplique al «servo» y puede llegar en algunos casos a ser mayor de 1 A si el «servo» se para sin poder llegar a la posición especificada.

Esquema de control

Hay dos formas de contemplar este tipo de esquemas de control. Desde el punto de vista del controlador, es un sistema de bucle abierto. No existe retroalimentación entre el servomotor y el sistema que genera los pulsos. Desde el punto de vista del nivel local (interior del «servo») es un sistema de bucle cerrado.

La electrónica del servomotor está constantemente tratando de eliminar la diferencia entre los comandos y la posición actual. Esta doble característica es muy importante, ya que el «servo» necesita una atención mínima por parte del controlador, pero a su vez de forma constante resiste activamente corrigiendo las influencias externas que pueden llevar el eje lejos de la posición ordenada.

Aunque los «servos» son los posicionadores casi ideales, son también fáciles de modificar para aplicaciones especiales. Por ejemplo, se puede alterar el circuito de retroalimentación para modificar el rango de giro. La mayoría de los servomotores se han diseñado para un viaje de unos 90°, pero en muchos casos esta limitación puede superarse. Cuando se necesite mayor cantidad de giro de la que el fabricante ha dotado al «servo», la mejor solución es actuar modificando el potenciómetro del circuito de retroalimentación. Para ello se añade una resistencia de un valor comprendido entre 1K5 a 2K2 en serie con cada extremo del potenciómetro y luego se vuelve a montar. De esta forma los pulsos de la señal de control aumentarán el rango de giro.

También se puede modificar el «servo» para que se comporte como un pequeño motor controlador mediante pulsos. Si se quita el potenciómetro interno y se sustituye por dos resistencias de 2K5, el circuito interno creerá que el eje del motor se encuentra siempre en posición centrada, así pues, si se envía señal de control para que se posicione a la derecha, el «servo» tratará de corregir continuamente la posición y girará en ese sentido. Se tiene de este modo un motor con engranajes cuya dirección de rotación puede ser controlada por un tren de pulsos mediante la técnica PWM. Por otro lado, si se aplican señales analógicas al circuito de retroalimentación se pueden mezclar los efectos del control digital remoto con el ajuste analógico local.

CAPÍTULO 5.

Selección e Implementación de los Dispositivos Electrónicos

5.1 MICROCONTROLADORES [15][16]

Los microcontroladores pueden ser definidos como computadoras muy pequeñas los cuales pueden ser programados para controlar sistemas como lo pueden ser teléfonos celulares, hornos de microondas, juguetes, sistemas del automóvil, etc. Una casa típica tiene entre 25 y 50 microcontroladores que llevan a cabo tareas de control en numerosas aplicaciones y dispositivos.

Basic Stamp es un microcontrolador híbrido desarrollado por Parallax Inc. El cual fue diseñado para ser programado en una versión del lenguaje Basic llamado PBasic. Es llamado “Stamp” por que es casi del tamaño de una estampilla postal.

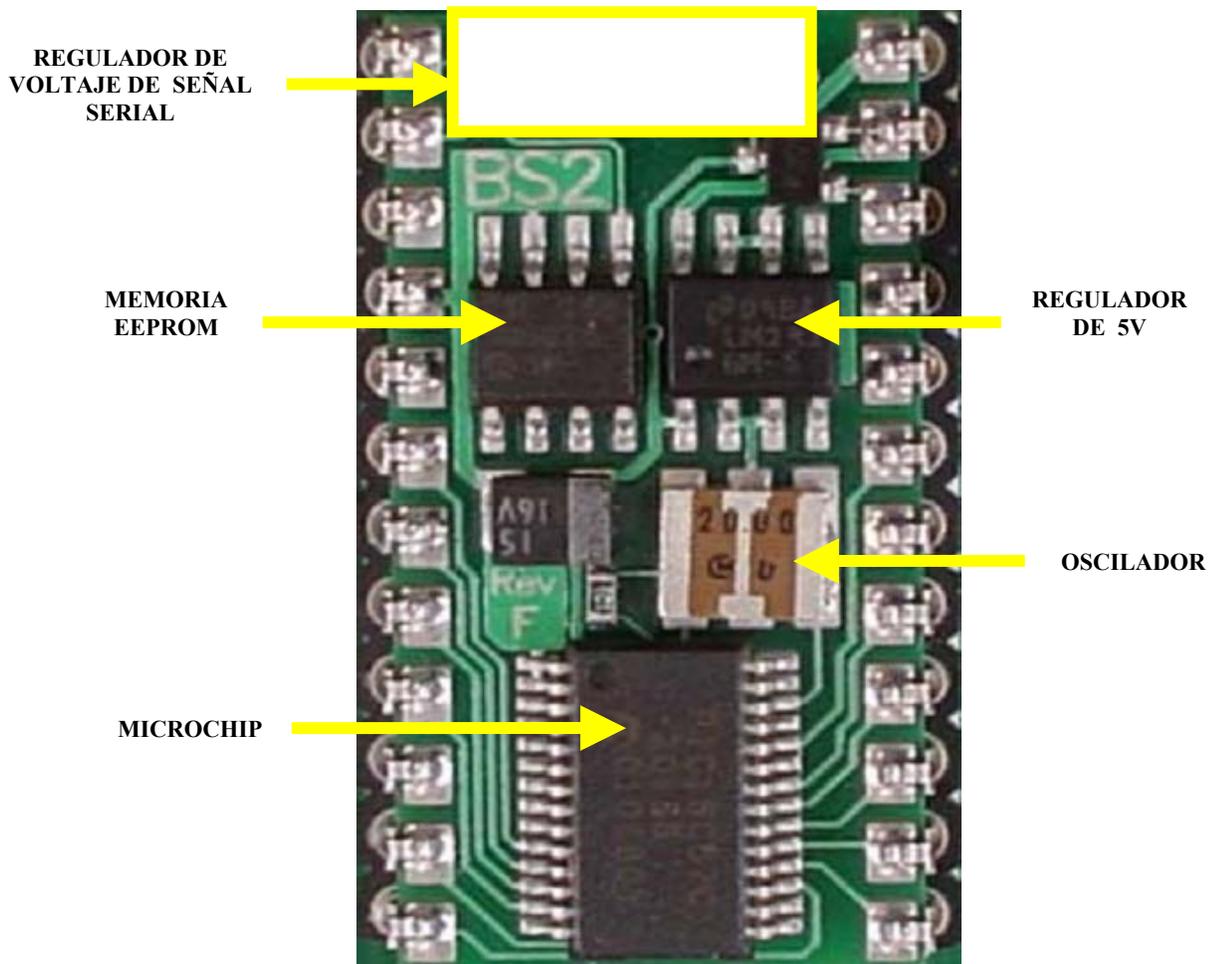


Fig. 5.1 Componentes del microcontrolador Basic Stamp BS2sx

Componentes:

- *Regulador de voltaje de señal serial:* Regula las condiciones de voltaje entre el puerto serial de la PC (+/- 12V) y Basic Stamp (5V).
- *EEPROM:* Memoria no volátil que almacena el código del programa, aun con la ausencia de alimentación. Cada locación de memoria está garantizada para 1, 000,000 de ciclos de escritura.
- *Microchip:* Lee los programas PBasic de la EEPROM y ejecuta las instrucciones.
- *Regulador de 5V:* Regula el voltaje a 5V de una alimentación de 5.5Vdc - 12Vdc.
- *Oscilador:* Fija la velocidad a la que las instrucciones son procesadas.

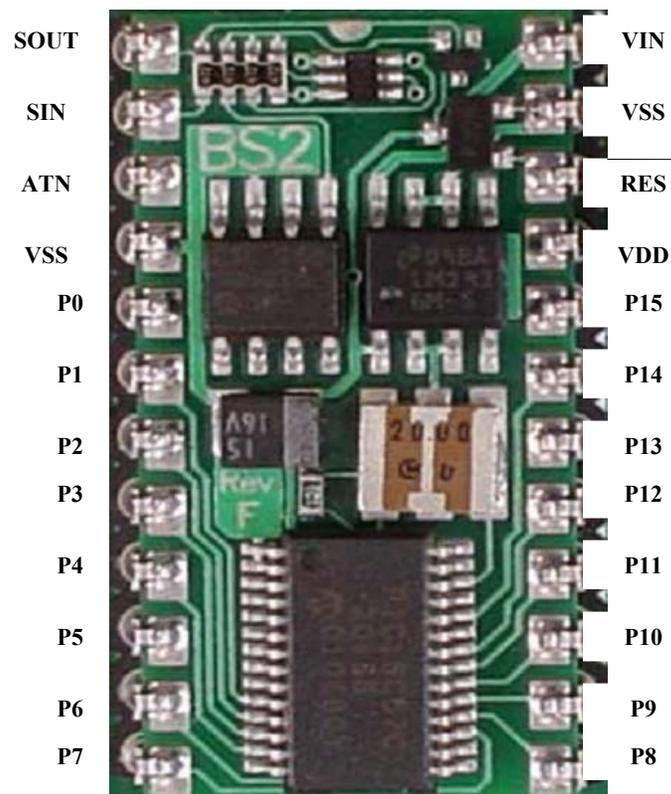


Figura 5.2 Descripción de pines para el microcontrolador Basic Stamp BS2sx

De acuerdo a la figura 5.2 se tiene:

- *SOUT*: (Serial Out) Se conecta al pin RX del puerto serial de la PC, transmite los datos durante la programación y durante el uso de la instrucción DEBUG.
- *SIN*: (Serial In) Se conecta al pin TX del puerto serial de la PC, recibe los datos durante la programación.
- *ATN*: (Attention) Se conecta al pin DTR del puerto serial de la PC.
- *VSS*: (System Ground) Se conecta al pin GND del puerto serial de la PC, tierra del cable serial (pin 4) y tierra del sistema (pin23).
- *P0-P15*: (General-purpose I/O pins) Pines de entrada/salida de datos.
- *VDD*: (5-volt DC input/output) Al aplicar un voltaje no regulado en el pin VIN, VDD proporciona un voltaje de salida de 5V. Si no se aplica voltaje en VIN deberá alimentarse VDD con un voltaje regulado del rango 4.5V - 5.5V.
- *RES*: (Reset input/output) Reset del BS2sx, al aplicar 0V el sistema se reinicia, si la alimentación es menor a 4.2V el microcontrolador reinicia automáticamente.
- *VIN*: (Unregulated power in) Se puede aplicar un voltaje de 5.5-12Vdc (se recomienda 7.5V), el cual es internamente regulado a 5V.

5.2 EJECUCIÓN DE UN PROGRAMA [16]

1. Los programas son escritos en el editor Basic Stamp.
2. El programa es convertido (tokenized) a lenguaje máquina.
3. El programa en lenguaje máquina es transmitido a través del cable serial y es guardado en la memoria EEPROM.
4. El microcontrolador lee el programa de la memoria EEPROM y ejecuta las instrucciones, leyendo y controlando los pines de entrada/salida. El programa permanece almacenado en la EEPROM indefinidamente con o sin alimentación.

