

308917

18
24



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

REDISEÑO DE UN ROBOT CAMINADOR
SISTEMA DE LOCOMOCION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: INGENIERIA MECANICA

P R E S E N T A

OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASEÑOR

DIRECTOR: DR. ROBERTO F. JACOBUS DAVALOS

MEXICO, D. F.

272556

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi vida, por haberme dado una familia que siempre me ha apoyado, inteligencia, y salud. Te doy gracias por todo lo que me has dado y sobre todo por estar conmigo en cada instante de mi vida

A Mis Abuelos Cesar y Marta-Luiza

Les dedico esta tesis como muestra de cariño y agradecimiento, por que éste es el resultado del esfuerzo que hicieron para darnos lo mejor a mis hermanas y a mí, por todo ese apoyo que me dieron aunque ya no estén conmigo, gracias.

A Mis Padres

Quienes me han brindado todo el apoyo y cariño, por darme una educación privilegiada, por enseñarme a luchar en la vida y a valerme por mis propios medios. Por todos esos errores que he cometido y que me han sabido perdonar. Les agradezco la confianza que han depositado en mí.

A Mis Hermanas

Por su fe depositada en mí, por esos momentos que pasamos juntos.

A Mi Tía Irma

Por todo ese apoyo que he recibido de ti, ya que siempre has estado para poder ayudarme, aconsejarme he incluso animarme para cumplir mis metas.

A Mis Tíos Jesús y Graciela

Quienes me han tomado como parte de su familia

A Mis Tíos José, Antonio, Lucrecia, Juan Manuel, Leticia y Elbe

Por todos esos momentos que hemos pasado juntos y por ser una parte importante de mi desarrollo como persona

A Mi Primo Julio

A pesar de que has estado lejos siempre has sido de gran ayuda para mí, gracias todos esos momentos que pasamos juntos

A Mis Primos

Quienes son un ejemplo para mí para realizar mis metas

A mis sobrinos Xavier y Romina María

Quienes todavía están muy chicos, pero al ver este trabajo sepan que con un poco de esfuerzo y dedicación podrán lograr todos esos proyectos aun por difíciles que sean.

Al Dr. Pasch

A una persona que sabe lo difícil que es la vida, por su preocupación del bien del prójimo siendo una fuente generosa de conocimiento y ayuda.

A Roberto Jacobus

Por la confianza que depositaste en mí para la elaboración de los proyectos Ozomatli FFF y principalmente Opactli.

A Oscar Cervantes y Alejandro González

Quienes me asesoraron y ayudaron en la elaboración del proyecto Épactli

A Mis Profesores

Por todas sus enseñanzas buenas o malas todas de alguna manera han contribuido en mi formación

A Mis Amigos

Quienes han estado conmigo en las buenas y en las malas y me han animado para seguir luchando, y lo más importante por ser amigos

A Los Equipos Ozomatli y Épactli: Jesús, Roberto, Francisco, Paul y Alejandro

Con quienes he compartido la experiencia de haber trabajado en los proyectos, a quienes agradezco su amistad

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1.- ANTECEDENTES DE ROBOTS CAMINADORES.....	4
1.1 INTRODUCCION.....	4
1.1.1 Versatilidad.....	5
1.1.2 La auto adaptabilidad al entorno.....	6
1.2 LA ROBOTICA Y SUS CAMPOS DE ACCION.....	6
1.2.1 La producción.....	7
1.2.2 Exploración e investigación.....	8
1.2.2.1 Teleoperador.....	9
1.2.2.2 Telerobot.....	9
1.2.2.3 Autónomo.....	10
1.2.3 La asistencia individual.....	10
1.3 ROBOTS MOVILES Y SU CLASIFICACION.....	11
1.3.1 Métodos de locomoción.....	11
1.3.1.1 La rueda.....	11
1.3.1.2 Las orugas.....	13
1.3.1.3 Las piernas.....	13
1.3.2 Configuración Mecánica.....	17
1.3.2.1 Movimiento alternativo.....	18

1.3.2.2	Cuerpo articulado	18
1.3.2.3	Rieles	18
1.3.2.4	Híbridos.....	18
1.4	ROBOTS MOVILES, TELEROBOTS Y SUS APLICACIONES.....	19
1.4.1	Aplicaciones agrícolas, forestales y mineras.....	19
1.4.2	Construcción.....	20
1.4.3	Medio marino	20
1.4.4	Plantas nucleares y entornos radioactivos	22
1.4.5	Limpieza de desechos tóxicos.....	23
1.4.6	Incendios	24
1.4.7	Para aplicaciones espaciales.....	24
1.5	BREVE HISTORIA DE LOS ROBOTS CAMINADORES	27
1.5.1	Las ideas de las primeras máquinas caminadoras.....	27
1.5.2	Máquinas controladas mecánicamente	29
1.5.3	Control por computadora.....	30
1.5.4	La nueva generación	32
1.6	EL DECATLON DE MAQUINAS CAMINADORAS	33
1.6.1	Los objetivos del decatlón.....	34
1.6.2	Los beneficios del decatlón.....	35

CAPITULO 2.- DEFINICION DEL PROBLEMA..... 38

2.1	EL OBJETIVO	38
2.1.1	Antecedentes	38
2.2	PUNTUACION Y EVALUACION.....	44

CAPITULO 3.- DESCRIPCION DEL PROTOTIPO.....	46
3.1 SUBSISTEMA DE PRESION	46
3.2 SUBSISTEMA DE LOCOMOCION	51
3.3 SUBSISTEMA DE SOPORTE.....	53
3.4 SUBSISTEMA DE ELEVACION	56
3.5 SUBSISTEMA DE GIRO.....	57
3.6 SUBSISTEMA ELECTRICO.....	58
3.7 SECUENCIA DE CAMINADO.....	60
3.8 SECUENCIA DE GIRO	66
3.9 CONCEPTOS BASICO DE NEUMATICA	66
3.9.1 Cilindros	67
3.9.1.1 Sección.....	68
3.9.1.2 Carrera	68
3.9.1.3 Fuerza	68
3.9.1.4 Consumo	69
3.9.1.5 Velocidad de accionamiento.....	70
3.9.1.6 Amortiguación.....	71
3.9.1.7 La amortiguación neumática	72
3.9.2 Cilindros sin vástago	73
3.10 CONSUMO DEL ROBOT	75

CAPITULO 4.- ANALISIS DEL ROBOT CIPACTLI.....	79
4.1 RENDIMIENTO DE CIPACTLI DURANTE LA COMPETENCIA.....	79
4.1.1 Carrera	79
4.1.2 Girar	80
4.1.3 Grieta	80
4.1.4 Grand Tour.....	80

4.1.5	Retención de objetos.....	81
4.1.6	Librar objetos.....	81
4.1.7	Buscando objetos.....	81
4.1.8	Trayecto de obstáculos.....	82
4.1.9	Trayecto de obstáculos y buscando objeto.....	82
4.1.10	Escalar.....	83
4.2	LOS DEFECTOS Y SUS CAUSAS.....	84
4.3	ANALISIS DE LA CADERA.....	86
4.3.1	Sujeción de los actuadores.....	86
4.4	ANALISIS DE LA PATA.....	93
4.4.1	Fijación actuador lineal - soporte.....	94
4.4.2	Fijación soporte - mecanismo.....	97
4.4.3	Fijación mecanismo - pie.....	101
4.4.4	Fijación pie - pistón.....	101
4.4.5	Fijación pistón - soporte.....	104
4.5	ANALISIS DEL ACTUADOR LINEAL.....	104
4.5.1	Etapa de aceleración.....	105
4.5.2	Etapa de velocidad constante o movimiento rectilíneo uniforme.....	109
4.5.3	Etapa de desaceleración.....	111
4.6	SIMULACION.....	114
4.6.1	Simulación Dinámica.....	114
4.6.2	Simulación en elemento finito (ANSYS).....	116
4.6.2.1	¿Que es el Análisis de Elemento Finito?.....	116
4.6.2.2	Preparación del modelo en ANSYS.....	119
4.6.2.3	Resultados.....	123

CAPITULO 5.- REDISEÑO DE LOS PIES DEL ROBOT	138
5.1 REDISEÑO DE LA CADERA	138
5.1.1 Restricciones de los actuadores lineales (SLIDES)	139
5.2 REDISEÑO DE LA PATA	142
5.2.1 Reubicación del pistón	147
5.2.2 Rediseño del soporte	147
5.2.3 Rediseño de la brida	149
5.2.4 Rediseño del mecanismo	149
5.2.5 Rediseño del Pie	152
5.2.6 Rediseño de la unión soporte - mecanismo - pie	152
5.2.6.1 Acotación para el buje	155
5.2.6.2 Acotación para el eje	157
5.2.7 Rediseño de la unión Pie - Pistón	160
5.2.8 Rediseño de la unión Pistón - Soporte	160
5.3 SIMULACION EN ELEMENTO FINITO	160
5.3.1 Resultados	164
5.4 RECOMENDACIONES	164
5.4.1 Recomendaciones de manufactura	164
5.4.2 Recomendaciones de neumática	165
 CONCLUSIONES	 173
 BIBLIOGRAFIA	 178
 APENDICE A.- PLANOS ENSAMBLES; CIPLACTLI	 182
APENDICE B.- FOTOS DEL PROTOTIPO	184
APENDICE C.- PLANOS DE DISEÑO; PROTOTIPO	187

INTRODUCCION

La rueda está considerada como uno de los más importantes inventos. La locomoción de máquinas simples desde carretillas, carruajes, pasando por máquinas más complicadas como trenes, automóviles hasta vehículos autónomos movidos en el suelo, están basados en ruedas; sin embargo la naturaleza creó piernas para moverse. Las ventajas de la locomoción por medio de piernas comparada con la locomoción por medio de ruedas es principalmente la alta movilidad, el mejor consumo de energía en terreno accidentado, "tolerancia de defectos" de acuerdo al sistema de manejo y la multitud de grados de libertad que pueden ser usados para evadir obstáculos. Estas ventajas abren un amplio rango de áreas de aplicación como lo es la exploración planetaria, el uso en la silvicultura, la agricultura, el uso en caso de una catástrofe de robots de servicio y en medicina para el desarrollo de potentes prótesis y orthesis.

Sin embargo, el uso comercial e industrial de máquinas caminadoras y trepadoras está en el estado de desarrollo de prototipos. Esto nos lleva a preguntarnos: ¿por qué es tan difícil construir robots caminadores y trepadores?. El problema principal cuando se construyen máquinas caminadoras y trepadoras se presenta en el campo de la mecánica del sistema de

manejo, y la construcción de muy ligeras pero robustas máquinas; en el campo de sensorización el problema es el de la interpretación correcta de una gran cantidad de elementos y la incompleta captación del sensor y, por último en el campo de control el hecho del comportamiento de la máquina en cada situación posible no puede ser determinada antes de que ésta suceda aún cuando gran parte de las situaciones puedan preverse simulándola en las computadoras.

Objetivo

En el presente trabajo se habla someramente, a manera de introducción, de lo que es la robótica así como de lo que es un robot, trataremos los diferentes campos de acción en los que pueden desempeñarse. Veremos también los tres principales métodos para la locomoción que son la rueda, la oruga y las piernas, para ello nos auxiliaremos en algunas aplicaciones que estas máquinas son capaces de realizar, tal es el caso del Sojourner, un robot geólogo móvil que exploró algunos metros de la superficie marciana, o Houdini un robot diseñado para entornos radioactivos. También describiremos brevemente la evolución que estas máquinas han tenido.

A continuación se hablará de las metas a las que este trabajo pretende llegar, partiendo del objetivo de este trabajo: "El rediseño del sistema de locomoción de un robot caminador el cual participó en el XI Decatlón de Máquinas Caminadoras; mediante el análisis por observación de las fallas durante la competencia así como el análisis por medio de programas dinámicos y de elemento finito; con la finalidad de que en un futuro pueda volver a competir en un decatlón de máquinas caminadoras". Primeramente se describirán las partes que conforman

el robot, la forma en la que él es capaz de caminar y girar, veremos que el robot tiene una limitación importante, el número de pasos que puede dar.

Se analizará el desempeño que tuvo el robot en el decatlón, partiendo de este punto se determinarán las principales fallas que impidieron que el robot quedara en una mejor posición. Siendo la cadera y las patas las principales piezas, se realizará un trabajo analítico mas profundo sobre ellas. Se utilizarán dos técnicas de simulación por computadora, la primera un análisis dinámico, utilizando el programa Working Model y un programa de elemento finito ANSYS, este software se empleará para hacer un análisis de esfuerzos y/o deformaciones, en la estructura estática y dinámica del robot.

Para finalizar se propondrán las modificaciones o rediseño de las piezas necesarias para el buen funcionamiento del robot, verificando las propuestas utilizando nuevamente el programa de elemento finito ANSYS, para simular los esfuerzos y deformaciones a que está sometida la estructura de la máquina caminadora.

CAPITULO 1.- ANTECEDENTES DE ROBOTS CAMINADORES

1.1 INTRODUCCION.-

Un robot; ¿qué es un robot?; el término robot se usa por primera vez en 1917 por el checo Karel Capek, en su novela titulada *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*. Esta obra pone en juego pequeños seres artificiales antropomorfos, que responden perfectamente a las órdenes de su maestro. Estos seres llevan el nombre de robot, del checo "*robota*", término idéntico al término ruso y que significa *servidumbre o trabajador forzado*, y al traducirlo al inglés esta palabra quedaría como robot.

Por otra parte Isaac Asimov ha contribuido con varias narraciones relativas a robots, y a él se atribuye el acuñamiento del término "robótica". La imagen de un robot que aparece en su obra es el de una máquina bien diseñada y con una seguridad garantizada que actúa de acuerdo con tres principios. Estos principios fueron denominados por Asimov como las Tres Leyes de la Robótica, y se enuncian como sigue:

- Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, permitir que un ser humano sufra daños.

- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflicto con la Primera Ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

Sin embargo estas definiciones caen aún en el campo de la ciencia ficción

¿Cómo podríamos definir a un robot?, obviamente en el campo de la ciencia, la Robotics Industries Association (RIA) a dado un definición:

Un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para desplazar materiales, piezas herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados variables para la ejecución de una diversidad de tareas. [8]

La definición anterior está acotada específicamente para los robots industriales por que existen robots que tienen funciones diferentes a la de manipular objetos, tales como aquéllos dedicados a la investigación o exploración y aunque estrictamente no se apegan a la definición anterior, no por eso dejan de ser robots. [7]

Mas que una definición, conviene enumerar dos propiedades que caracterizan a un robot

1.1.1. Versatilidad.

Es la potencialidad (posibilidad) estructural (mecánica) de ejecutar tareas diversificadas y/o ejecutar una misma tarea de forma diversificada.

Esto impone al robot una estructura mecánica de geometría variable. Todos los robots existentes tienen esa propiedad.

1.1.2. La autoadaptabilidad al entorno.

La palabra autoadaptabilidad significa, que un robot debe por si solo alcanzar su objetivo (la ejecución de un tarea), a pesar de las perturbaciones imprevistas (pero limitadas) del entorno, a lo largo de la ejecución de la tarea.

Esta propiedad, que empieza a aparecer en los robos industriales, suponen que el robot sea “consciente” de su entorno, por lo tanto debe poseer “sentidos” artificiales, tal característica se logra mediante el empleo de una gran diversidad de sensores.

1.2. LA ROBOTICA Y SUS CAMPOS DE APLICACION

La robótica es una ciencia aplicada que ha sido considerada como una combinación de tecnología de las máquinas - herramienta y de la informática.

Puede facilitarse la comprensión considerando tres grandes campos de aplicación: La producción, la exploración e investigación y el de la asistencia individual. En el interior de cada campo, los problemas a resolver tienen cierto parecido. De un campo a otro son bastante diferentes [7].

1.2.1. La Producción

Aquí es donde los industriales han desarrollado el máximo esfuerzo, ya que en la utilización de los robots ven numerosas ventajas: en primer lugar, la disminución de mano de obra. De hecho la asociación de robots entre sí y otras máquinas de producción tales como: centros de máquinado, fresadoras, tornos y otras máquinas aporta ventajas fundamentales con relación a los modos de producción tradicionales:

La automatización casi integral de la producción puede acompañarse, mediante el empleo de robots y máquinas de producción:

- De una mejor calidad del producto acabado.
- De una mayor fiabilidad en el mantenimiento de esta calidad.
- De una mejor adaptación de la calidad producida a la demanda.
- La rapidez de reconfiguración de la unidad de producción cuando se pasa de la fabricación de un producto a la de un producto similar (por ejemplo: fabricar modelos diferentes de coches en la misma cadena) o bien, cuando un incidente inmoviliza una máquina de la unidad de producción.

Estas unidades de producción reconfigurables o adaptivas se califican de flexibles. Podemos hablar de diferentes configuraciones para este tipo de sistemas que son llamados formalmente Sistemas de Manufactura Flexible (Flexible Manufacturing Systems).

- Célula flexible.- Cuando se asocian un pequeño número de robots y máquinas (el robot que alimenta un torno de materia prima y él mismo recoge el producto de la máquina después que ésta a hecho el torneado requerido).
- Taller flexible.- Cuando se asocian varias células flexibles, o bien un número bastante importante de máquinas y robots.

1.2.2. Exploración e investigación.

Aquí se trata de un problema diferente, se requiere que la máquina trabaje en lugares potencialmente peligrosos u hostiles para el hombre, o que la máquina vaya a lugares a los que para el hombre le es imposible por razones de peligrosidad o simplemente por condiciones de tamaño o costo, tal es el caso de:

- Medio submarino
- Incendios
- Radiación de las centrales nucleares.
- Espacio
- Tuberías, etc.

Para poder resolver adecuadamente cualquier situación que se presente tenemos varias formas de enfrentar el medio en el que nos encontremos, esto depende del tipo de control que se quiera utilizar, en la máquina robot, existen tres fundamentales, de teleoperación, telerobot o autónomo.

1.2.2.1. Teleoperador

Consiste en enviar una máquina (un robot que se llama esclavo), al medio hostil y poder controlarla a distancia desde un punto llamado puesto maestro, al mando del cual se encuentra un hombre; el operador. Esta máquina extiende los sentidos y capacidad de manipulación de la persona.

Es pues el hombre quien efectúa todas las tareas de reflexión y de activación de los movimientos de la máquina esclava. Eso requiere el reenvío al puesto maestro de lo que sucede en el universo de la máquina esclava. Para ello hablamos de telepresencia, que significa que el operador recibe suficiente información acerca de el teleoperador y de la tarea mostrada en una forma natural, haciendo que el operador se sienta presente en el sitio remoto.

Un teleoperador puede incluir brazos artificiales y manos u otros dispositivos para aplicar fuerzas y así poder realizar el trabajo en el medio ambiente que se encuentre la máquina. El operador puede “sentir” y tener en cuenta la localización y orientación del teleoperador en su brazo y mano. Se habla entonces de telepercepción.

Sus aplicaciones son mínimas, históricamente han sido usadas en reactores nucleares, utilizando manipuladores maestro/esclavo.

1.2.2.2. Telerobot

Es una forma avanzada de un teleoperador, la forma en como un operador supervisa a través de una computadora como intermediaria. Esto es, el operador intermitentemente comunica a la computadora información acerca de la meta, restricciones, planes, contingencias, suposiciones, sugerencias, y órdenes relativas a la tarea remota, obteniendo información acerca

de logros, dificultades y todo lo que concierne y la información de los sensores. El telerobot subordinado ejecuta la tarea con la información recibida del operador más sus sentidos artificiales e inteligencia.

Sus aplicaciones son substanciales. Son más comunes en ambiente hostiles

1.2.2.3. Autónomo:

Sistema robótico que realiza las mismas funciones que el teleoperador, excepto que el control humano es omitido y prácticamente no existe. Todas las acciones, instrucciones y decisiones son responsabilidad de la computadora.

Sus aplicaciones son numerosas. Idea para realizar trabajos repetitivos y tediosos durante situaciones peligrosas.

1.2.3. La asistencia individual

En este campo se permite mejorar las condiciones de vida de los paralíticos (parapléjicos y tetrapléjicos) o de los amputados.

La robótica cubre entonces el campo de las:

- **Prótesis.**- Manos y piernas artificiales
- **Ortesis.**- Son estructuras rígidas motorizadas que se ponen alrededor del miembro paralizado y lo arrastran en sus movimientos.

- Teletesis: Están destinadas a los paralíticos de los cuatro miembros (tetrapléjicos) y son robots que el afectado controla a distancia (mediante teleoperación), a partir de las zonas de motricidad voluntaria que haya podido conservar (por ejemplo: la lengua, la boca, los músculos de los ojos, etc.).

1.3. ROBOTS MOVILES Y SU CLASIFICACION

Los robots móviles pueden, en general, ser clasificados desde diversos puntos de vista: Método de Locomoción o Configuración Mecánica esta clasificación se basa en lo que describe Briones y McCloy.

1.3.1. Métodos de locomoción

La locomoción es lo que permite que el robot pueda moverse, existen tres tipos de métodos de locomoción y son:

1.3.1.1. La rueda

La rueda está bien establecida como método de soporte para los vehículos. Disipa poca energía, particularmente en el caso de ferrovías en donde la rueda y el riel son fuertes y lisos. Para uso en los caminos, en donde es muy probable que las superficies sean disparejas, es necesario perder un poco de energía a favor de una mayor comodidad mediante el empleo de una llanta neumática flexible.

En los sistemas robot, en los que las rutas están programadas con anterioridad y los pisos son parejos, es muy usual el uso de llantas duras. Con sistemas de control de dirección en todas las ruedas se provee un máximo de maniobrabilidad, permitiendo al robot moverse en ángulos rectos con respecto a una ruta dada y girar sobre su centro de gravedad. Esto es particularmente útil para el desplazamiento en corredores y otras áreas restringidas.

Al programar un vehículo robot se utiliza un trasductor, generalmente un codificador óptico o encoder, para contar el número de rotaciones de la rueda. Por supuesto, cuando no existen desplazamientos, lo anterior suministra una medida de la posición del vehículo. Sin embargo, si ocurre un deslizamiento, se pierde la correspondencia entre la rotación de la rueda y la posición del vehículo y resulta necesario incluir alguna forma de acción correctiva. Esto puede lograrse usando un giroscopo para detectar la dirección del movimiento del vehículo. El giróscopo mide la dirección absoluta y esta información se almacena en la memoria del robot. Cuando el robot se desplaza en forma automática, la información medida por el giróscopo se compara con la información almacenada y se toman acciones correctivas para corregir los errores en la dirección. Los errores correspondientes a la distancia cubierta pueden corregirse incorporando al vehículo sensores ópticos que una vez que "ven placas reflectoras, no las pierden de vista" hasta llegar a la estación de destino.

Los robots con ruedas son satisfactorios para aplicaciones en Sistemas de Manufactura Flexible, donde el terreno es plano y está bien ordenado, pero resultan inútiles en ambientes en donde se requiere subir escalones y escaleras, o rodear obstáculos de un tamaño considerable. En estos casos es necesario usar sistemas en los cuales el punto de soporte cambia en forma

intermitente en lugar de hacerlo en forma continua; los sistemas con patas operan de esta forma.

Una forma para poder subir escalones es por medio de la rueda sin rin de ocho rayos, donde el radio de la rueda sea mayor al del escalón, de lo contrario difícilmente se podrá subir el escalón. Otra forma sería el de utilizar la rueda veneciana.

1.3.1.2. Las orugas

Los vehículos con orugas, como los tanques, también son capaces de subir escalones, pero pueden impactar el suelo con una fuerza considerable cuando el cuerpo gira después de superar un obstáculo.

Además de poder escalar obstáculos, el vehículo con orugas puede desplazarse sobre terrenos suaves que resultarían impasables para un vehículo común. Esto lo logra distribuyendo la carga sobre un área grande.

Al igual que la rueda la oruga tiene la desventaja de reconocer su posición, ya que ésta puede patinar y de esta forma perder el conteo de revoluciones que ha dado.

1.3.1.3. Las piernas

Las máquinas caminantes o andantes ofrecen varias ventajas sobre los vehículos comunes con ruedas. Mientras que las ruedas deben restringirse a superficies uniformes comparativamente planas, los vehículos con patas pueden atravesar terrenos dispares con un mínimo de balanceos y sacudidas. Son capaces de maniobrar en espacios confinados dentro de edificios y subir escaleras y transportar cargas pesadas sobre terrenos suaves.

Es por ello que existe gran interés en el diseño de máquinas caminantes para ayudar a personas incapacitadas y para destinarlas a usos industriales, agrícolas y militares. Su complejidad mecánica y sus problemas de control han restringido hasta ahora los desarrollos al laboratorio pero, a pesar de ello, son muchas la ventajas que pueden obtenerse de ellas.

Con el fin de ilustrar la complejidad de las máquinas caminantes; por llamarlas así; comencemos por examinar las posibles variaciones dentro de una secuencia de pisadas, incluyendo el movimiento simultáneo de dos o más patas.

Para una máquina de una sola pata existe claramente una sola secuencia: el salto. Para un bípedo, como es el caso del ser humano, existen dos secuencias posibles: el salto sobre dos piernas (carrera de sacos) y la caminata o carrera, en la cual las piernas funcionan en forma secuencial.

Si las piernas se numeran como 1 y 2, podemos describir estas secuencias como (1 - 2) y (1,2) respectivamente, en donde un guión entre los números indica un funcionamiento simultáneo y una coma indica un funcionamiento secuencial.

Usando esta notación pueden listarse seis secuencias posibles de funcionamiento de las patas en el caso de un tripedo:

1-2-3 - salto con tres patas

1,2-3

2,1-3 - dos patas que se mueven como una

3,1-2

1,2,3 - una pata por vez: debe normarse que (3,1,2) y (2,3,1) son idénticos a
 2,1,3 (1,2,3) ya que a lo largo de una serie de ciclos el orden de funciona-
 miento de las patas es el mismo.