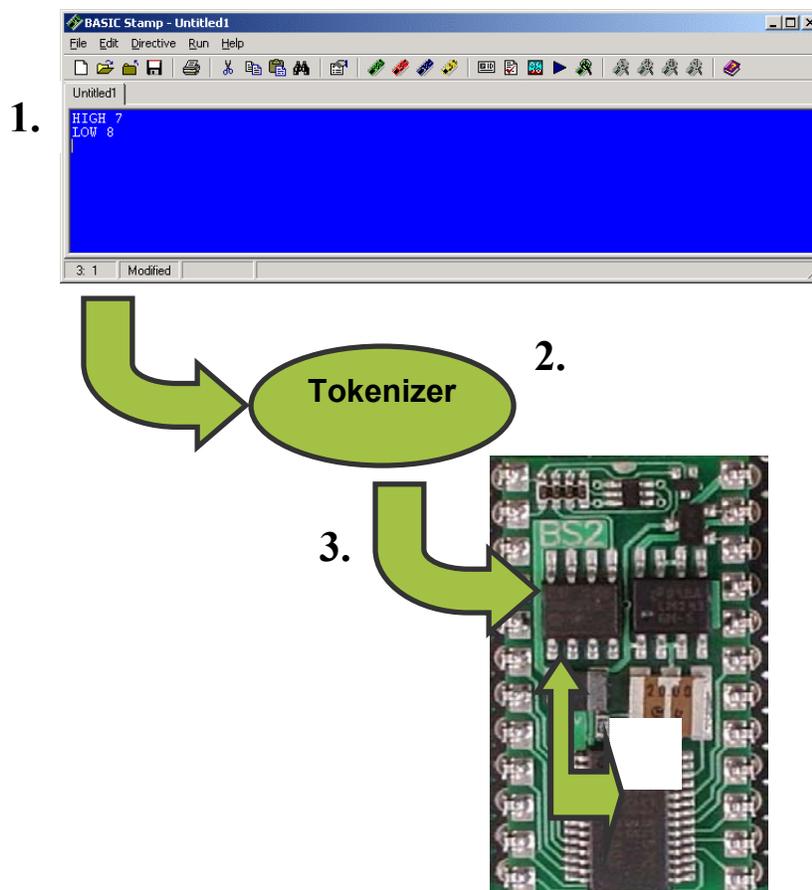


Figura 5.3. Secuencia para la ejecución de un programa en el microcontrolador Basic Stamp BS2sx

5.3 CONEXIÓN DEL CABLE SERIAL

El cable serial (cable de modem) es conectado entre el microcontrolador Basic Stamp y el puerto serial de la computadora (COM port).

Serial significa que los datos son enviados o recibidos bit por bit.

El cable serial es usado para descargar al microcontrolador el programa escrito en el editor de texto, y en ocasiones es empleado para mostrar los datos de entrada y/o salida mediante la instrucción DEBUG.

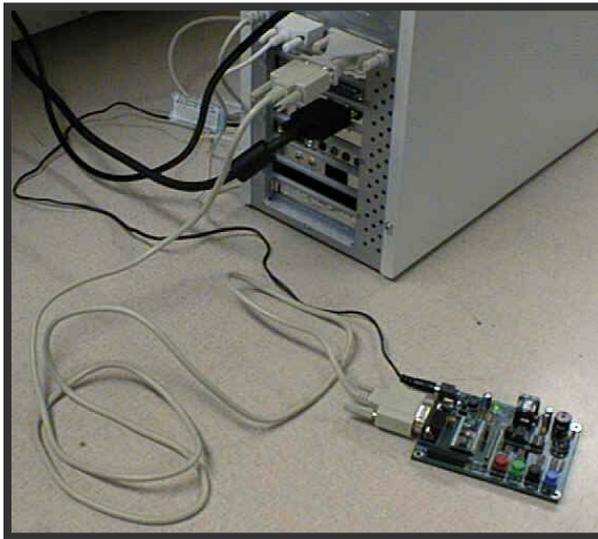


Figura 5.4 Conexión del microcontrolador Basic Stamp BS2sx al puerto serial de la computadora

Hay que asegurarse que en el cable empleado no se encuentren cruzados los extremos de los pines 2 y 3,(a diferencia del Null-Modem cable).

Existen diferentes conectores para diferente hardware de computadora.

5.4 CONECTORES SERIALES

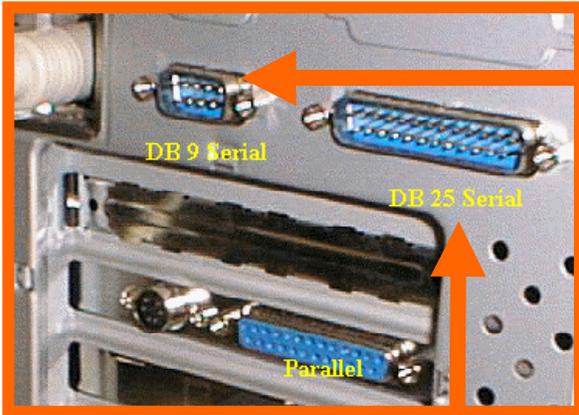


Figura 5.5.1

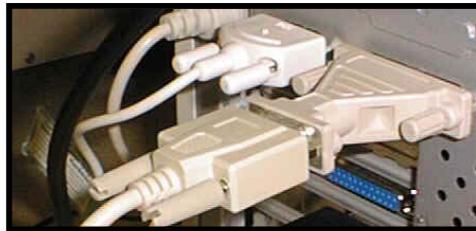
*EL CABLE SE CONECTA
EN EL PUERTO DB 9 COM.*



Figura 5.5.2



Figura 5.5.3



*EL ADAPTADOR DB 25- DB 9 ES
NECESARIO PARA SISTEMAS
MUY OBSOLETOS.*

Figura 5.5.4



*SISTEMAS MAS RECIENTES REQUIEREN
UN ADAPTADOR USB-SERIAL.*

Figura 5.5.5

Figura 5.5.1 Localización de puertos seriales Db9 y Db25 y puerto paralelo.

Figura 5.5.2 Conexión del cable serial al puerto Db9

Figura 5.5.3 Adaptador Db25 serial a Db9 serial

Figura 5.5.4 Conexión del adaptador Db25 a Db9

Figura 5.5.5 Adaptador USB-serial

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES

El estudio de la locomoción mediante extremidades así como la construcción de vehículos con esta característica es versátil y viable, ya que permite acceder a casi cualquier tipo de terreno. Como se puede observar en la naturaleza, en la mayoría de los seres vivos.

Es menester mencionar que la definición de los parámetros del prototipo fue algo difícil de plantear, ya que el emular una articulación tiene grandes retos.

Gracias al análisis cinemático fue posible obtener dichos parámetros, con un cierto grado de certeza, los cuales aseguran la estabilidad del prototipo durante el movimiento. Fue utilizado un mecanismo de cuatro barras.

La definición de los parámetros se expresa a continuación:

- Cada extremidad del robot esta constituido por un mecanismo articulado movido por dos servomotores de C.D.
- Dichas extremidades se montaron sobre una base rectangular, la cual contiene a su vez los circuitos electrónicos necesarios para el control de los servomotores.
- El control de los servomotores fue realizado por un microcontrolador Basic Stamp "BS2sx", el cual proporciona los pulsos necesarios para hacer girar a los servomotores.
- La programación del microcontrolador se hizo en lenguaje PBasic, el cual ofrece una facilidad de uso, ya que contiene instrucciones específicas para el control de los servomotores.
- El robot es capaz de recorrer trayectorias preestablecidas programadas desde el microcontrolador
- En la selección de los materiales, para la construcción de los eslabones que conforman cada extremidad, se consideraron entre algunos parámetros: peso, costo, resistencia, disponibilidad y maquinabilidad.
- El uso de una fresadora de control numérico facilitó la manufactura de los mismos.

Con la definición descrita anteriormente fue posible construir y cumplir con los objetivos del presente trabajo.

Quedan a las futuras generaciones desarrollar algoritmos que faciliten el control para condiciones inestables, ambientes de trabajo hostiles, etc. como lo pueden ser la lógica difusa, algoritmos genéticos, inteligencia artificial, redes neuronales.

APÉNDICE A.
Propiedades del Nylamid XL

PROPIEDADES DEL NYLAMID XL [19]

R = Resiste			
RL = Resistencia Limitada			
NR = No Resiste			
	Norma	Unidades	
FISICAS		ASTM	
Densidad	D792	gr./cm ³	1.14
Dureza Shore-D			83
Absorción de agua: En 24 Horas	D570	% por peso	0.75
Hasta saturación		% por peso	1
MECANICAS			
Resistencia a la tensión	D638	kg./cm ²	862
Módulo de elasticidad a la tensión	D638	kg./cm ²	26,109
Resistencia a la compresión	D695	kg./cm ²	740
Resistencia a la flexión	D790	kg./cm ²	1,035
Módulo de elasticidad a la flexión	D790	kg./cm ²	--
Resistencia al impacto	D256	kg./cm ²	7.4
Limite PV		kg./cm ² (m/s)	5.37
TERMICAS			
Coefficiente de expansión térmica		10 ⁻⁶ /°C	100
Temperatura de servicio en aire		°C	100
QUIMICAS			
Ácidos suaves			R
Ácidos fuertes			RL
Alcalinos suaves			RL
Alcalinos fuertes			NR
Hidrocarburos			R

APÉNDICE B.

Especificaciones Eléctricas

del BS2sx-IC

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DEL BS2sx-IC

[16]

ENCAPSULADO	<i>24-pin DIP</i>
TAMAÑO (L x W x H)	<i>1.2" x 0.6" x 0.4"</i>
CONDICIONES DE OPERACIÓN	<i>0° - 70°C</i>
MICROCONTROLADOR	<i>Scenix Sx28AC</i>
VELOCIDAD DEL PROCESADOR	<i>50MHz</i>
VELOCIDAD DE EJECUCIÓN DE PROGRAMA	<i>~ 10,000 instr/sec</i>
TAMAÑO DE MEMORIA RAM	<i>32 Bytes (6 I/O, 26 Variables)</i>
SCRATCH PAD RAM	<i>64 Bytes</i>
TAMAÑO DE MEMORIA EEPROM	<i>8 x 2K Bytes, ~ 4,000 instr</i>
No. DE PINS I/O	<i>16 y 2seriales</i>
VOLTAGE	<i>5 – 12 Vdc</i>
CORRIENTE @ 5V	<i>60 mA (operación) / 200µA (stand by)</i>
CORRIENTE POR PIN I/O	<i>30mA / 30mA</i>
CORRIENTE POR UNIDAD	<i>60mA / 60mA por 8 pins I/O</i>
No. DE COMANDOS PBASIC	<i>39</i>
INTERFACE DE PC PARA PROGRAMACIÓN	<i>Puerto Serial (9600 baud)</i>
EDITOR DE TEXTO DOS	<i>STAMP2SX.EXE</i>
EDITOR DE TEXTO WINDOWS	<i>Stampw.exe (v1.091 o superior)</i>

APÉNDICE C.
Editor Basic Stamp

EDITOR BASIC STAMP

El editor Basic Stamp es la aplicación que se utiliza para escribir, editar y descargar programas PBASIC al Basic Stamp.

El software puede ser descargado gratuitamente de la página electrónica del fabricante, www.Parallax.com. Algunas instalaciones para Windows 95 y 98 pueden requerir un archivo adicional para ser instalados, el cual se encuentra disponible en la página antes mencionada.