Para los cuadrúpedos existen 26 secuencias posibles para el funcionamiento de las patas. La Primera (1-2-3-4) es el salto sobre cuatro patas. (1,2-3-4) funciona como bipedo, (1,2,3-4) funciona como trípodo y finalmente el cuadrúpedo (1,2,3,4).

Hasta ahora hemos hablado de secuencias de pasos pero ¿realmente una máquina podría caminar de esta forma?. Para ello tenemos que definir lo que es el patrón de soporte. Definimos intuitivamente al patrón de soporte como “El polígono formado por las proyecciones en un plano horizontal de todos los puntos que están en contacto con el suelo en un momento determinado”. De manera más rigurosa, el patrón de soporte se define como “El grupo de puntos bidimensionales pertenecientes a un plano horizontal, pertenecientes a la coraza convexa de la proyección vertical de todos los puntos de las patas cuando dichas patas se encuentran en contacto con el suelo” [23]

Un paso estáticamente estable es aquél en el cual el centro de gravedad está siempre contenido dentro del área encerrada por las patas de soporte. Para lograr una estabilidad estática es necesario por lo tanto que cuando menos tres patas estén siempre en contacto con el piso. Esto a su vez requiere que una máquina andante estáticamente estable tenga al menos cuatro patas, es decir, tres patas que le sirvan de apoyo mientras la cuarta se levanta y se hace avanzar.

De las 26 secuencias para el funcionamiento de las patas en un cuadrúpedo solamente seis satisfacen el requerimiento de estabilidad, en donde solamente se mueve una pata por vez.

Un paso dinámicamente estable es aquél en que la proyección vertical del centro de gravedad queda fuera del patrón de soporte en algún momento del paso, por lo tanto deben mover las patas o balancear el peso continuamente para evitar caer [23]. Los animales y las máquinas de una, dos (ser humano) y tres patas no pueden ser estáticamente estables. La máquina de una sola pata, o bastón saltarín, debe mantenerse en constante movimiento ya que de lo contrario, se cae. Básicamente la máquina logra una estabilidad dinámica al saltar en la misma dirección en que se inclina. Así, aún cuando es estáticamente inestable, puede ser al mismo tiempo dinámicamente estable.

La marcha humana es una actividad única durante la cual el cuerpo, paso a paso, vacila al borde de una catástrofe. El movimiento rítmico hacia adelante moviendo primero una pierna y después la otra, evita que caigamos de golpe [13]. Al igual que el bastón saltarín, aun cuando somos estáticamente inestables, no dejamos de ser dinámicamente estables. Varios investigadores han tratado de reproducir esta estabilidad dinámica en máquinas andantes bípedas, como lo es el caso del robot honda fig. 1.1, pero su limitado éxito ha requerido recurrir a complejas fórmulas matemáticas y poderosas computadoras. [21]

Es interesante destacar, sin embargo, el sencillo dispositivo mecánico fig. 1.2 que se emplea en los juguetes, que usa pies de gran tamaño para asegurar una estabilidad estática en

todo momento. El diseño asegura que las extensiones laterales de cada pie eviten chocar unas con otras cuando se hace avanzar uno de los pies.

1.3.2. Configuración Mecánica

De acuerdo con su configuración mecánica, los robots móviles pueden clasificarse en robots de:

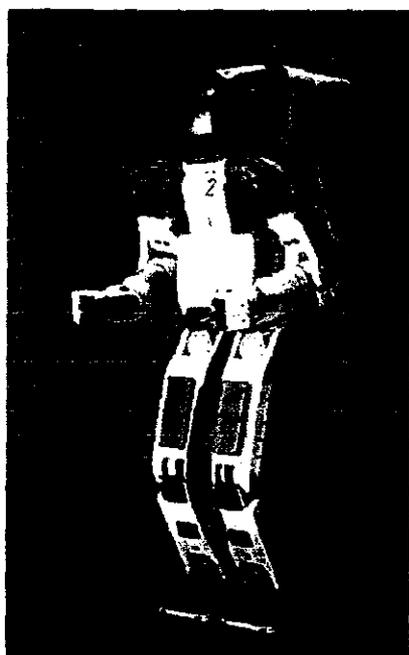


Figura 1.1 Robot Honda

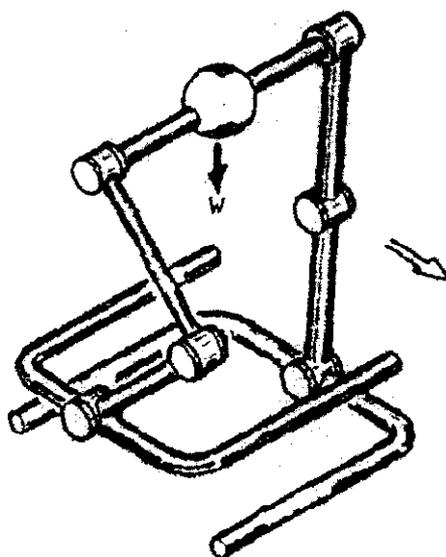


Figura 1.2 Mecanismo andante.

1.3.2.1 Movimiento alternativo

Un robot de movimiento alternativo o peristáltico, es aquél en que el movimiento de translación se consigue fijando y desplazando alternativamente distintas partes del robot de forma coordinada

1.3.2.2 Cuerpo articulado

En la unidad móvil de cuerpo articulado, se unen varias articulaciones en serie para crear un movimiento de traslación. Este concepto, se ha utilizado en muy pocos prototipos, sin embargo, es interesante para los robots móviles.

1.3.2.3 Rieles

Los robots sobre rieles, se construyen con propósitos de inspección en áreas donde, para otro tipo de vehículos, es muy difícil maniobrar adecuadamente, se ha presentado también un robot de riel dotado de manipulador, consisten básicamente de un riel, montado sobre una trayectoria definida, a lo largo del cual se desplaza un robot dotado de ruedas y con accionamiento propio.

1.3.2.4 Híbridos

Debido a la gran variedad de entornos en los que se utilizan los robots móviles, y como una forma de beneficiarse de las cualidades de cada tipo de configuración, con frecuencia se recurre a robots de configuración híbrida. Por ejemplo, se han construido prototipos de robots articulados que disponen como medio de propulsión de orugas o ruedas, obteniendo un

vehículo con gran capacidad de adaptación al terreno (gracias a su cuerpo articulado) y con un medio de propulsión (orugas o ruedas) eficiente, económico y fácil de controlar.

1.4 ROBOTS MOVILES, TELEROBOTS Y SUS APLICACIONES.

Los robots móviles son de gran utilidad al ser humano, de hecho existen muchas aplicaciones en donde se pueden llegar a utilizar, algunas de éstas son:

1.4.1. Aplicaciones agrícolas, forestales y mineras

La aplicación en la industria agrícola está empezando, y una de la aplicaciones que se tiene es el manejo de uno o más tractores, por medio de control remoto, haciendo surcos, plantando o cosechando.

En la industria forestal nos encontramos principalmente la tala de los árboles, donde un robot trepador le quita las ramas al árbol antes de derribarlo

La minas es un medio bastante peligroso por lo que hoy en día se utilizan estos vehículos dotados de un cortador, y provistos de cámaras y micrófonos pueden hacer el operador pueda ver el ángulo de corte de la herramienta así como de los ruidos que ésta emite al momento de cortar.

1.4.2 Construcción

En la construcción nos encontramos diferentes necesidades como lo son: El manejo de materiales, ensamble de componentes de edificios, inspección y mantenimiento de puentes, limpieza de ventanas en edificios.

1.4.3 Medio marino

La principal aplicación que podemos encontrar es en las plantas petroleras que se encuentran en medio del mar, revisando tuberías o incluso en la construcción de éstas ya sea soldando, revisando soldaduras, y otras actividades. Existen muchas formas en cómo operar uno de estos robots, dependiendo de la posición del operador, del tipo de comunicación que se ocupe ya sea por medio de cable, radio o incluso el uso de un depósito para el robot. (Fig. 1.4)

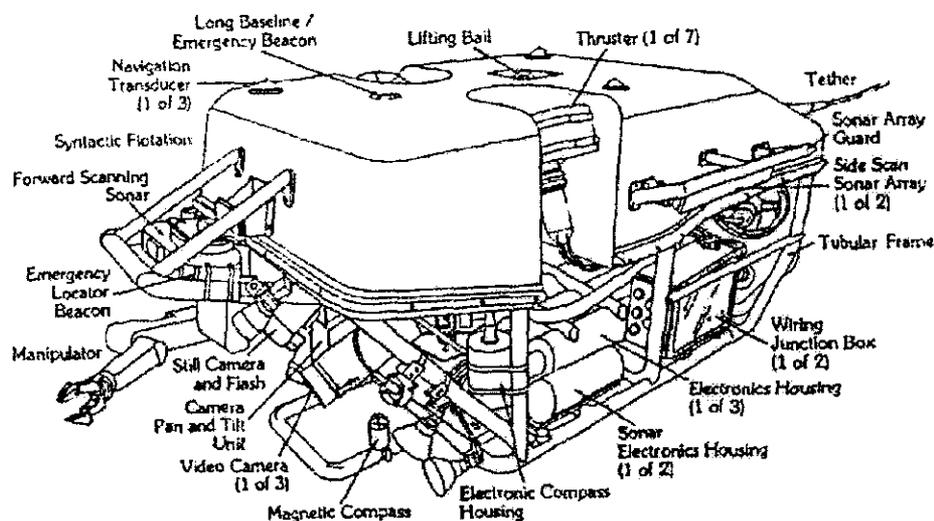


Figura 1.3 Jason, un robot para la inspección submarina.

LOCALIZACIÓN DEL OPERADOR, COMUNICACIÓN DESDE EL BARCO

Operador bajo el mar en un ambiente protegido; Barco de soporte en espera	Operador en la superficie; Comunicación por cable desde el barco	Operador en la superficie; comunicación por radio desde el barco	Operador en la superficie; Sistema autónomo
---	--	--	--

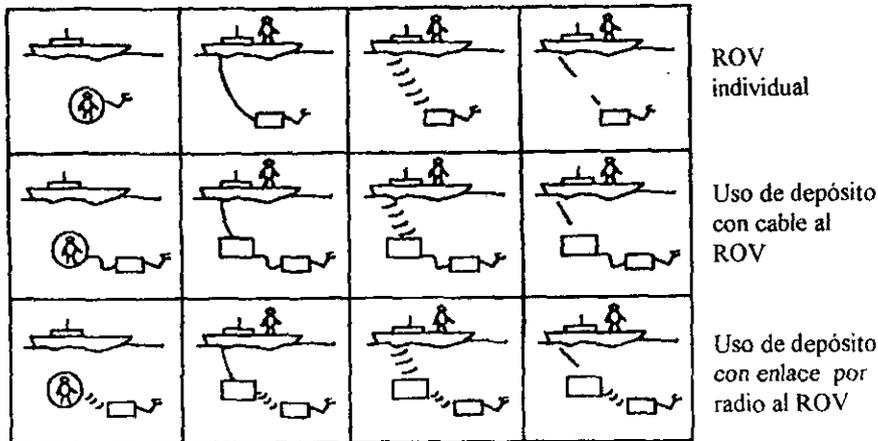


Figura 1.4 Matriz de configuración de comunicación para vehículos operados a control remoto (ROVs) bajo el mar

Uno de los robots más famosos dentro de esta aplicación es Jason (Fig. 1.3), que fue el encargado de tomar las imágenes del trasatlántico más famoso de la historia, el Titanic. Para hacer esto posible se necesitó de un sumergible (Argo) con un cable cuya extensión fue de 3,500 m aproximadamente, el control de ésta es efectuado desde el sumergible por medio de un cable.

1.4.4 Plantas nucleares y entornos radiactivos

Otra área en donde tuvieron un gran impacto es en la industria nuclear. Principalmente la salud y seguridad del personal que labora en ellas, es decir, deben canalizar recursos a la reducción de personal expuesto y en contacto con materiales radioactivos. Aquí podemos encontrar robots que son usados para la detección de radiación e inspección visual, descontaminación, manejo de materiales radiactivos y para casos de emergencia.

En caso de un accidente como el que ocurrió en Three Mile Island o en Chernobyl, el uso de Telerobots, fue de gran ayuda para la limpieza o incluso para poder cerrar válvulas, hacer o no hacer trabajar otros dispositivos, etc. (Fig. 1.5)

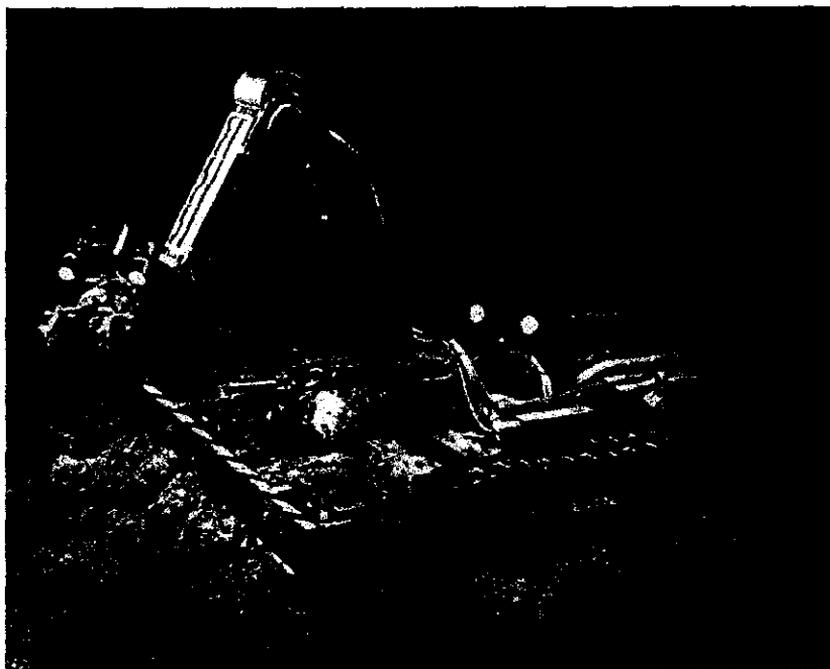


Figura 1.5 Houdini, Un robot para limpieza de desechos

1.4.5 Limpieza de desechos tóxicos

Han pasado 12 años desde que una explosión de vapor reventó la tapa del reactor de la unidad 4 en Chernobyl. Encima de las ruinas del reactor está una apresurada construcción de un sarcófago de concreto y acero, que mantiene escondida del mundo toneladas de escombros y polvo, piscinas de radiación, así como la verdadera extensión de daño hecho el 26 de abril, 1986. [16] y [17]

Pioneer será el más resistente y más avanzado de los 20 a 30 robots que han visitado Chernobyl. Cargará un paquete de herramientas, sensores y cámaras estéreo para tomar muestras, mediciones de las condiciones del entorno, y crear un modelo de computadora tridimensional para ayudar a los Ucranianos a un plan de limpieza. La meta es tener la zona lo bastante limpia para de esta manera otros robots puedan entrar para reforzar el tan deteriorado sarcófago. (Fig. 1.6)

El robot está basado en otra máquina de la Redzone Robotics, Houdini, ahora en trabajo en Laboratorio Nacional de Oak Ridge en Tennessee, donde está removiendo líquidos radioactivos y sedimentos de tanques subterráneos de almacenamiento de la época de la Segunda Guerra Mundial.



Figura 1.6 Pioneer.

1.4.6 Incendios

La construcción de un robot bombero es un reto para la ingeniería. El robot deberá de entrar a edificios en llamas a altas temperaturas, abrir puertas y subir escaleras, además de suministrar la suficiente información de regreso al operador acerca de personas o de propiedad valiosa.

1.4.7 Para aplicaciones espaciales

La principal aplicación que nos podemos encontrar aquí es el desarrollo de robots capaces de poder explorar otros planetas como fue el caso del robot Sojourner fig. 1.7 que en julio de 1997 recorrió algunos metros del planeta rojo; Marte. No por que la luna ya haya sido

visita esta este excluida de algún programa de exploración; de hecho existe uno, en que consiste en enviar un robot móvil, fig. 1.8 el cual será controlado desde la tierra como fue el caso de la misión a Marte. [22]



Figura 1.7 Sojourner

Es muy fácil decir que un robot va a ser operado desde la tierra, ya que todos los días utilizamos ondas de radio, ya sea para prender la televisión o hacer una llamada de larga distancia o, es mas, para poder ver algún evento especial en vivo. El único problema que existe en operar un robot en la tierra y la luna o incluso Marte es la distancia que los separa. Para la misión de Marte, existía un tiempo de demora de entre 10 y 15 minutos dependiendo de la posición de los planetas. Si el operador le daba una instrucción de avanzar, el robot avanzaría

¿pero que tanto?, para evitar que el robot fuera a chocar el debía de ser capaz de poder tomar algunas decisiones por sí solo. [11] y [14]

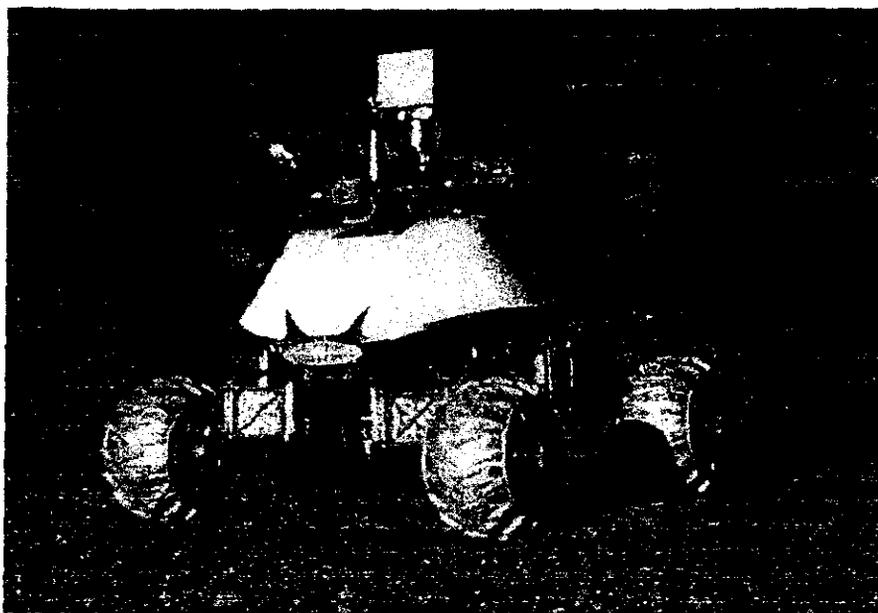


Figura 1.8 Nomad el Vagabundo del Desierto.

Las aplicaciones espaciales no son solo robots que visitan otros planetas o la luna, una aplicación de un telerobot en el espacio es la del brazo de 20m de largo que trae consigo el transbordador espacial, aunque no es un robot móvil no esta por demás hacer mención de el.

Ya que hicimos mención del transbordador existe un robot autónomo que revisa los 17,000 cerámicos con los que cuenta el transbordador para su reingreso a la tierra, es un tarea dura para los hombre que estén a cargo de la revisión de este importante vehículo, el robot empieza a trabajar desde el momento en que aterriza el transbordador hasta antes del despegue.

[20]

1.5 BREVE HISTORIA DE LOS ROBOTS CAMINADORES

La investigación en robots caminadores y trepadores empezó en el siglo IV, cuando los chinos trataron de construir un cuervo mecánico. Desde entonces varias máquinas desde microrobots hasta los robots más grandes, de todas las formas han sido desarrollados. Gracias a la sensorización y especialmente a la computación en los 90's, puede ser el periodo que permitió una transición del prototipos a producto industrial. A continuación una breve descripción de los desarrollos más importantes. [5]

1.5.1 Las ideas de las primeras máquinas caminadoras.

Los primeros pasos para la construcción de poderosas máquinas caminadoras empezó en el siglo pasado donde varios investigadores diseñaron máquinas conducidas por medio de piernas. A este periodo pertenece el llamado "hombre de vapor", que es una máquina que trabaja por medio de vapor como fuente de energía. Podemos mencionar otras máquinas como el "caballo mecánico" fig. 1.9, una máquina de cuatro piernas de Freiherrn v. Bechtolsheim fig. 1.10, también se le atribuye el desarrollo de un "tanque de cuatro piernas" o un tractor con dos piernas y dos ruedas.

Estas máquinas tienen la desventaja de no poder adaptar el movimiento de las piernas al piso.

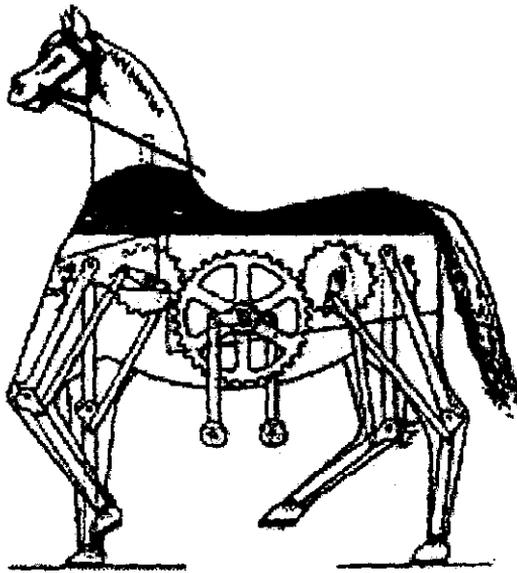


Figura 1.9 El caballo mecánico

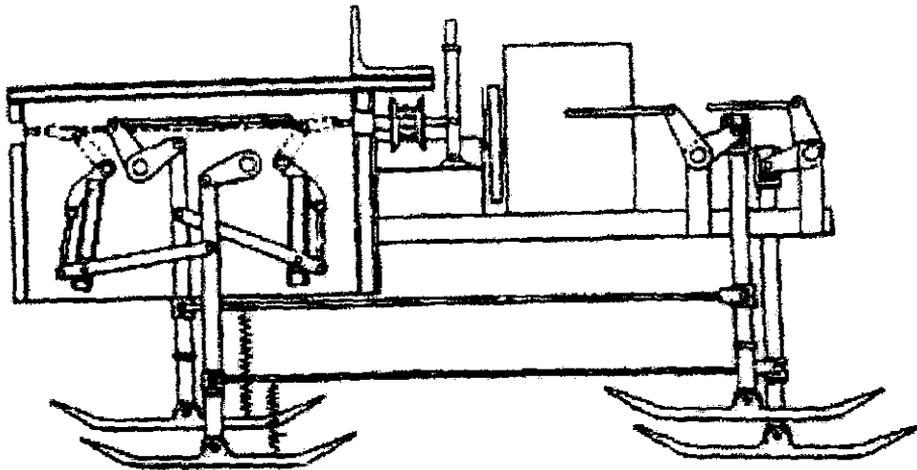


Figura 1.10 La máquina con patas

1.5.2 Máquinas controladas mecánicamente

En el desarrollo de la siguiente generación aspectos como el control fueron tomados en cuenta. El concepto de control fue basado en un concepto de Maestro - Esclavo, en donde un operador realizaba los movimientos con sus brazos y piernas para poder hacer mover la máquina. El principal problema de este tipo de control fue, que era muy cansado para el operador controlar la máquina por algún tiempo. Tal es el caso de la máquina cuadrúpeda de la General Electric de R. Mosher. Fig. 1.11 Otra máquina de este tipo fue "the iron mule train". También fue desarrollada un Exoesqueleto de Vukobratovic, que es una prótesis caminante para gente con problemas de parálisis.



Figura 1.11 Máquina Cuadrúpeda

1.5.3 Control por computadora

Dado que el control manual de una máquina caminadora no era práctico, en los 60's fue desarrollada la primera máquina controlada por computadora. Una de las más sobresalientes fue "Phoney Pony". La más impresionante de todas fue el vehículo de suspensión adaptiva (ASV), Odex y Ambler. En la tabla 1.1 se menciona algunas máquinas que se desarrollaron en las décadas de los setentas y ochentas.

También en Rusia y en otros países del este de Europa fueron desarrolladas máquinas caminadoras. Como ejemplo podemos mencionar a la máquina bípeda Chebychev (San Petersburgo, 1964) Riksha (Moscú, 1972-76).

Estas máquinas tienen la desventaja de que ellas sólo pueden caminar en forma estáticamente estable. Uno de los primeros que examinó máquinas que solo podían caminar en forma dinámicamente estable fue Raibert. El desarrolló en los 80's su máquina "hopping". El problema de control dinámico normalmente aparece cuando robots bípedos se están moviendo. La máquina más importante de esta clase fue desarrollada en Japón, el WABOT I y WL12RIII de Kato. En la tabla 1.2 se mencionan alguna máquinas bípedas que tuvieron su apogeo en los setenta y ochenta.

Nombre	Año	Grupo de investigación	Líder
Ambler	1988-92	Carnegie Mellon University, E.E.U.U.	Krotkov
Aquarobot	1989	Port and Harbour Ministry of Transport, Japón	Akizono

ASV	1985-89	Ohio State University, E.E.U.U.	Waldron
CMU-Hexapod	1980-83	Carnegie Mellon University, E.E.U.U.	Sutherland
DUWE	1982	Ohio State University, E.E.U.U.	Brown
Gengis	1988	MIT, E.E.U.U.	Brooks
MASCHA	1974-88	University Moskau, Rusia	Okhotsimsky
Melwalk	1985	Tusukuba Science City, Japón	Kaneko
Odex	1983-91	Odetics Savannah River Lab, E.E.U.U.	Byrd
OSU-Hexapod	1977	Ohio State University, E.E.U.U.	McGhee

Tabla 1.1 Robots Caminadores de los años 70's y 80's

1.5.4. La nueva generación.-

Los robots caminadores y trepadores en la década de los 90's son definidos por la optimización de sistemas existentes, mejores sistemas de manejo, mejor sensorización y mejores y más poderosas computadoras.