Una vez instalado, el editor Basic Stamp se encuentra disponible en la computadora bajo el menú:

Start → Program Files → Parallax Inc

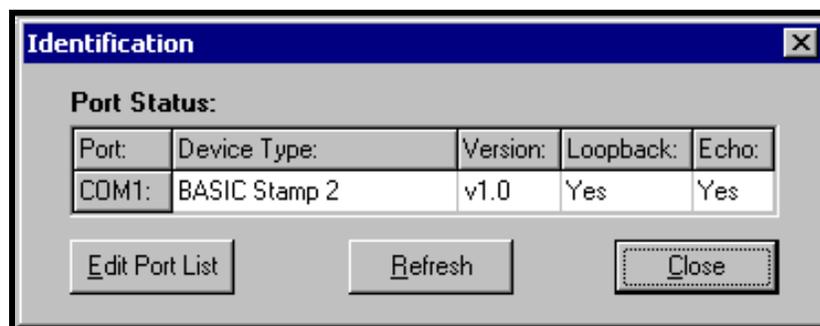


IDENTIFICACIÓN DEL BASIC STAMP

1. Conectar el Basic Stamp a la computadora mediante el cable serial.
2. Alimentar el Basic Stamp.



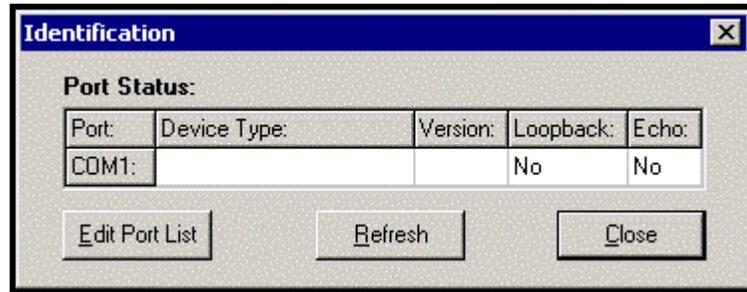
3. Emplear el botón de identificación para verificar la comunicación con el Basic Stamp.



IDENTIFICACIÓN DE ERRORES

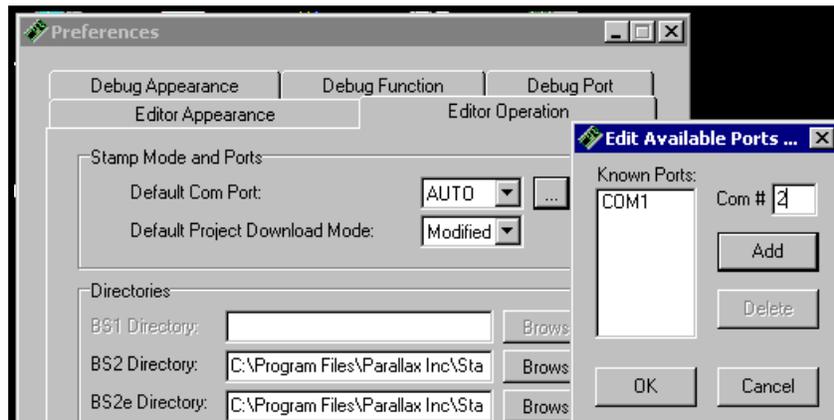
➤ Si la ventana de identificación muestra:

- No Device Type
- No Loopback
- No Echo



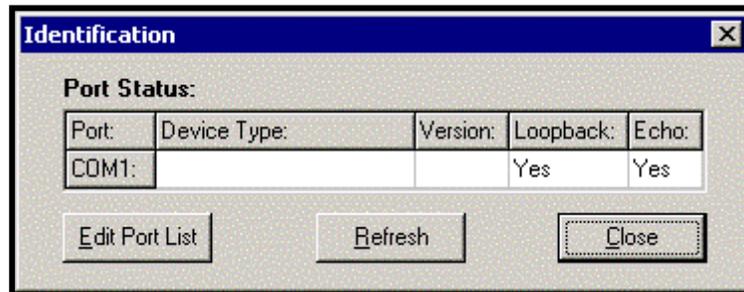
Significa que el Basic Stamp no está conectado adecuadamente al puerto mediante el cable serial.

- Verificar que el Basic Stamp este conectado a la computadora con un cable serial o con una variación de cable full-modem, (no con cable null-modem).
- Si la computadora tiene varios puertos COM, intentar conectar en otro diferente.
- Si el puerto COM que se está empleando no está listado, hay que agregarlo al editor Stamp usando: **Edit → Preferences.**



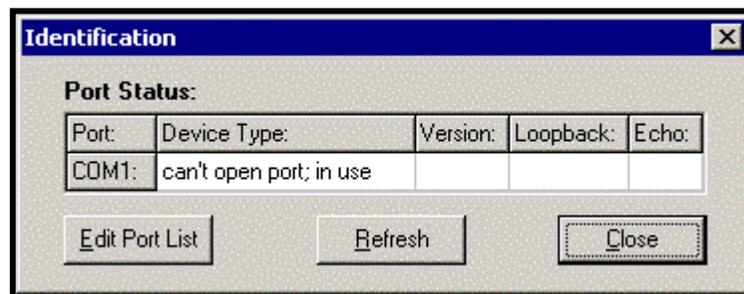
➤ Si la ventana de identificación muestra:

- No Device Type
- Loopback – Yes
- Echo – Yes



Significa que el Basic Stamp esta conectado, pero no energizado.

➤ Si el puerto COM no puede ser abierto, probablemente otro programa tenga el control del puerto.



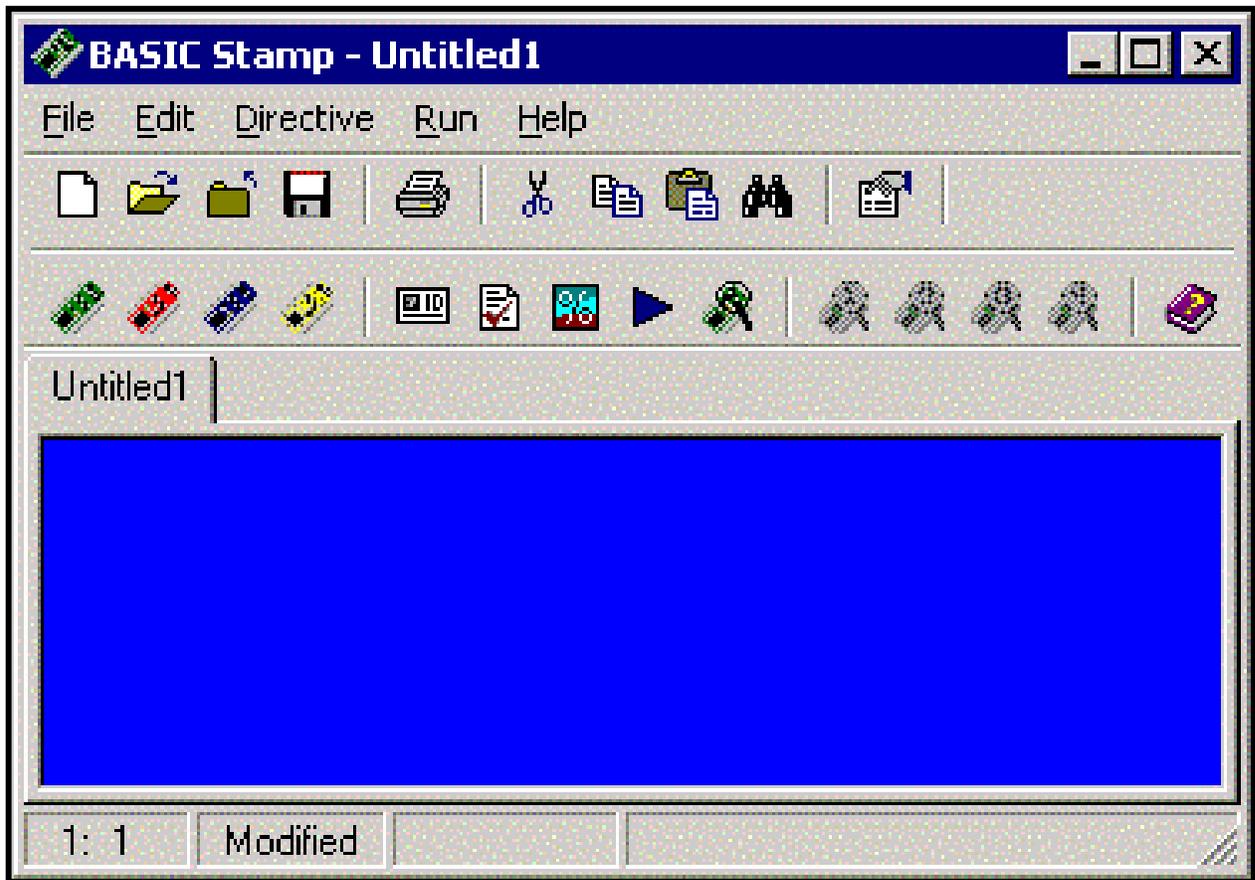
➤ Cierre cualquier aplicación que utilice el puerto COM, incluyendo terminal programs, dial-up programs, Palm Pilot programs y cualquier otro programa que requiera de este puerto.

➤ Si no se puede resolver el problema se recomienda:

- Que otra persona verifique la conexión de circuito.
- Probar el Basic Stamp en otra computadora que tenga el editor.
- Contactar la página electrónica de Parallax.

ESCRITURA DEL PROGRAMA.

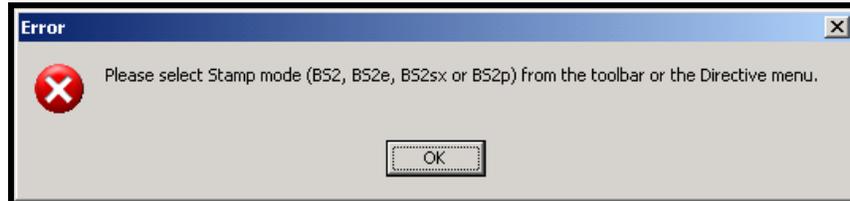
- Los programas de Basic Stamp son escritos en una versión de BASIC llamada PBASIC incluida en el editor del Basic Stamp.
- Un programa normalmente lee los datos de entrada, de proceso y las salidas de control.
- Los programas se deben ajustar a las reglas de sintaxis del PBasic.



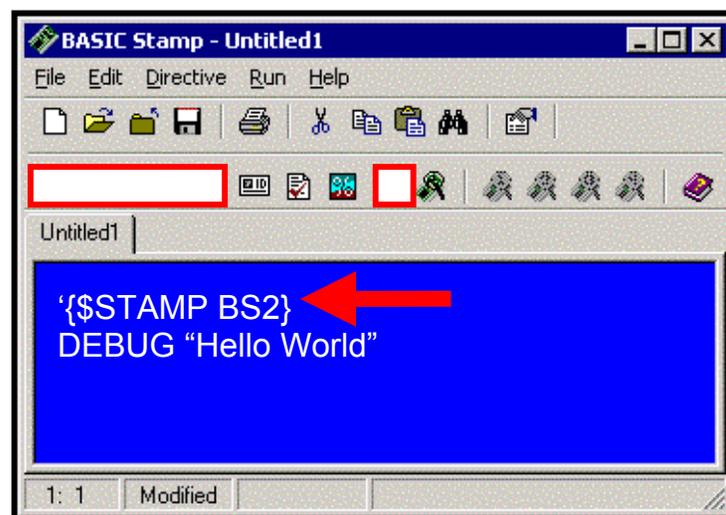
DESCARGA O EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

- Una vez que el programa ha sido escrito, el botón RUN (o Ctrl-R) se emplea para compilar y descargar el programa al Basic Stamp. 

- El editor preguntará que tipo de Basic Stamp se está empleando.