Con esta nueva tecnología parece que es posible desarrollar máquinas para diferentes aplicaciones como silvicultura, exploración planetaria o la exploración del fondo del mar. Varias máquinas trepadoras son desarrolladas para la inspección de tanques, edificios o muros de diferente material.

Nombre	Año	Grupo de investigación	Lider
Asshy3 - 15	1973-84	Shibaura Institute of Technology, Japón	Sato
Ayumi	1984	Nagoya University, Japón	Ito
Biped Runig Machine	1985	MIT, E.E.U.U.	Raibert
Biper 1-5	1979-82	Shimoya University of Tokyo, Japón	Miura
BLR-G2	1987-88	Gifu University, Japón	Furusho
Bipman2	1980	Waseda University, Japón	Kato

Curbi	1986-90	Clemson University, E.E.U.U.	Zheng
HIT BPL Q12	1989	Harbin Institute of Technology, China	Yi
KDW Biped	1987	Changsha Institute of Technology, China	Zhang
Strider2	1983	Kumamoto University, Japón	Kawaji
Wabot1-2	1973-84	Waseda University, Japón	Kato
WL1-12IIRV	1969-84	Waseda University, Japón	Kato

Tabla 1.2 Robots bípedos de los años 70's y 80's

No sólo mejoras en el rango de aplicaciones fueron hechas en los últimos años. También varios conceptos de control han sido implementados, basados en la observación de locomoción con piernas en la naturaleza.

1.6 EL DECATLON DE MAQUINAS CAMINADORAS.

El decatón de máquinas caminadoras es un concurso que es organizado por la SAE (Society of Automotive Engineers) que se realiza cada año en alguna Universidad de Estados

Unidos, pero con la participación de Universidades Canadienses y Mexicanas, las Sedes han estado en los últimos años en Canadá (1996) y en México (1997), lugar donde se tuvo el XI Decatlón de Máquinas Caminadoras. El decatlón como su nombre lo indica consta de diez eventos que varían en dificultad y que el robot debe superar.

1.6.1 Los objetivos del decatlón son

- Motivar a estudiantes de cualquier disciplina de ingeniería a participar en el diseño, fabricación y prueba de los robots caminadores. Para familiarizarse con los avances tecnológicos de los componentes y sistemas necesarios para la fabricación y desarrollo de robots (incluyendo telerobots) y otras máquinas inteligentes complejas.
- Impulsar e informar de la ingeniería en general usada en la robótica y participar individual o en grupo representando a sus universidades.
- Incrementar la participación de la mayor cantidad de universidades posibles. No se pretende limitar el acceso a la competencia a escuelas con pocos recursos y/o con experiencia.
- Las escuelas deben competir con su propio esfuerzo y experiencia, sus recursos y sus metas
- Actualmente los problemas deben resolverse con soluciones creativas.
- Para incrementar la cooperación entre las diferentes disciplinas y llevar a cabo un trabajo en grupo donde la comunicación y el intercambio de información son esenciales para alcanzar las metas fijadas en un proyecto determinado.

- Para aumentar en los estudiantes el interés por los diferentes niveles de avances tecnológicos.
- Para dar al estudiante una idea de los tipos de tecnología y su aplicación en el futuro.

1.6.2 Los beneficios del decatlón del robot caminador son:

- Conocer o identificar que se requiere de la participación de muchas áreas de tecnología y disciplinas para alcanzar el éxito en el diseño, fabricación , prueba de los robots.
- Conocer que no todos los problemas que se presentan en la robótica tienen solución o se pueden resolver.
- Crearse un reto para desarrollar nuevas ideas y formas de aplicar la tecnología actual.
- Aprender a trabajar en equipo para proponer, discutir y fijar metas comunes, utilizando la especialización o especialidad individuales de diferentes áreas.
- Involucrarse en un proyecto a largo plazo con organización, planes de trabajo, metas con diferentes actividades interdisciplinarias.
- Adquirir experiencia en el desarrollo de proyectos que serán benéficos para el desarrollo profesional en la industria.
- Al graduarse el estudiante podrá aplicar lo aprendido en el desarrollo del robot.

La finalidad de establecer las reglas es de dar a los participantes la oportunidad de explorar evaluar y desarrollar un diseño eficiente que cumpla o alcance las metas fijadas, esto le da la oportunidad y experiencia a los participantes de aplicar soluciones creativas. Creando un

potencial en los participantes para aportar ideas haciendo más competitivo el decatlón en los años siguientes.

En la tabla 1.3 se muestran los principales datos desde su comienzo, así como del lugar en que han quedado los robot de la Universidad Panamericana.

Competencia	Año	Sede	Ganador
I	1987	Colorado State University	University of Central Florida
II	1988	University of Maryland	Colorado State University
III	1989	Texas Tech University	Colorado State University
IV	1990	University of Central Florida	University of Delaware
V	1991	University of Maryland	Colorado State University
VI	1992	North Carolina State University	Colorado State University
VII	1993	Texas Tech University	Colorado State University
VIII	1994	Carnegie Mellon University	University of Toronto
IX	1995	Colorado State University	Colorado State University
X	1996	Ecole de Technologie Superieure, Canadá	Colorado State University
XI	1997	Universidad Panamericana, México	Colorado State University

Tabla 1.3 Resultados de los Decatlones anteriores.

La Universidad Panamericana por su parte ha participado en dos ocasiones la primera en Canadá, en el Ecole de Technologie Superieure; quedando en segundo lugar con el robot Ozomatli; la segunda vez tuvo lugar en la misma universidad, participando con dos robots Ozomatli III que quedó en tercer lugar y Cipactli que quedó en séptimo.

CAPITULO 2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. EL OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es el rediseño del sistema de locomoción de un robot caminador, el cual participó en el XI Decatlón de Máquinas Caminadoras; mediante el análisis por observación de las fallas durante la competencia así como el análisis por medio de programas dinámicos y de elemento finito; con la finalidad de que en un futuro pueda volver a competir en un decatlón de máquinas caminadoras.

2.1.1 Antecedentes.

Este robot de nombre Cipactli participó en 9 de las 10 pruebas, aprobando sólo tres de ellas y quedando en séptimo lugar. Esto se debió a que en las pruebas de presentaron problemas con las piernas, ya que éstas golpeaban entre sí (en el capítulo 3 se describirá la forma de caminar del robot), además de que se tenían problemas con las mangueras ya que éstas se estrangulaban impidiendo que pudiera pasar aire.

Para poder alcanzar el objetivo deseado es necesario la realización de algunas actividades particulares como son:

- Encontrar las fallas en el robot que impidieron que el robot completara más pruebas.
- Hacer un análisis de estas fallas
- Proponer nuevas soluciones y verificar que cumplan con éxito nuestros objetivos específicos

Nuestros objetivos específicos van a ser aquéllos que el Decatlón nos pide como son:

1. *Máquina Caminadora.*- Todas las configuraciones del robot deben estar definidas en un manual.
2. *Movimiento.*- Debe darse a través de articulaciones mecánicas (piernas). Estas piernas deben tener uno o más movimientos combinados independiente o compaginada a las otras, esto excluye a todos los robots de llantas. Las piernas deben de ser de pivote, pistón deslizante, etc., pero no pueden rodar
3. *Tamaño.*- El robot debe ser capaz de caminar a través de un metro cuadrado en área abierta y sección cruzada.
4. *Seguridad.*- El robot debe ser juzgado y considerado lo suficientemente seguro para participar en los eventos de la competencia
5. *Fuerza.*- El robot debe ser capaz de moverse por sí solo y no requerir de ninguna fuerza externa o separada del robot. No debe utilizar combustión interna dado que es tóxico en lugares cerrados.

Algunos de los objetivos específicos los hemos establecido nosotros.

6. Sencillez.- Ya que las máquinas estáticamente estables son más comunes.
7. Automatización.- Las máquinas estáticamente estables son más fáciles de automatizar que una dinámicamente estable
8. Manejo.- Basado en la competencia anterior, la máquina tiene que ser fácil de controlar.
9. Rapidez.- Actuadores neumáticos serán usados, ya que se tiene experiencia de trabajar con ellos además de que son más rápidos que actuadores hidráulicas o motores.
10. Rendimiento.- Deberá poder pasar todas las pruebas.
11. Fácil de armar.- La manufactura deberá ser lo más sencilla para no entrar en detalles.

Todas las pruebas se realizarán en una pista donde cada cuadro tiene 3 x 3 m y las líneas no son más anchas que 5 cm como se muestra en la figura 2.1

Las pruebas a realizar serán las siguientes:

- Carrera (factor de realización = 1.25) Caminar por el piso del cuadro del inicio al cuadro final en línea recta pasando por los cuadros 2, 5 y 8.

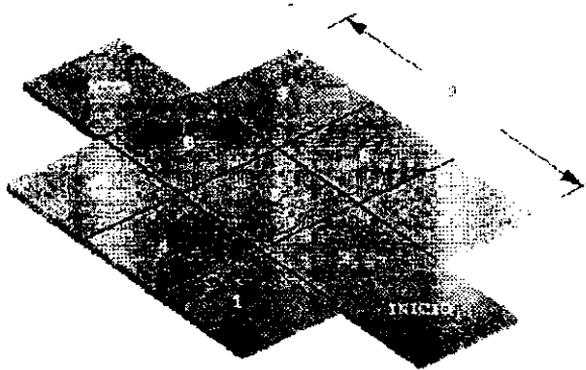


Figura 2.1 Pista de Competencias

- Girar (factor de realización = 1.5) Caminar desde el cuadro de salida a una torre que se encontrara en el cuadro 5, girar alrededor de el y regresar al cuadro de salida. No está permitido tocar la torre.
- Grieta (factor de realización = 2.0) Caminar desde el cuadro de salida, se tendrá que cruzar una grieta simulada, la cual cruza del cuadro 1 al 9, la grieta mide 30 cm de ancho, no está permitido tocar la grieta.
- Grand Tour (factor de realización = 2.0) Caminar desde el cuadro de salida y atravesar sucesivamente los cuadros 2, 1, 4, 7, 8, 9, 6, 3, 2 y regresar al cuadro de salida en donde el robot se detendrá. No se permite entrar al cuadro 5.
- Retención de objetos (factor de conversión = 3.0) Caminar desde el cuadro de salida y recoger una bola de billar, de ahí se regresara al cuadro de salida con el objeto. La

bola de billar se colocará en alguna posición arbitraria al cuadro 5. El equipo podrá elegir el color de la bola de billar del set que se desee para así facilitar a los robots autónomos detectarlos y tomarlos.

- Librar Objetos (factor de realización = 1.5) Caminar desde el cuadro de salida hasta el cuadro final esquivando los obstáculos que se encuentran dentro de la pista, los obstáculos son de 10 cm de ancho y de 50 cm de alto. Los robots podrán maniobrar alrededor o pasar por arriba los obstáculos.
- Buscando objetos (factor de realización = 3.0) Caminar desde el cuadro de salida hacia un cono de tráfico, el cual tendrá que ser tocado por el robot, de ahí regresará nuevamente al cuadro de salida, el cono se colocará de forma arbitraria dentro del cuadro 4 o 6 antes de cada evento o participación. Se podrán colocar almenaras. El robot se tendrá que colocar viendo hacia el cuadro final, después de que sea colocado los jueces colocarán un cono en forma arbitraria. Si es necesario será permitido que miembros del equipo coloquen almenaras dentro de la pista y ese tiempo se incluirá dentro del tiempo de la prueba.
- Trayecto de obstáculos (factor de realización = 2.0) Caminar desde el cuadro de inicio hasta el cuadro final a través de un trayecto con obstáculos que se colocará en los cuadros 4, 5 y 6. Los obstáculos consisten en un estrato de llantas de automóvil

acomodadas. Los robots podrán pisar sobre las llantas, en el piso entre ellas o en el hueco que éstas tienen.

- **Buscar objeto y Trayecto de obstáculos (factor de realización = 3.0)** Caminar desde el cuadro de salida, localizar el cono de tráfico mientras se cruzan los obstáculos y tocarlo, de ahí regresar al cuadro de salida, el cono se colocará arbitrariamente en alguna posición del cuadro 4 ó 6, es permitido colocar almenaras para localizar el cono. El robot se deberá colocar viendo hacia el cuadro final, cuando se haya colocado, los jueces colocarán el cono de forma arbitraria, si es necesario es permitido que miembros del equipo coloquen almenaras dentro de la pista y ese tiempo se incluirá dentro del tiempo de la prueba.
- **Escalar (factor de realización = 3.0)** Dirigir el robot desde el cuadro de salida hacia la rampa en localización perpendicular para viajar en los cuadros 4,5 y 6. la máquina deberá viajar desde la rampa hasta el cuadro de salida.

Por lo que además de los objetivos específicos antes mencionados se tendrán las siguientes restricciones en el diseño.

- Tener una longitud de paso mayor a 30cm
- Poder caminar entre obstáculos
- Poder caminar en planos inclinados.

2.2. PUNTUACION Y EVALUACION

Como ya se dijo antes, hay diez diferentes pruebas, cada una tiene un valor máximo entre 1250 y 3000 puntos. La presentación del robot ganará puntos basándose en el tiempo requerido para completar la prueba y el mejor tiempo, así como el número de competidores que terminaron la prueba, todos los robots participantes podrán ser sometidos dos veces a cada evento, cada prueba tendrá una duración máxima de diez minutos. La calificación total $s(n)$ será obtenida por una "n" lugar en el que terminó cada prueba y será calculada con la siguiente fórmula

$$s(n) = [(400 * t(1) / t(n)) + 600 / N] * \text{Factor de presentación}$$

donde: $t(1)$ = el mejor tiempo de cada prueba

$t(n)$ = El mejor tiempo que se haya realizado en las pruebas de un evento

N = número total de competidores que terminaron la prueba

Factor de presentación = 1 si el robot fue dirigido por un control

Factor de presentación = de 1.25 a 3 dependerá del grado de éxito que haya tenido si los movimientos fueron autónomos

Cualquier calificación obtenida en una segunda prueba se le descontarán 100 puntos, y la mejor calificación entre las dos pruebas después de la reducción de los 100 puntos, será la que se tomará en cuenta para el evento. Para la siguiente inspección general cada equipo deberá

proporcionarle al juez una lista por escrito de todos los intentos que ha tenido en el evento o en las pruebas, no se permitirá algún acontecimiento que vaya mas allá de lo que pide la prueba, a menos de que el jurado lo apruebe. Los eventos se llevarán a cabo con una secuencia numérica, el jurado decidirá y anunciará el orden (realizándolo en un sorteo aleatorio) en el que los equipos competirán en cada prueba.

CAPITULO 3.- DESCRIPCION DEL PROTOTIPO

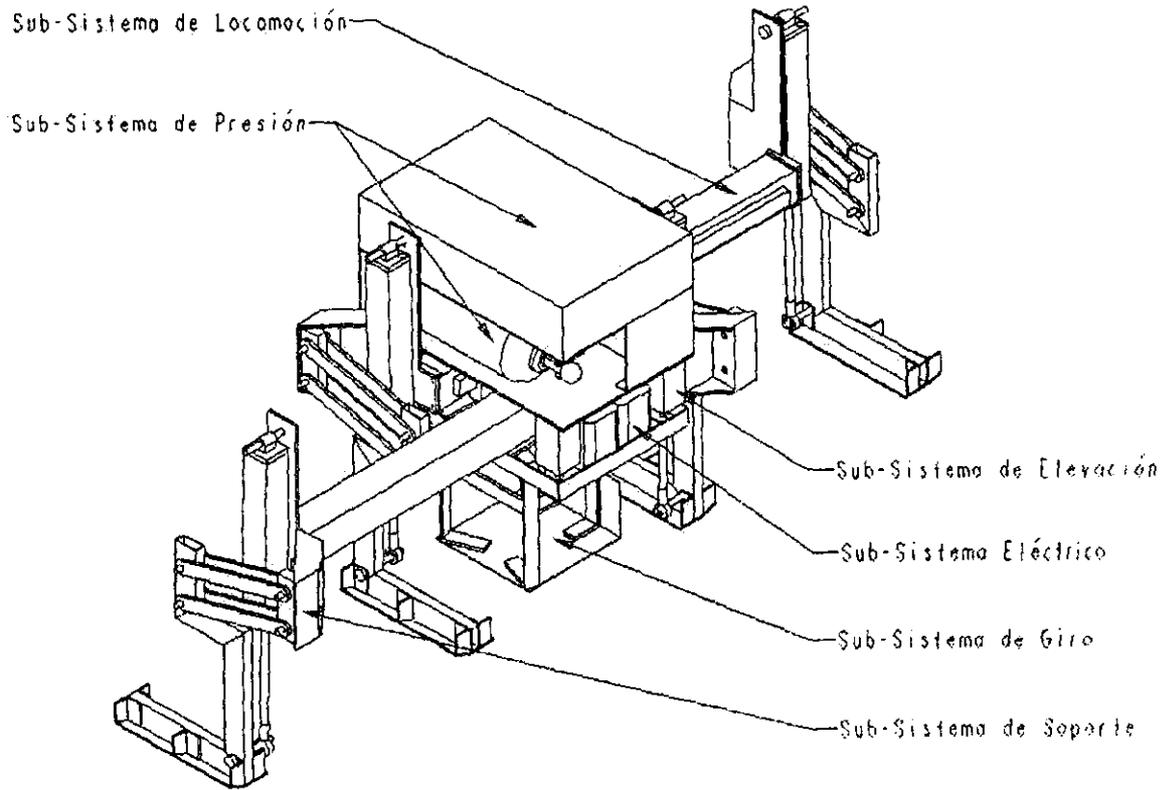
Antes de proceder con el análisis del robot, partiendo del desempeño que tuvo en la competencia; detengámonos un poco en conocer el robot, la forma que tenía y los materiales de que estaba constituido.

Como podemos apreciar en la fig. 3.1 el robot tiene la forma de un animal de cuatro patas, algo parecido a un cocodrilo (de ahí su nombre; Cipactli), también podemos apreciar los subsistemas de que estaba constituido, estos son: neumático, de locomoción, de soporte, de elevación, de giro y eléctrico. A continuación revisaremos cada uno de ellos.

3.1. SUBSISTEMA DE NEUMATICO

Este subsistema está compuesto por dos tanque de buceo, los cuales almacenan 0.3681 m³ (13ft³) a la presión de 20.68 MPa (3,000 psi)

Figura 3.1 Vista general del Robot Cipacali



Los tanques están conectados a un regulador de presión¹ para buceo que ajusta la presión de salida hasta 1.72- 2.06 MPa (250-300 psi), después de este primer regulador debe pasar por otro, el cual se va a encargar de mantener la presión constante en las líneas de distribución, la presión de salida en este caso debe ser de 0.75 MPa (7.5 bar).

A esta línea de distribución se le colocó una ramificación y se le adaptó otro regulador de presión, ajustándola a 0.6 MPa (6 bar), logrando así dos líneas de alimentación con dos presiones diferentes. La finalidad de tener dos presiones es para poder controlar los cilindros neumáticos con la línea de mayor presión logrando así mayor fuerza para poder soportar el peso del robot, mientras que la línea de menor presión se utiliza en los otros elementos como los actuadores, los cilindros para elevar el robot y el actuador giratorio, ya que éstos no requieren de mucha fuerza para poder trabajar.

Este aire a presión es controlado por un conjunto de electroválvulas² que hacen trabajar los diferentes actuadores y cilindros neumáticos. Todas las electroválvulas tienen reguladores de caudal³ a la salida. Ver fig. 3.2

Se usaron electroválvulas 5/3 a centro cerrado⁴, con la finalidad de poder detener en cualquier posición los actuadores o cilindros, logrando así:

- Pasos mas cortos

¹ Un regulador de presión debe establecer y mantener una presión constante a la salida independientemente de la presión de entrada, con la condición de que la presión de entrada sea mayor a la de salida.

² La electroválvula es la encargada de cortar o dirigir el flujo de aire comprimido hacia los objetivos deseados. Y esta opera en forma eléctrica

³ Regulador de caudal es un dispositivo que estrangula el caudal de aire en las conducciones con el objetivo de poder controlar la velocidad de los diferentes actuadores.

⁴ Una electroválvula 5/3 tiene 5 vías y 3 tres posiciones, las cinco vías son: una entrada, dos utilizations y dos de escape.

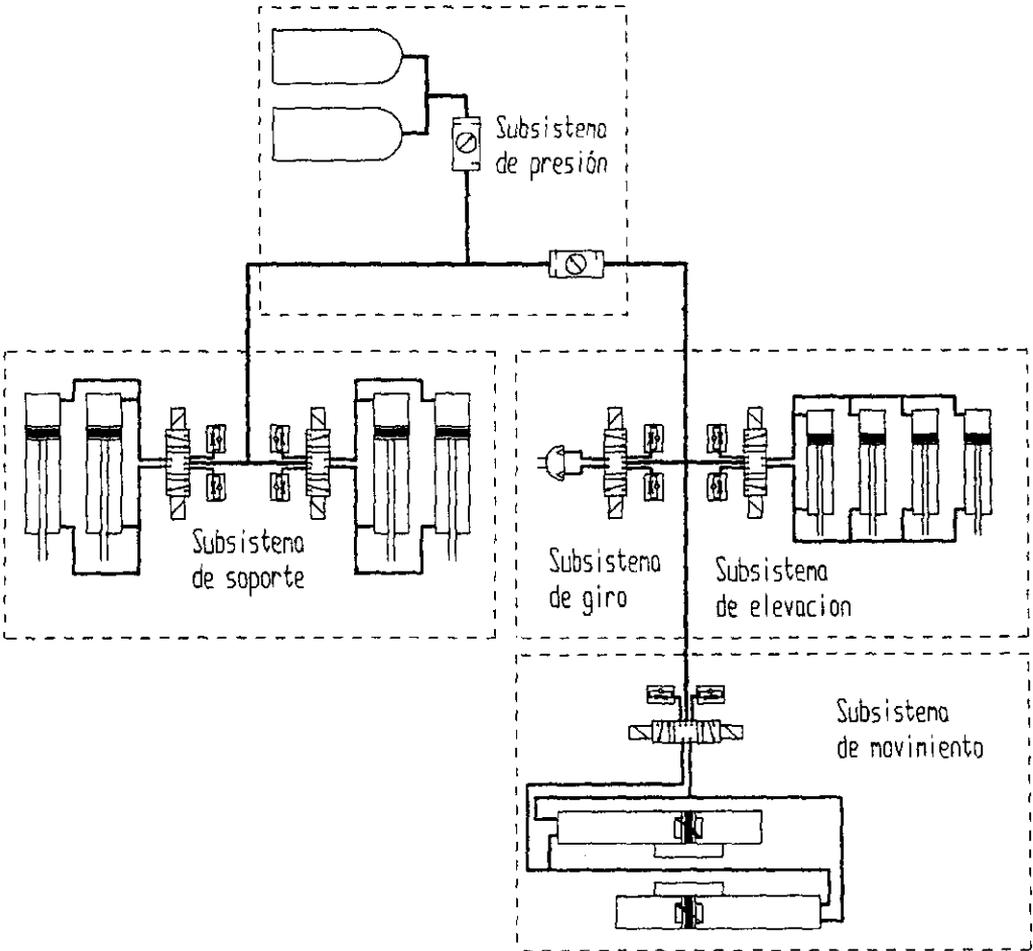


Figura 3.2 Diagrama Neumático

- Levantar poco las patas cuando se quiera hacer un paso corto
- Hacer un giro menor a 90°
- Despegar el robot del piso a la distancia necesaria.

El tamaño de la electroválvula dependió de:

- El número de pistones conectados a ésta
- Caudal de cada pistón

Finalmente todas las electroválvulas eran de 250 l/min. A excepción de la de los actuadores lineales que era de 1000 l/min, aunque debió haber sido de 500 l/min. Pero esta electroválvula no se localizaba en el mercado..

Es necesario recordar que una electroválvula consta de 2 solenoides junto con la válvula, y cada uno de los solenoides controla el sentido del paso del aire, por lo que nunca deben estar conectados los dos solenoides ya que de lo contrario se dañaría la válvula.

Función	Tipo	Diámetro (mm)	Carrera (mm)	Cantidad
Cadera	Actuador Lineal	40	500	2
Piernas	Cilindro	32	200	4
Elevador giro	Cilindro	32	50	4
Giro	Actuador Giratorio	32	180 (grados)	1

Tabla 3.1 Características de los pistones

3.2 SUBSISTEMA DE LOCOMOCION

Este subsistema es el encargado de realizar el movimiento relativo entre las piernas; está compuesto de dos actuadores lineales sin vástago, los cuales están conectados en paralelo a la electroválvula. (Ver fig. 3.3)

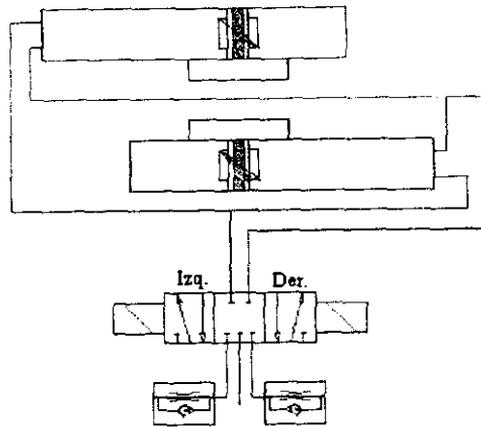


Figura 3.3 Diagrama Neumático de la cadera o subsistema de locomoción.