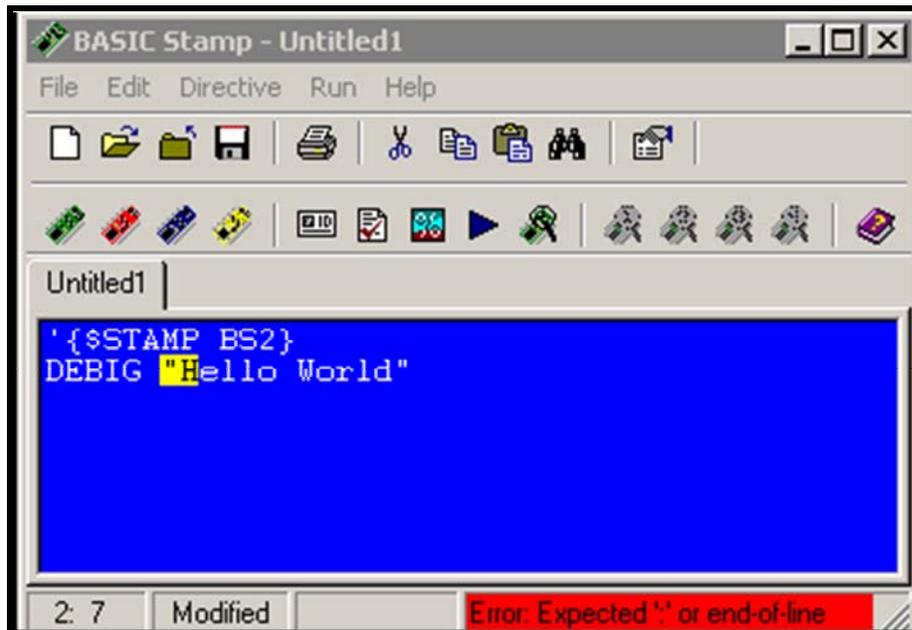


- El tipo de Basic Stamp puede ser seleccionado desde el menú, o puede ser seleccionado mediante color, desde la barra de herramientas.
- Una directiva es agregada al principio del programa.



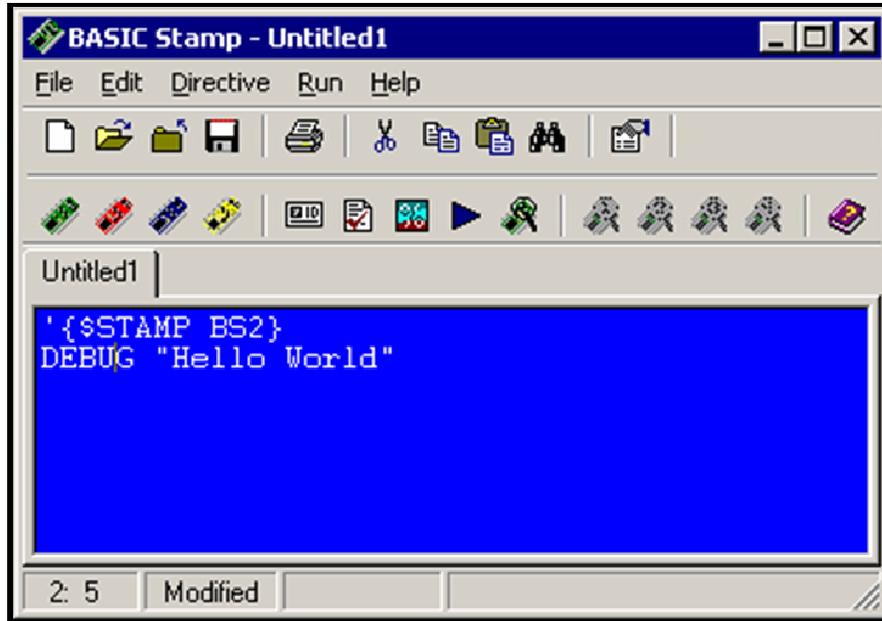
COMPILADO Y DETECCIÓN DE ERRORES

- Cuando un programa es ejecutado en PBASIC el código es convertido en lenguaje máquina. El cual es almacenado en la memoria RAM del Basic Stamp.
- Para compilar el programa, el código debe cumplir con las reglas de sintaxis del lenguaje.
- Si hay algún error:
 - Un mensaje de error aparece indicando el problema, la barra de estado se torna roja y la sección del código que es incorrecta parpadea.
 - Generalmente el error puede ser localizado una vez que el código parpadea.
- La sintaxis del programa puede ser verificada mediante el botón Syntax Check.



VENTANA DEBUG

- El editor del Basic Stamp tiene la instrucción DEBUG. Esta instrucción envía los datos seriales de regreso a la computadora a través del cable serial.



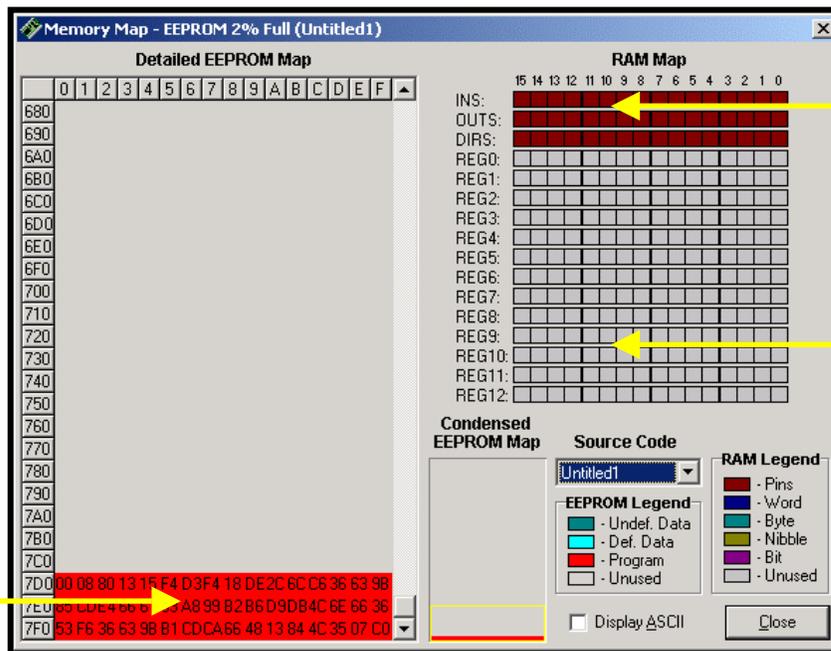
- Cuando se emplea DEBUG en un programa, la ventana DEBUG aparece en el editor para observar los datos de salida.



- Este botón abre la ventana DEBUG.
- MAPA DE MEMORIA**



- El botón  abre la ventana Memory Map.
- Esta ventana muestra como esta siendo utilizada la memoria EEPROM y la memoria RAM.
- El programa es almacenado en la parte baja de la memoria.



Memoria RAM:
Puertos de control I/O.

Memoria RAM:
Variables.

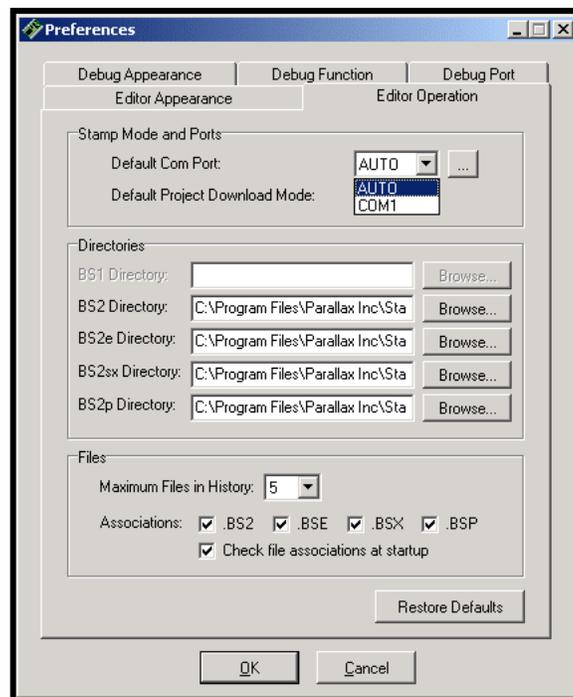
Memoria EEPROM:
Espacio del programa
compilado.

PREFERENCES



➤ Con el botón de Preferences se puede:

- Cambiar el color, tipo de fuente y el espacio del tabulador para el editor de texto y para la pantalla DEBUG.
- Seleccionar en que puerto COM será conectado el Basic Stamp, o seleccionar el modo de detección automática.
- Modificar las opciones del DEBUG y del editor en general.



ARCHIVOS DE AYUDA

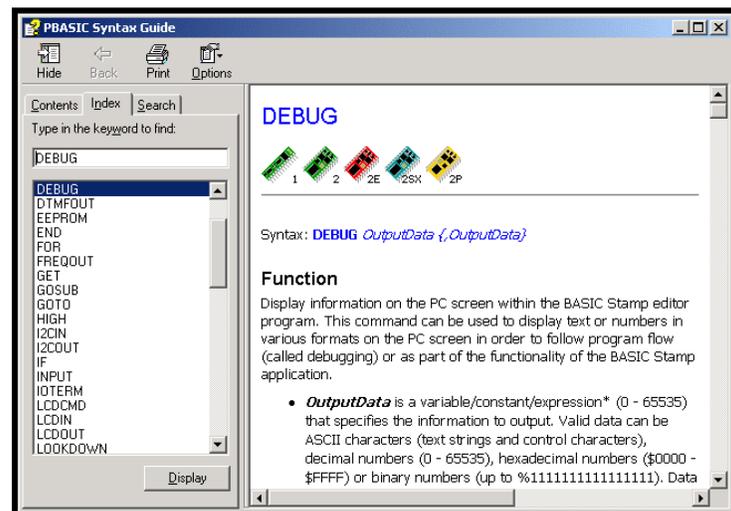
- Los archivos de ayuda se utilizan para resolver algún problema o duda que se pueda tener con alguna instrucción o empleo de la sintaxis durante la programación.



- Sombreado cualquier instrucción y presionando F1, los archivos de ayuda se abrirán para mostrar toda la información de esa instrucción.



- Además la ayuda proporciona la descripción, sintaxis y un ejemplo de cada instrucción.

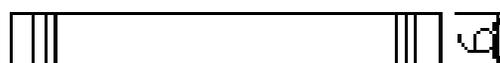


APÉNDICE D.

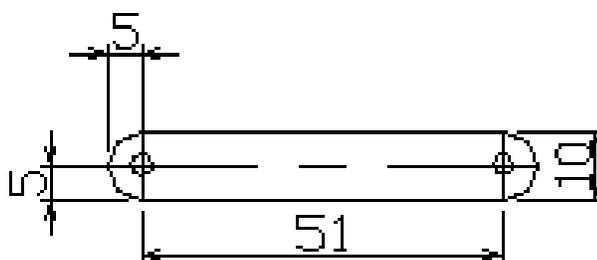
Planos de las Piezas

ESLABON CORTO

VISTA SUPERIOR



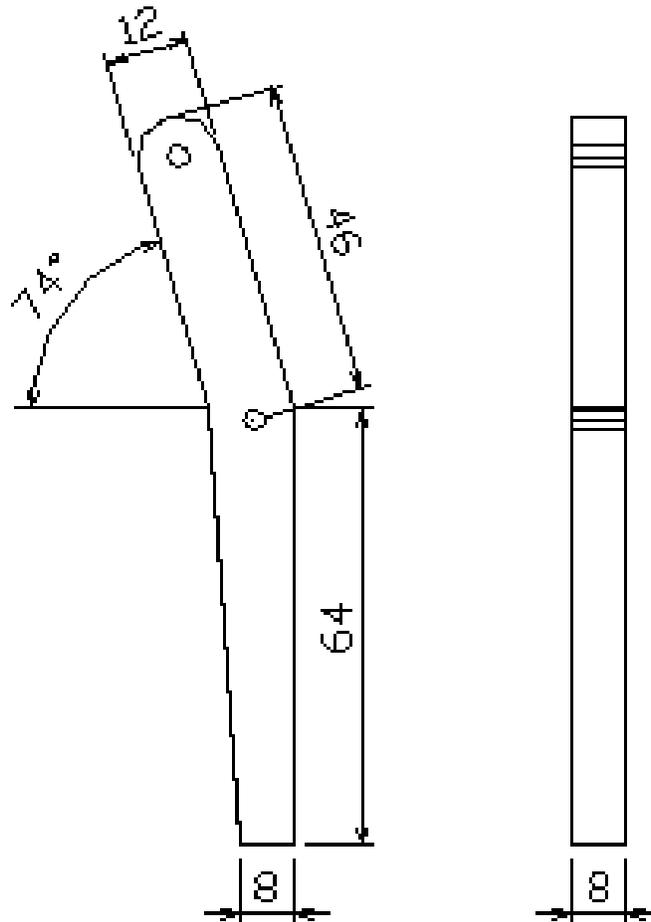
VISTA FRONTAL



Diámetro de los barrenos : 3 mm.