Tomando la representación de los actuadores como está en la figura 3.3, si la electroválvula se mueve a la posición derecha, el *slide* (corredera) del actuador superior recorrerá toda la carrera de éste quedando entonces del lado derecho, mientras que el *slide* del actuador inferior cambiará su posición al lado contrario que en este caso es hacia la izquierda. Si se pone la electroválvula en la posición central en cualquier momento mientras el *slide* se esté desplazando éste se quedará en la posición que esté cuando se cambie la posición de la electroválvula. Y por último si se elige la posición izquierda de la electroválvula los *slides* se moverán al lado contrario de donde estén.

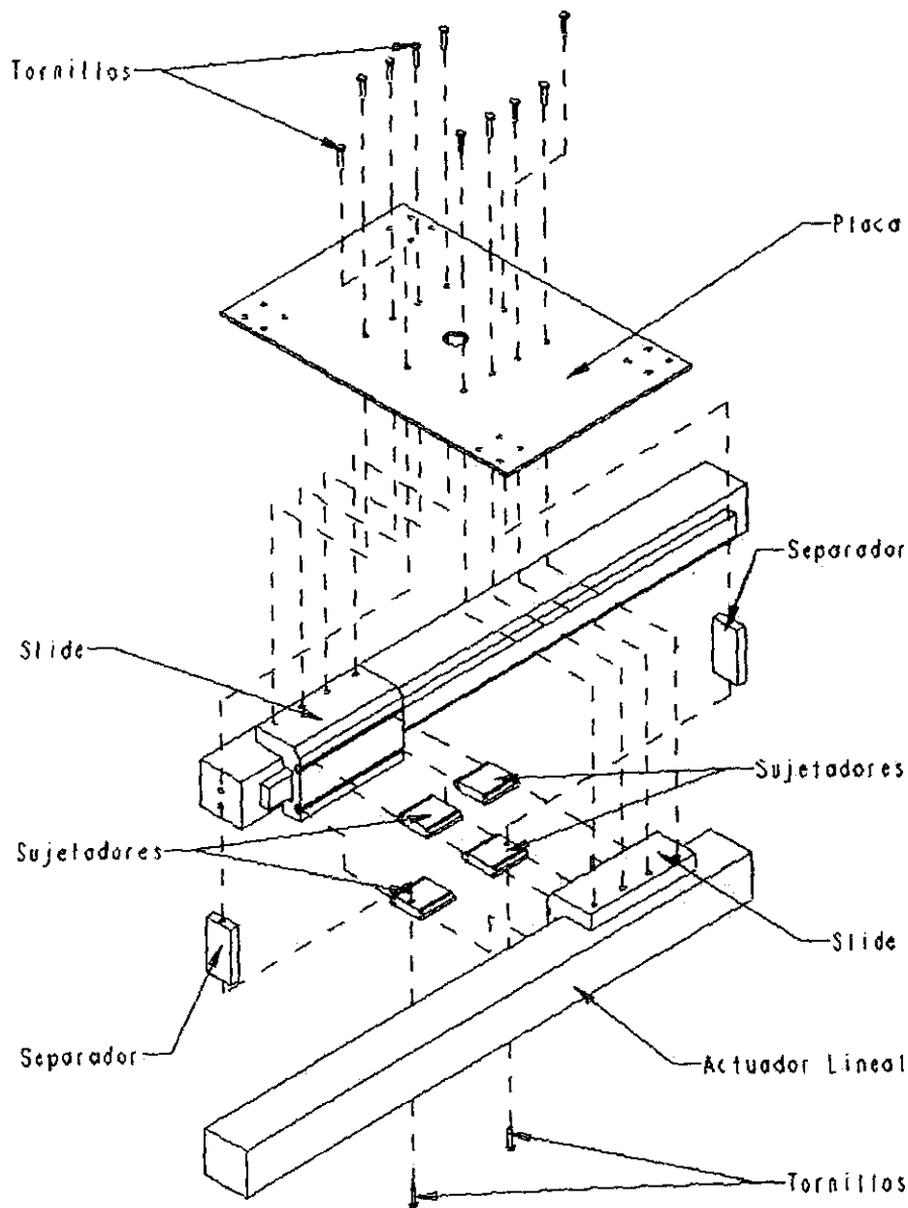


Figura 3.4 Subsistema de Locomoción, Ensamble

Para poder obtener el movimiento deseado es necesario unir los *slides* para ello se utilizarán cuatro sujetadores, los cuales están insertados en unas ranuras especiales laterales del *slide* (dos en la parte de arriba y dos en la parte de abajo), los *slides* están separados por dos piezas llamadas separadores uno al frente y la otra en la parte posterior, tanto los separadores como los *slides* están atornillados en la parte superior a una placa, en la parte inferior los separadores están atornillados a los sujetadores inferiores. (Ver fig. 3.4)

3.3 SUBSISTEMA DE SOPORTE

Consiste de un soporte atornillado a uno de los extremos del actuador lineal sin vástago; y para evitar que el actuador gire se le colocó una brida entre el soporte y el extremo del actuador; el soporte sostiene un cilindro neumático en posición vertical encajado en la parte alta de éste. (Ver plano 1)

El soporte recibe un mecanismo gemelo de cuatro barras compuesto por 4 soleras de 0.03175×0.0254 m ($1\frac{1}{4}$ " x 1") x .25 m de largo de aluminio separadas 0.01905 m mediante un bloque puesto para ese fin al cual le llamaremos bisagra, el mecanismo está encajado en éste por medio de dos ejes de acero que sujetan por pares las soleras, las soleras están limitadas en sentido axial del eje por el bloque del soporte en un lado y en el otro por tuercas con nylon.

La bisagra tiene en sus agujeros que de hecho son dos, a dos bujes de latón (un por cada agujero), los cuales a su vez tienen introducidos a dos ejes de acero (coldroll), la finalidad de

tener los bujes es para no desgastar la superficie de aluminio de la bisagra con la de acero del eje.

Las barras en su otro extremo están engoznadas a un tubular de perfil rectangular de acero de 0.01905×0.04445 m (0.75×1.75 in), al igual que como se hizo con las bisagras. El tubular está hechos de cuatro piezas que al unir las tiene la forma de una hoz en líneas rectas, las cuales para unir las fue necesario soldar las. Esta pieza se nombrará pie y se requieren cuatro.

En la parte inferior del pie en uno de los dobles se tiene un perno atornillado con rondana de presión, el cual se va a conectar por medio de una horquilla en el extremo del vástago del pistón vertical y para evitar que el perno se doblara se le insertó un bloque antiflexión.

La superficie de la pata que toca con el piso tiene una área de contacto muy chica (ancho del tubular), se le hizo una extensión de lámina galvanizada, del frente del pie hacia atrás, y en la parte del frente también se le hizo una extensión pero esta vez con un ángulo de 20° , para fijar la lamina se utilizaron ángulos que fueron remachados tanto al pie como a la lámina.

Para no permitir que el robot se resbalara o patinara en el piso se le anexó un hule bajo la lámina como antiderrapante. Esto se hizo en las cuatro patas que tiene el robot, con la única diferencia de que como son dos pies delanteros y dos traseros, obliga a que el doblez en la lámina fuera hacia afuera del robot, así como la forma de colocar el perno en el tubular siempre con la cabeza del perno hacia afuera del robot.

Se tiene así un actuador lineal sin vástago con dos patas una delantera y una trasera, y en conjunto forman una pierna del robot, la patas del robot están conectadas a la misma electroválvula en paralelo. (Ver fig. 3.5)

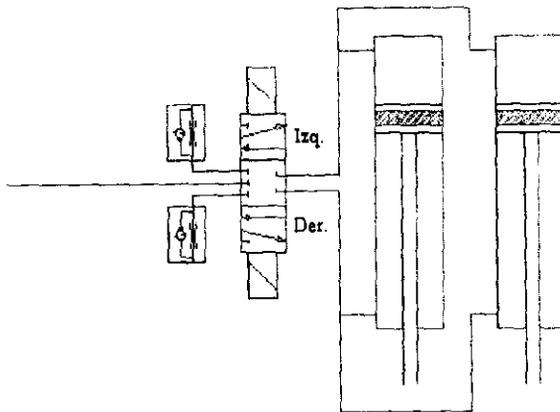


Figura 3.5 Diagrama Neumático de las Patas o subsistema de soporte

La posición inicial de las patas es con el vástago del cilindro neumático o pistón, totalmente extendido teniendo de esta forma toda la fuerza del pistón para poder soportar el peso del robot.

De acuerdo con la figura 3.5, cuando se pone la electroválvula en la posición derecha el vástago en los dos pistones se recogerá hasta su final de carrera, a menos que se ponga la electroválvula en la posición central, en la que se quedará el vástago en la posición en la que se cambió la electroválvula.

Conforme se va recogiendo el vástago, el pie empezará a describir una trayectoria de un pequeño arco de círculo, manteniendo el pie siempre con el mismo ángulo, cuando el vástago

termina su carrera hasta arriba estarán los pies por encima del piso aproximadamente la misma longitud del vástago que son de 0.20m.

Cuando se ponga la electroválvula en la posición izquierda los vástagos de los dos pistones se extenderán.

3.4 SUBSISTEMA DE ELEVACION

Para poder hacer girar el robot es necesario levantarlo del piso, esto se logra por medio de cuatro cilindros, los cuales están atornillados a la placa por un extremo y por el otro, el del vástago a una pequeña estructura rectangular abajo del robot. En esta estructura porta pistones se encuentra el balero axial o sandwich, a la que está atornillada. Y por el otro extremo del balero axial también atornillada se encuentra la canastilla de giro, que no es más que una caja, la cual puede girar libremente en el interior del cuerpo del robot y que da la altura necesaria para que el robot no arrastre las piernas al momento de girar. (Ver plano 2)

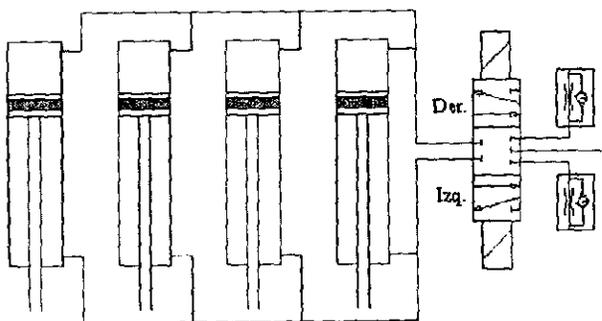


Figura 3.6 Diagrama Neumático para el subsistema de elevación.

Los cuatros cilindros se conectan a una electroválvula 5/3 a centro cerrado en paralelo, (ver fig. 3.6) y su funcionamiento es igual al de los cilindros neumáticos de las patas, la finalidad de utilizar una electroválvula 5/3 a centro cerrado es para poder levantar el robot lo que sea necesario.

3.5 SUBSISTEMA DE GIRO

La parte que hace girar al robot, es una flecha de acero soldada al eje del balero axial, de tal forma que al hacer girar la flecha ésta mueve la canastilla giratoria, produciendo así el giro. (Ver plano 2)

La flecha a su vez está introducida en un tubo el cual tiene dos ranuras gemelas diametralmente opuestas con el propósito de hacer funcionar el giro aun cuando éste estuviera extendido, para ello se detiene la flecha por medio de un perno pasador que cruza de lado a lado; el tubo ranurado por el otro extremo está conectado a la flecha del actuador giratorio⁵ o *rotric*, por medio de un cuñero, el *rotric* se encuentra atornillado a una bancada la cual da la altura necesaria para mantener el sistema funcionando, esta bancada está atornillada a la placa (la placa tiene un agujero en el centro por donde pasa la flecha, la cual para que no tallara con la placa soporte tiene un buje, el cual a su vez hacia que no se desplazara el tubo ranurado).

El actuador giratorio se conecta a una electroválvula 5/3 a centro cerrado, (ver fig. 3.7) para así poder detener el robot a un ángulo deseado. Su funcionamiento es similar al de los

⁵ Los actuadores giratorios se emplean cuando se quiere obtener un movimiento angular en vez de un lineal.

demás cilindros en el momento de poner la electroválvula en la posición derecha el actuador giratorio dará un giro de derecha a izquierda, en la posición central se puede detener su funcionamiento y en la posición izquierda de la electroválvula el actuador hará un giro de izquierda a derecha.