	PROYECTO			
	ROBOT CUADRÚPEDO			
	VISTADO			
	ESLABON CORTO			
ESCUELA		ALUMNOS		
F.E.S.C. C-4		Abraham Apolo González Tokunaga Mario Alberto González Hernández		
Escalaciones en mm		Área: Ingeniería Mecánica Eléctrica		Hoja 1/1

ESLABON CURVO



VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL DERECHA

Diámetro de los barrenos: 3 mm.

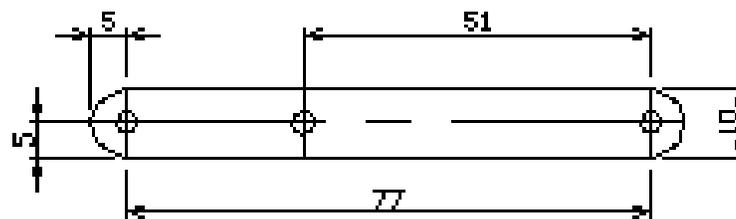
	PROYECTO	
	ROBOT CUADRÚPEDO	
	DISEÑO	
	ESLABON CURVO	
ESCUELA	ALUMNOS	
F.E.S.C. C-4	Abraham Apolo González Tokunaga Mario Alberto González Hernández	
Acotaciones en: mm	Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica	Foja 1/1

ESLABON LARGO

VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

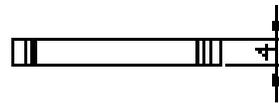


Diametro de los barrenos : 3 mm.

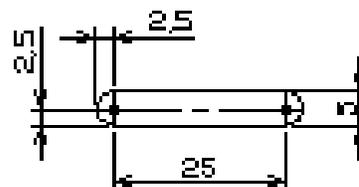
	PROYECTO	
	ROBOT CUADRÚPEDO	
	DETALLE	
	ESLABON LARGO	
ESCUELA	ALUMNOS	
F.E.S.C. C-4	Abraham Apolo González Tobun-Haga Mario Alberto González Hernández	
Acotaciones en mm	Carretera Ingeniería Mecánica Eléctrica	Foja 1/1

ESLABON MOTOR

VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



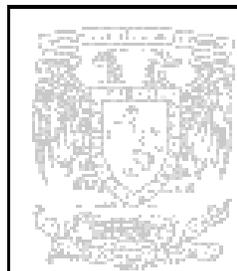
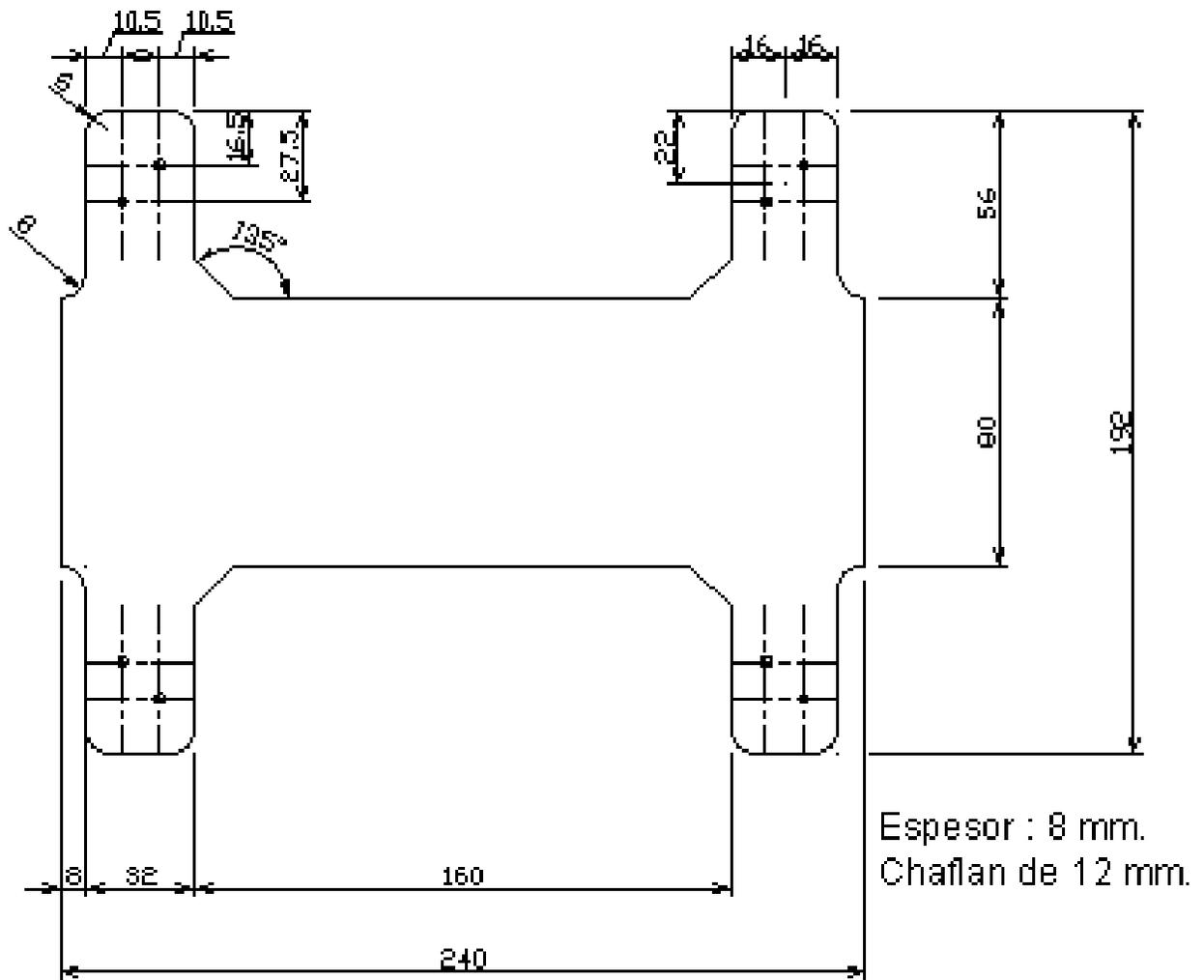
Diámetro de los barrenos : 3 mm.

No. de piezas: 4

	PROYECTO	
	ROBOT CUADRÚPEDO	
	DISEÑO	
	ESLABON MOTOR	
ESCUELA	ALUMNOS	
F. E. S. C. C-4	Marcos Apolo González Tokunaga Mario Alberto González Hernández	
Asociación: SENCI		Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica
		Foja 1/1

CHASIS

VISTA SUPERIOR



PROYECTO

ROBOT CUADRÚPEDO

DISEÑO

CHASIS

ESCUELA

F.E.S.C. C-4

ALUMNOS

Alexander Apolo González Tokunaga
Mario Alberto González Hernández

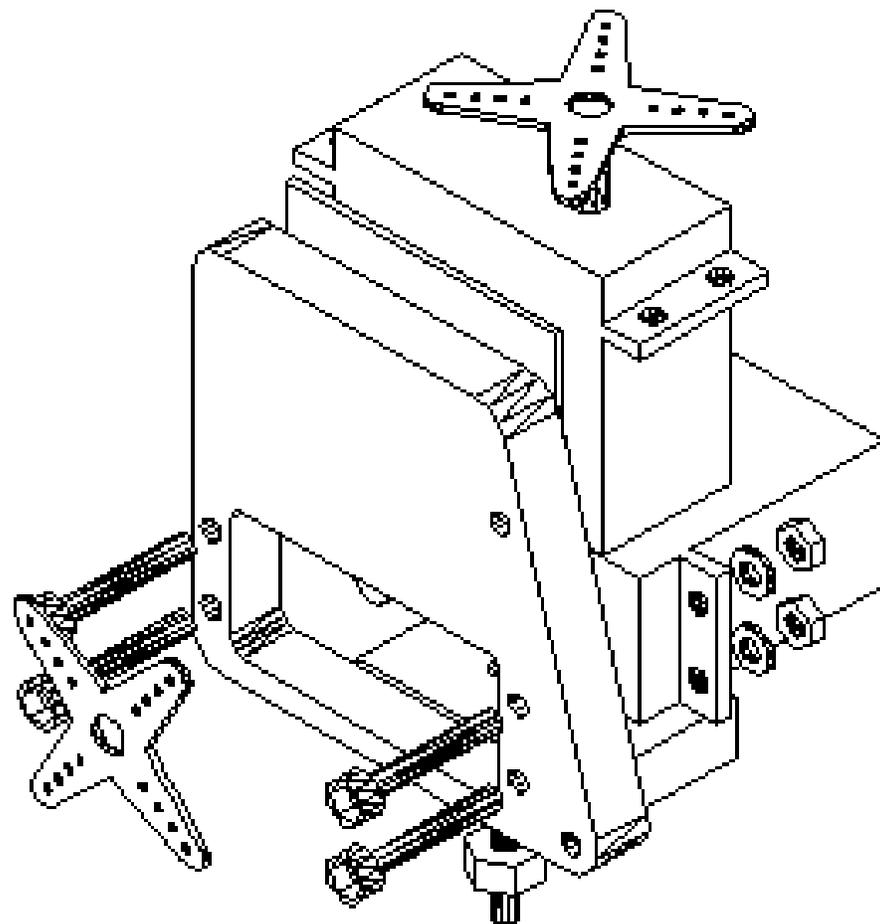
Anotaciones: none

Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Foja 1/1

EXTREMIDAD EXPLOSIÓN 1

ISÓMETRICO



PROYECTO
ROBOT CUADRÚPEDO

OBJETO
EXTREMIDAD EXPLOSIÓN 1

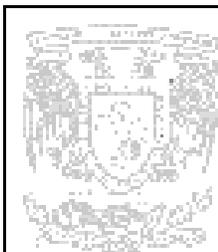
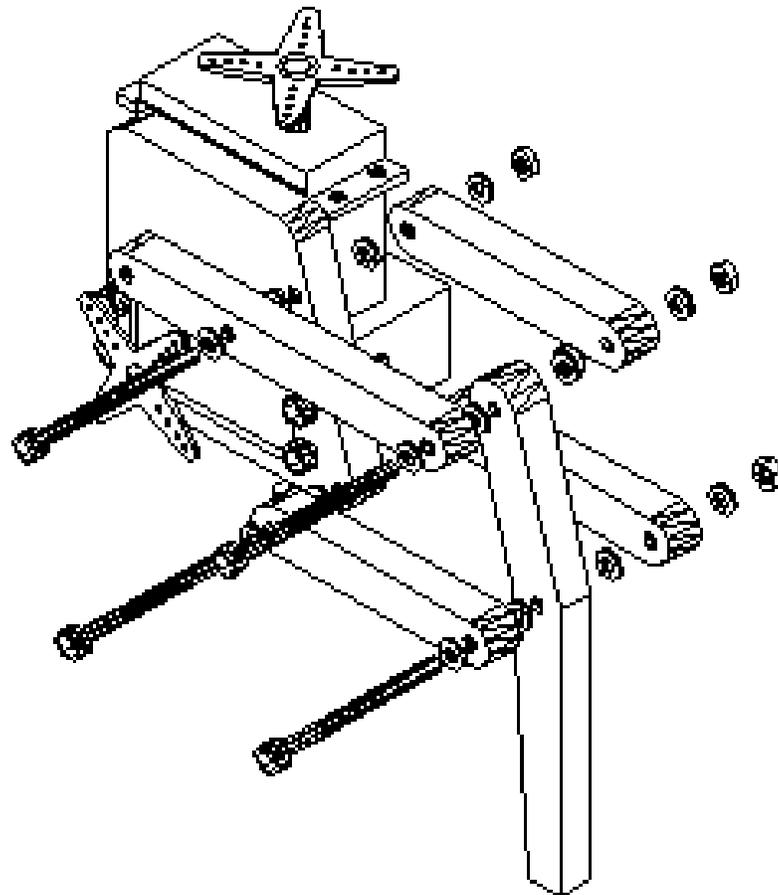
ESCUELA
F.E.S.C. C-4

ALUMNOS
Abraham Apolo González Tokin-Naya
Mario Alberto González Hernández

Aprobaciones en: Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica | Hoja 1/1

EXTREMIDAD EXPLOSIÓN 2

ISÓMETRICO



ESCUELA

ROBOT CUADRÚPEDO

CURSO

EXTREMIDAD EXPLOSIÓN 2

OPCIÓN

F.B.S.C. C-4

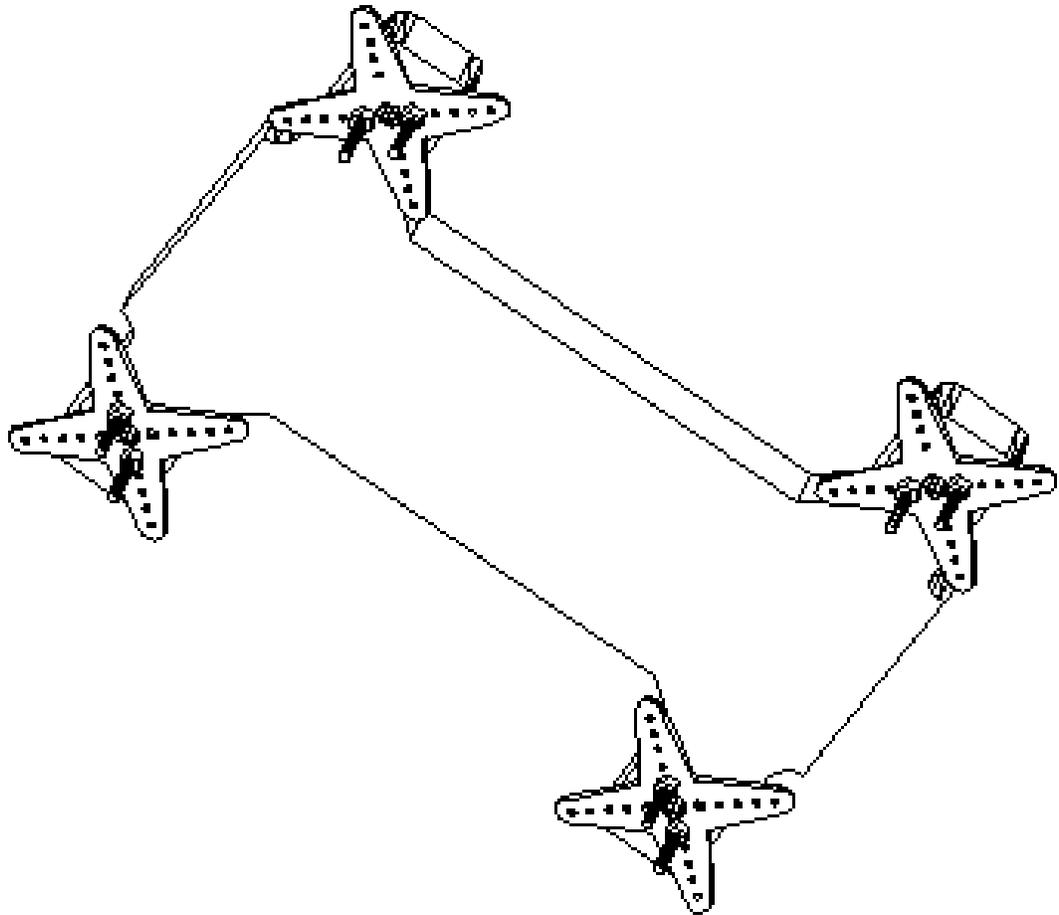
NOMBRE

Alfonso José Sánchez Torres-Segura
Diego Alberto Sánchez Sánchez

Asignatura: 05004 - Mecánica de Máquinas Eléctricas Hoja 1/1

CHASIS SUPERIOR

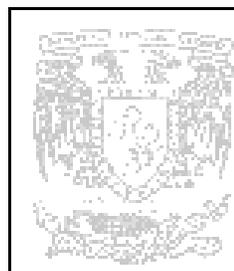
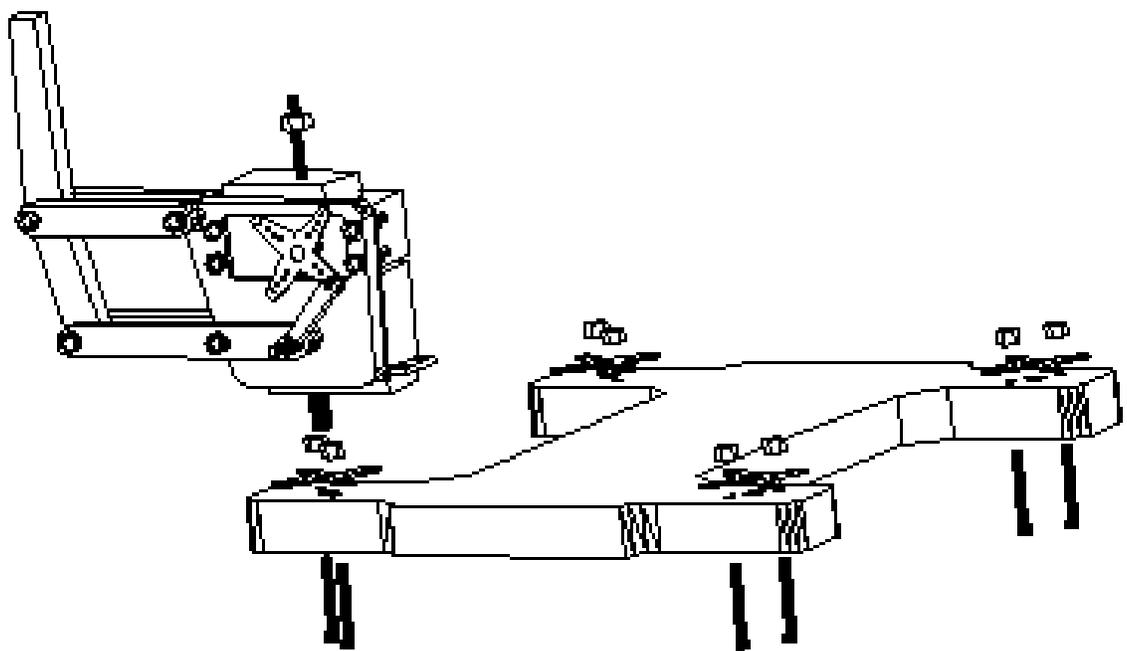
VISTA INFERIOR



	PROYECTO		
	ROBOT CUADRÚPEDO		
	OBJETO		
		CHASIS SUPERIOR	
ESCUELA		ALUMNOS	
F.E.S.C. C-4		Abraham Apolo González Tokun-Naga Mario Alberto González Hernández	
Anotaciones en: mg		Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica	Hoja 1/1

CHASIS SUPERIOR EXPLOSION

VISTA INFERIOR



PROYECTO

ROBOT CUADRÚPEDO

DISEÑO

CHASIS SUPERIOR EXPLOSIÓN

ESCUELA

F.E.S.C. C-4

ALUMNOS

Abraham Apolo González Tokun-Haga

Mario Alberto González Hernández

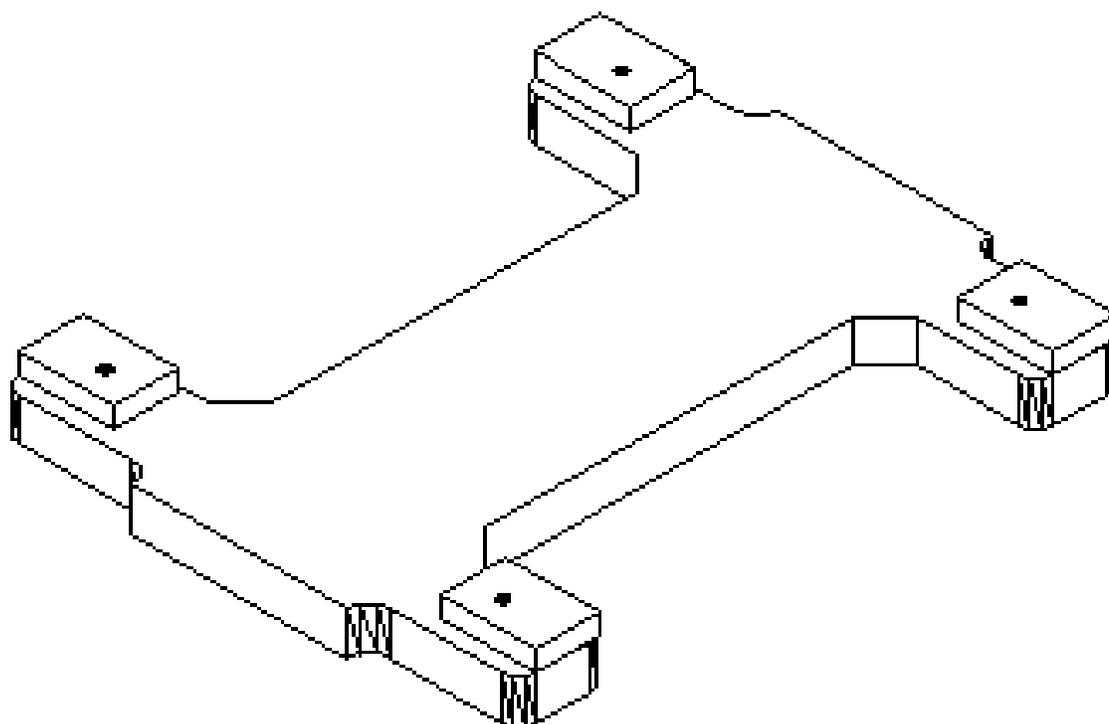
Aprobaciones: profesor

Cargos: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Foja 1/1

CHASIS INFERIOR

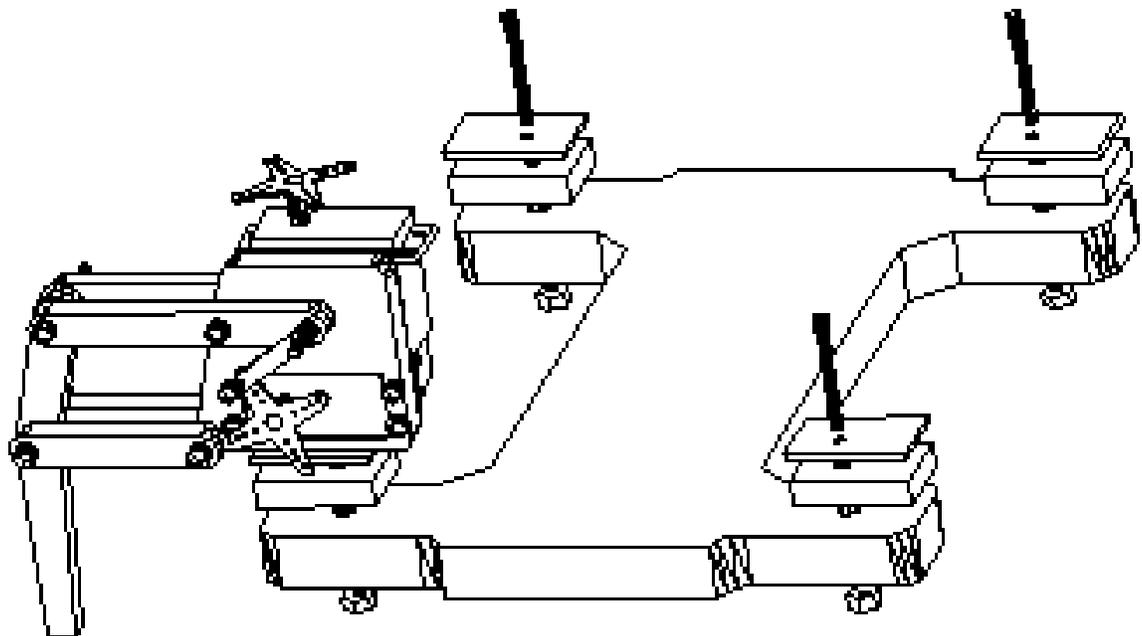
VISTA INFERIOR

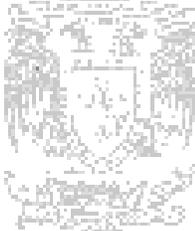


	PROYECTO		
	ROBOT CUADRÚPEDO		
	CHASIS INFERIOR		
ESCUELA		ALUMNOS	
F.E.E.C. C-4		Nathan Apolo González Tokun-Haga Mario Alberto González Hernández	
Asignatura		Carrera	
en Ingeniería		en Ingeniería Mecánica Eléctrica	
		1/1	

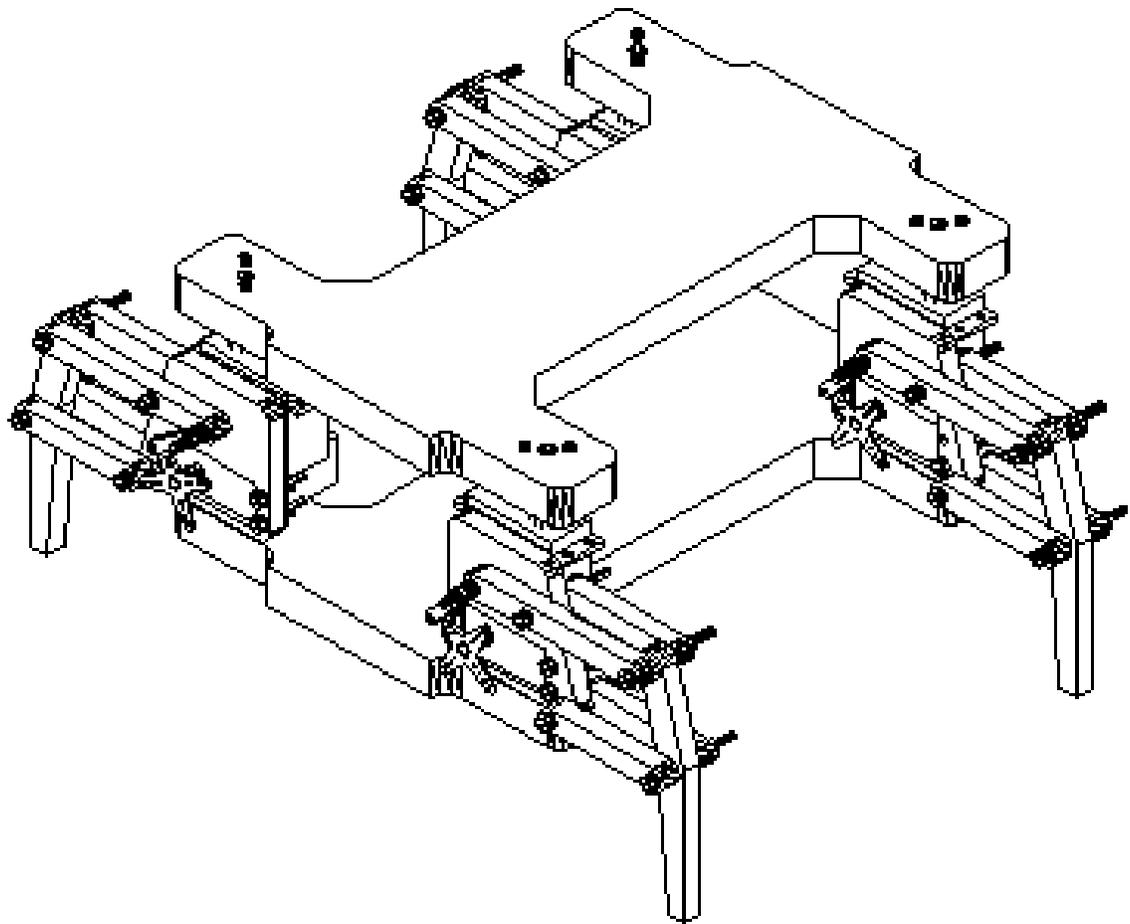
CHASIS INFERIOR EXPLOSIÓN

VISTA SUPERIOR



	PROYECTO ROBOT CUADRÚPEDO	
	CHASIS INFERIOR EXPLOSIÓN	
	UNIVERSIDAD I.T.E.S.E. C-4	ALUMNO Sección 2º año Controlar Robótica Sección 2º año Controlar Robótica
	Fecha: 20/09/2020	Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

ENSAMBLE ISÓMETRICO



	PROYECTO	
	ROBOT CUADRÚPEDO	
	DISEÑO	
	ENSAMBLE	
ESCUELA	ALUMNOS	
F.E.S.C. C-4	Abraham Apolo González Tokunaga Mario Alberto González Hernández	
Acotaciones en mm	Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica	Hoja 1/1

APÉNDICE E.
Códigos C.N.C.
de las Piezas

BASE DE LA EXTREMIDAD

BILLET X100 Y50 Z10

TOOLDEF T01 D5

N010 G21

N020 G91

N030 G28 Z0

N040 G28 X0 Y0

N050 M06 T01

N060 G00 X0 Y0

N070 M03 S850

N080 G90

N090 G01 Z0 F90

N100 G00 Z2

N110 G41

N120 G00 X26 Y4 Z-5

N130 G01 X48 Y4

N140 G01 X48 Y24

N150 G01 X6 Y24

N160 G01 N170 G01 X26 N180 G01 X26 Y4
Z-9

N190 G01 X48 Y4

N200 G01 X48 Y24

N210 G01 X30 Y24

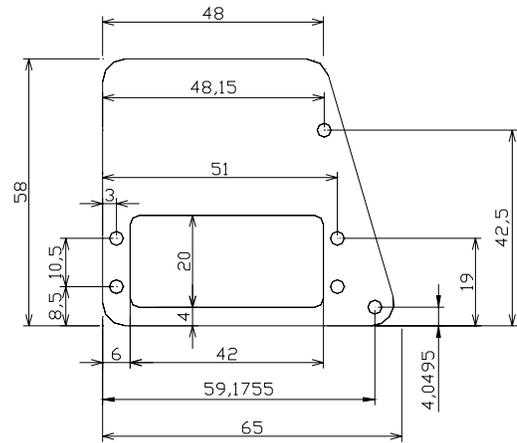
DEJANDO PESTAÑA 1, LEVANTANDO CORTADOR

N220 G00 X30 Y24 Z1

N230 G00 X26 Y24

BASE DE LA EXTREMIDAD

VISTA SUPERIOR



TERMINA PESTAÑA 1, BAJANDO CORTADOR

N240 G01 X26 Y24 Z-9

N250 G01 X6 Y24

N260 G01 X6 Y4

DEJANDO PESTAÑA 2, LEVANTANDO CORTADOR

N270 G01 X22 Y4

N280 G00 X22 Y4 Z1

N290 G40

N300 G42

N310 G00 X20 Y58 Z1

N320 G01 X20 Y58 Z-4

N330 G01 X5 Y58

N340 G03 X0 Y53 R5 F40

N350 G01 X0 Y5 F90

N360 G03 X5 Y0 R5 F40

N370 G01 X60 Y0 F90

N380 G03 X65 Y5 R5 F40

N390 G01 X49.465 Y53 F90

N400 G03 X44.465 Y58 R5 F40

N410 G01 X20 Y58 F90

N420 G01 X20 Y58 Z-9

N430 G01 X5 Y58

N440 G03 X0 Y53 R5 F40

N450 G01 X0 Y5 F90

N460 G03 X5 Y0 R5 F40

N470 G01 X30 Y0 F90

DEJANDO PESTAÑA 1, LEVANTANDO CORTADOR

N480 G00 X30 Y0 Z1

N490 G00 X34 Y0

TERMINA PESTAÑA 1, BAJANDO CORTADOR -9 MM

N500	G01	X34	Y0	Z-9		
N510	G01	X60	Y0			
N520	G03	X65	Y5		R5	F40
N530	G01	X49.465	Y53			F90
N540	G03	X.44.465	Y58		R5	F40
N550	G01	X24	Y58			F90

DEJANDO PESTAÑA 2, LEVANTANDO CORTADOR

N560	G00	X24	Y58	Z1		
N570	G40					
N580	G28	Z0				
N590	G28	X0	Y0			
N600	M30					

ESLABON LARGO

BILLET X100 Y50 Z10

TOOLDEF T01 D5

N010 G21

N020 G91

N030 G28 Z0

N040 G28 X0 Y0

N050 M06 T01

N060 G00 X0 Y0

N070 M03 S850

N080 G90

N090 G01 Z0 F90

N100 G00 Z2

N110 G42

N120 G00 X45 Y0 Z2

N130 G01 X45 Y0 Z-5

N140 G01 X82 Y0

N150 G03 X87 Y5 R5 F40

N160 G03 X82 Y10 R5 F40

N170 G01 X5 Y10 F90

N180 G03 X0 Y5 R5 F40

N190 G03 X5 Y0 R5 F40

N200 G01 X45 Y0 F90

N210 G01 X45 Y0 Z-9

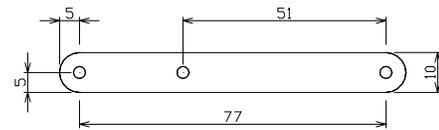
N220 G01 X82 Y0

N230 G03 X87 Y5 R5 F40

N240 G03 X82 Y10 R5 F40

ESLABON LARGO

VISTA SUPERIOR



DEJANDO PESTAÑA 1, LEVANTANDO CORTADOR

N250 G01 X49 Y10 F90

N260 G00 X49 Y10 Z1

N270 G00 X45 Y10

TERMINA PESTAÑA 1, BAJANDO CORTADOR

N280 G01 X45 Y10 Z-9

N290 G01 X5 Y10

N300 G03 X0 Y5 R5 F40

N310 G03 X5 Y0 R5

DEJANDO PESTAÑA 2

N320 G01 X41 Y0 F90

N330 G00 X41 Y0 Z1

N340 G40

N350 G28 Z0

N360 G28 X0 Y0

N370 M30

ESLABON CORTO

BILLET X70 Y50 Z10

TOOLDEF T01 D5

N010 G21

N020 G91

N030 G28 Z0

N040 G28 X0 Y0

N050 M06 T01

N060 G00 X0 Y0

N070 M03 S850

N080 G90

N090 G01 Z0 F90

N100 G00 Z2

N110 G00 X0 Y2

N120 G01 X0 Y2 Z-2

N130 G01 X65 Y2

N140 G01 X65 Y5

N150 G01 X0 Y5

N160 G01 X0 Y7.5

N170 G01 X65 Y7.5

N180 G00 X65 Y7.5 Z2

N190 G42

N200 G00 X35 Y10 Z2

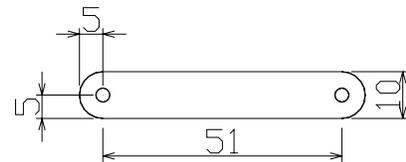
N210 G01 X35 Y10 Z-5

N220 G01 X5 Y10

N230 G03 X0 Y5 R5 F40

ESLABON CORTO

VISTA SUPERIOR



N240	G03	X5	Y0		R5	
N250	G01	X55	Y0			F90
N260	G03	X60	Y5		R5	F40
N270	G03	X55	Y10		R5	
N280	G01	X35	Y10			F90
N290	G01	X35	Y10	Z-9		
N300	G01	X5	Y10			
N310	G03	X0	Y5		R5	F40
N320	G03	X5	Y0		R5	
N330	G01	X35	Y0			F90

DEJANDO PESTAÑA 1, LEVANTANDO CORTADOR

N340	G00	X35	Y0	Z2		
N350	G00	X39	Y0			

TERMINA PESTAÑA 1, BAJANDO CORTADOR

N360	G01	X39	Y0	Z-9		
N370	G01	X55	Y0			
N380	G03	X60	Y5		R5	F40
N390	G03	X55	Y10		R5	
N400	G01	X39	Y10			F90

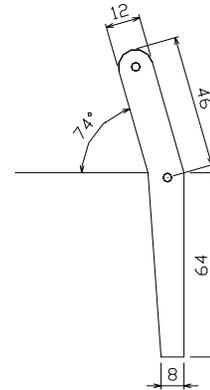
DEJANDO PESTAÑA 2, LEVANTANDO CORTADOR

N410	G00	X39	Y10	Z2		
N420	G40					
N430	G28	Z0				
N440	G28	X0	Y0			
N450	M30					

ESLABON CURVO

BILLET	X100	Y50	Z10			
TOOLDEF	T01	D5				
N010	G21					
N020	G91					
N030	G28	Z0				
N040	G28	X0	Y0			
N050	M06	T01				
N060	G00	X0	Y0			
N070	M03	S850				
N080	G90					
N090	G01	Z0	F90			
N100	G00	Z2				
N110	G42					
N120	G00	X30	Y0			
N130	G01	X30	Y0	Z-4		
N140	G01	X64	Y0			
N150	G01	X102.45	Y11.02			PRIMER PUNTO
ARCO						
N160	G03	X106.56	Y18.45	R6	F40	SEGUNDO PUNTO
ARCO						
N170	G03	X99.14	Y22.56	R6	F40	TERCER PUNTO
ARCO						
N180	G01	X64	Y11.53		F90	
N190	G01	X0	Y8			
N200	G01	X0	Y0			
N210	G01	X30	Y0			
N220	G01	X30	Y0	Z-9		

ESLABON CURVO
VISTA SUPERIOR



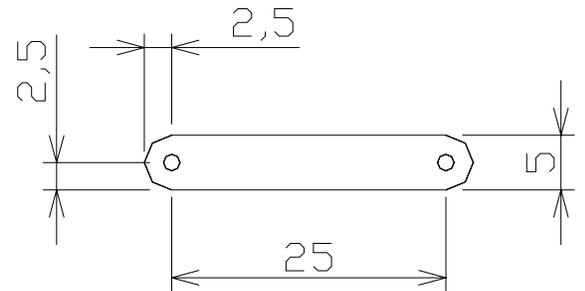
N230	G01	X64	Y0				
N240	G01	X102.45	Y11.02			PRIMER	PUNTO
ARCO							
N250	G03	X106.56	Y18.45	R6	F40	SEGUNDO	PUNTO
ARCO							
N260	G03	X99.14	Y22.56	R6	F40	TERCER	PUNTO
ARCO							
N270	G01	X75.11	Y15.67		F90	INICIA	PESTAÑA 1
N280	G00	X75.11	Y15.67	Z2			
N290	G00	X70.3	Y14.29				
N300	G01	X70.3	Y14.29	Z-9		FINALIZA	PESTAÑA
1							
N310	G01	X64	Y11.53				
N320	G01	X0	Y8				
N330	G01	X0	Y0				
N340	G01	X24	Y0				
N350	G00	X24	Y0	Z2		INICIA	PESTAÑA 2
N360	G40					TERMINA	PESTAÑA 2
N370	G28	Z0					
N380	G28	X0	Y0				
N390	M30						

ESLABON MOTOR

BILLET	X50	Y50	Z10	
TOOLDEF	T01	D5		
N010	G21			
N020	G91			
N030	G28	Z0		
N040	G28	X0	Y0	
N050	M06	T01		
N060	G00	X0	Y0	
N070	M03	S850		
N080	G90			
N090	G01	Z0	F90	
N100	G00	Z2		
N110	G00	X0	Y1	
N120	G01	X0	Y1	Z-2.5
N130	G01	X35	Y1	
N140	G01	X35	Y1.5	
N150	G01	X0	Y1.5	
N160	G01	X0	Y1.5	Z-4.5
N170	G01	X35	Y1.5	
N180	G01	X35	Y1	
N190	G01	X0	Y1	
N200	G00	X0	Y1	Z1
N210	G42			
N220	G00	X15	Y0	
N230	G01	X15	Y0	Z-9

ESLABON MOTOR

VISTA SUPERIOR



N240	G01	X27.5	Y0		
N250	G03	X30	Y2.5	R2.5	F40
N260	G03	X27.5	Y5	R2.5	
N270	G01	X19	Y5		F90

DEJANDO PESTAÑA 1, LEVANTANDO CORTADOR

N280	G00	X19	Y5	Z1	
N290	G00	X15	Y5		

TERMINA PESTAÑA 1, BAJANDO CORTADOR

N300	G01	X15	Y5	Z-9	
N310	G01	X2.5	Y5		
N320	G03	X0	Y2.5	R2.5	F40
N330	G03	X2.5	Y0	R2.5	

DEJANDO PESTAÑA 2, LEVANTANDO CORTADOR

N340	G01	X11	Y0		F90
N350	G00	X11	Y0	Z1	
N360	G40				
N370	G28	Z0			
N380	G28	X0	Y0		
N390	M30				

APÉNDICE F.
Costos de Materiales y
Tiempo de Maquinado

Lista de costos de partes electrónicas				
Parte	Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
BS2sx-IC	Microcontrolador Basic Stamp 2sx Parallax	1	500	500
Servo (900-00005)	Servomotor standard Parallax	8	200	1600
6N138	Optoacoplador NPN con salida Darlington	8	14	112
R1	Resistencia de 2200 ohms	8	1	8
R2	Resistencia de 1000 ohms	8	1	8
LM2940	Regulador de Voltaje	1	20	20
C1	Capacitor de 47 μ f	1	3	3
C2	Capacitor de 22 μ f	1	2	2
Pila 9V	Pila cuadrada recargable de 9V	1	80	80
Pila 1.2V	Pila tipo AA recargable de 1.2V	4	25	100
Costo Total			2433	
Lista de costos de partes mecanicas				
Nylamid	Placa de Nylamid 1.20 X 1.20 m. 1/4" espesor	1	600	600
Tornillo	Tornillo dia. 3 mm.	16	1	16
Tornillo	Tornillo dia. 3 mm.	12	1	12
Tornillo	Tornillo dia. 1 mm.	4	2	8
Tornillo	Tornillo dia. 3 mm.	4	1	4
Tornillo	Tornillo dia. 3mm.	4	1	4
Tuercas	Tuercas dia. 3 mm	16	0.5	8
Tuercas	Tuercas dia. 3 mm	4	0.5	2
Tuercas	Tuercas dia. 1 mm	4	1	4
Rondanas	Rondanas dia. 3 mm.	56	0.2	11.2
Rondanas	Rondanas dia. 1 mm.	4	0.5	2
Cinta	Cinta de montaje	1	40	40
Costo Total			711.2	
<u>Gran Total</u>			<u>3144.2</u>	

Tiempo de Maquinado

Cantidad	Descripcion	Tiempo Unitario (horas)	Total (horas)
12	Eslabones Cortos	0.5	6
4	Eslabones Largos	0.5	2
4	Eslabones Curvos	0.5	2
4	Eslabones Motor	0.5	2
4	Base de la Extremidad	1	4
2	Chasis	1	2

BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFIA:

[1]	ANTONIO BARRIENTOS, LUIS F. PEÑIN, CARLOS BALAGUER, RAFAEL ARACIL, "Fundamentos de Robótica", Editorial Mc Graw Hill, España, 1997.
[2]	NOSTRAND-90 J.W. Nostrand y E.L. Sampson, "Robots in Service Industry", Concise Internacional Enciclopedia of Robotics, Editor R.C. Dorf, Jonh Wiley & Sons, 1990.
[3]	Knasel-86 T.M. Kansel, "Mobile robotics. State of the art review", Robotics 2, North-Holland, 1986.
[4]	www.informatics.ed.ac.uk Hugo Leonardo Rosano Matchain. Shool of Informatics, University of Edinburgh
[5]	http://world.honda.com/ASIMO/
[6]	http://www.mechatronik.uniduisburg.de/robotics/alduro/CLAWAR2003_Germann_Paper.pdf
[7]	http://www.mundobot.com/projects/melanie/v2/spmelanie2.htm
[8]	http://www.walking-machines.org/
[9]	http://www.clawar.com/TheCLAWARHomePages.htm
[10]	Jaimes F. Shackelford "Ciencia de Materiales para Ingenieros" Ed. Prentice Hall, 3ª Edición, 1995
[11]	ROBERT L. NORTON "Diseño de Maquinaria" Ed. McGraw-Hill, 1ª Edición, 1995.
[12]	ARTHUR G. ERDMAN, GEORGE N. SANDOR "Diseño de Mecanismos Análisis y Síntesis" Ed. Prentice Hall, 3ª Edición, 1998.
[13]	COUGHLIN, DRISCOLL "Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados" Ed. Prentice Hall, 5ª Edición, 1998.

[14]	MALONEY “Electrónica Industrial Moderna” Ed. Prentice Hall, 3ª Edición, 1999.
[15]	KEINTH WEISKAMP, LOREN HEINY “Microprocesadores y Microcontroladores” Ed. Grupo Noriega, 2ª Edición, 1995.
[16]	http://www.parallax.com/
[17]	http://www.info- ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm
[18]	http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm#SERVOS
[19]	http://www.nylamid.com.mx/