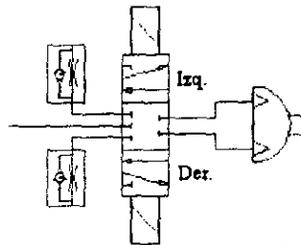
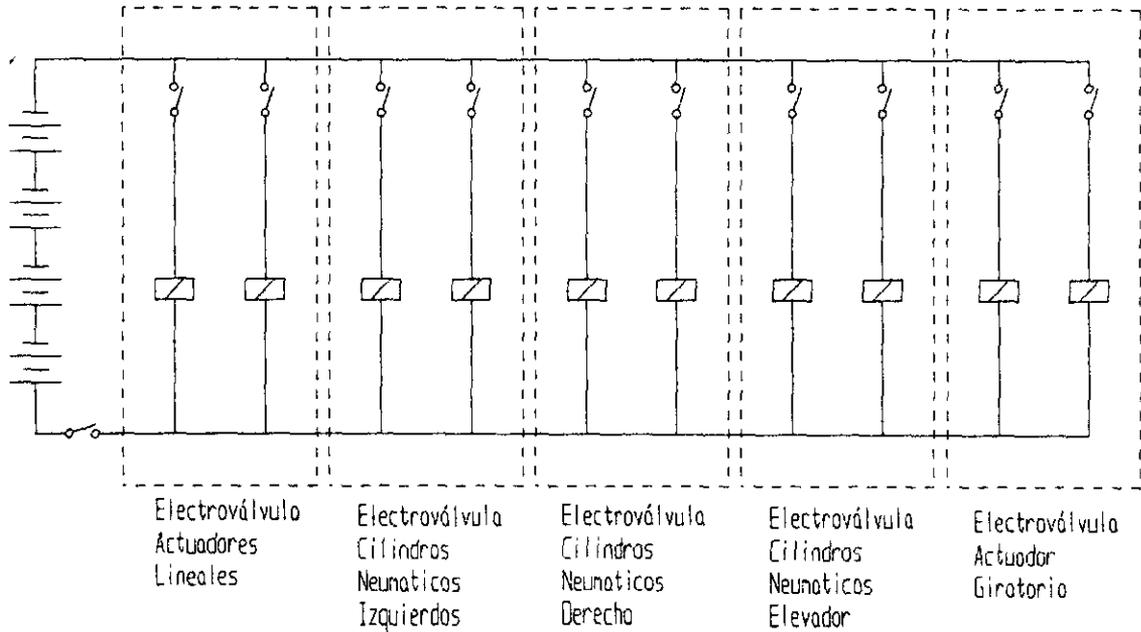


Figura 3.7 Diagrama Neumático para el subsistema de Giro

3.6 SUBSISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico consta de 4 baterías de 6V, éstas están conectadas en serie proporcionando así una alimentación de 24V para las electroválvulas. Es necesario recordar que se tienen dos solenoides por cada válvula, esto implica tener dos posiciones arriba y abajo, izquierda y derecha o adelante y atrás, los solenoides están conectados en paralelo como podemos ver en la figura 3.8, el consumo de cada solenoide es de 1.5 W a excepción de los dos que se utilizan para la electroválvula de los actuadores lineales, ya que ésta es más grande que las demás.

Figura 3.8 Diagrama Eléctrico



3.7 SECUENCIA DE CAMINADO

Ahora que ya sabemos cómo trabajan cada uno de los sistemas que hacen caminar el robot, ¿cómo es que el robot caminaría?

Para saber cómo camina el robot, describimos a continuación la secuencia de movimientos necesarios, vamos a empezar un paso con el pie izquierdo:

- levantar pie izquierdo
- desplazar cuerpo y pie izquierdo
- apoyar el pie izquierdo Medio Paso
- levantar pie derecho
- desplazar cuerpo y pie derecho
- apoyar el pie derecho Paso completo

Levantamiento del pie izquierdo.- Los cilindros neumáticos son accionados para despegar las patas izquierdas delantera y trasera; en este momento el peso del cuerpo y de la pierna izquierda recaen en la pierna derecha. Fig. 3.9a y 3.9b

Desplazamiento del cuerpo y de la pierna izquierda.- Los actuadores lineales son accionados desplazando la pierna izquierda hacia el frente, al mismo tiempo que el cuerpo también es desplazado hacia el frente. Fig. 3.10

Descenso de la pierna izquierda.- Una vez que se ha alcanzado la distancia requerida y el fin de carrera de los actuadores lineales, se accionan los cilindros neumáticos para descender las patas izquierdas, nuevamente el robot está apoyado en cuatro patas. Fig. 3.11 y 3.12a

Levantamiento de la pierna derecha.- Los cilindros neumáticos de las patas derechas son accionados para despegarlas del piso, el cuerpo y la pierna es soportada por la pierna izquierda. Fig. 3.12a y 3.12b

Desplazamiento del cuerpo y de la pierna derecha.- Los actuadores lineales son accionados para producir el movimiento contrario, logrando un desplazamiento de la pierna derecha y del cuerpo hacia el frente. Fig. 3.13

Descenso de la pierna derecha.- Los cilindros neumáticos son accionados para descender las patas derechas, dejando el robot apoyado en cuatro patas y en su posición inicial. Fig. 3.14 y 3.9a

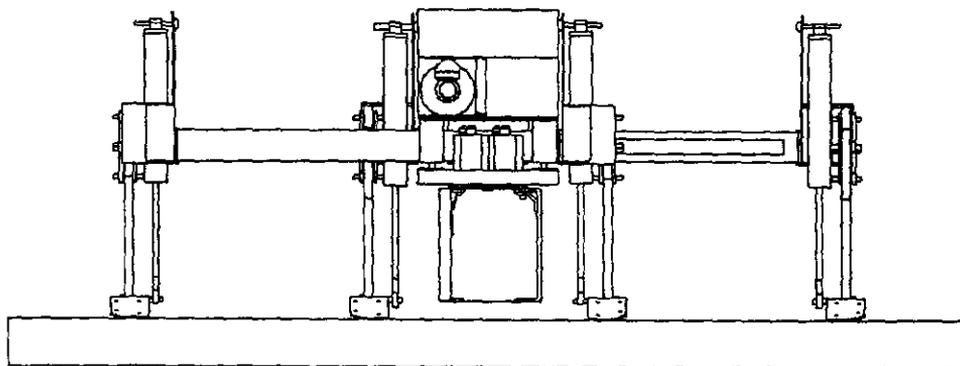


Figura 3.9a Robot en reposo

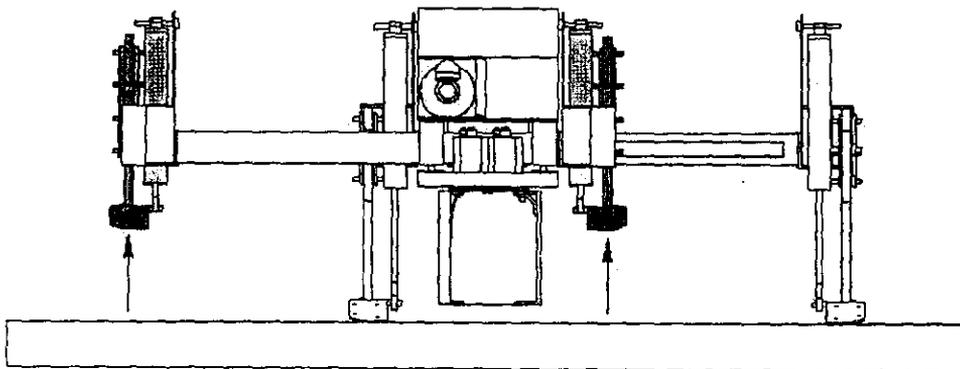
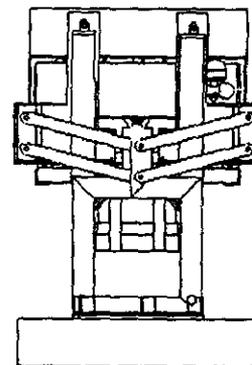
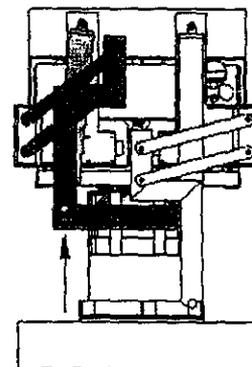


Figura 3.9b Levantamiento de la pierna izquierda.



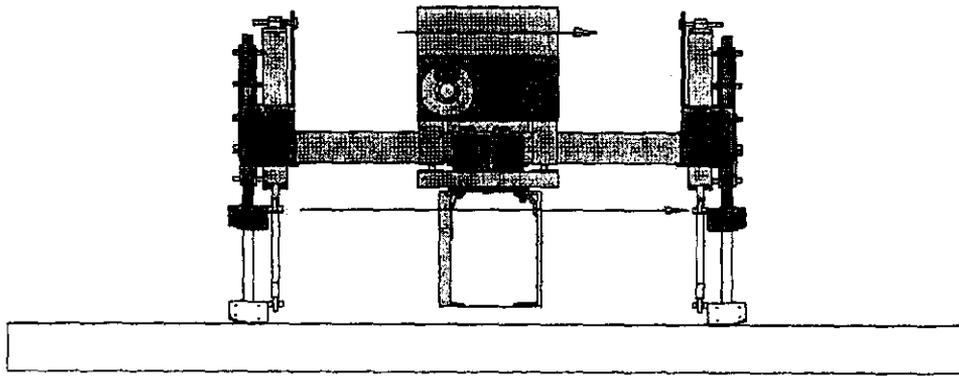


Figura 3.10 Desplazamiento del cuerpo y de la pierna izquierda

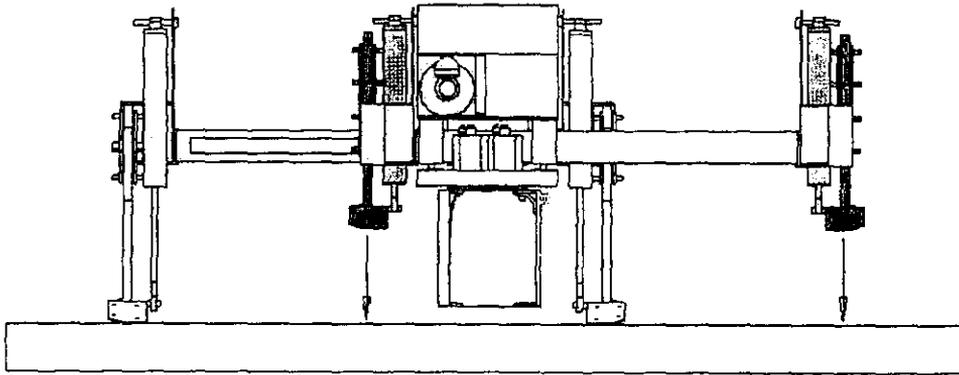
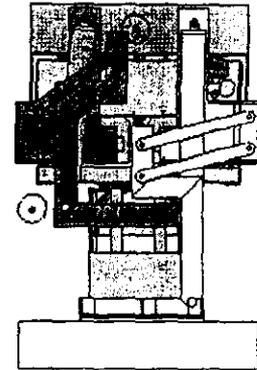
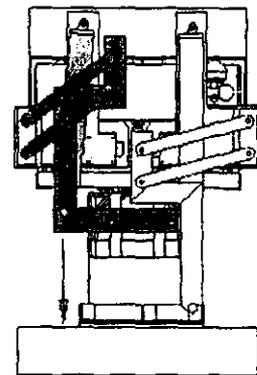


Figura 3.11 Descenso de la pierna izquierda



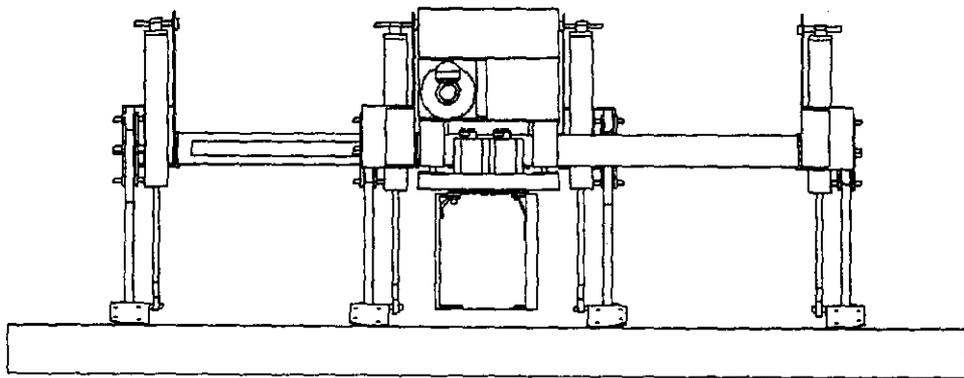


Figura 3.12a Robot en reposo

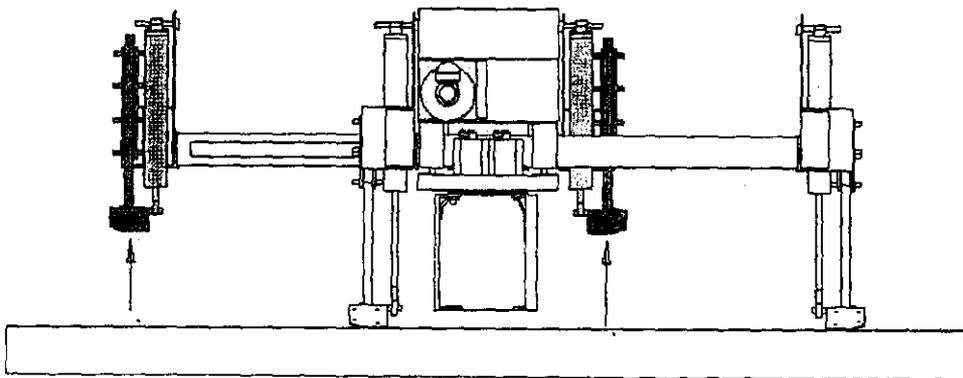
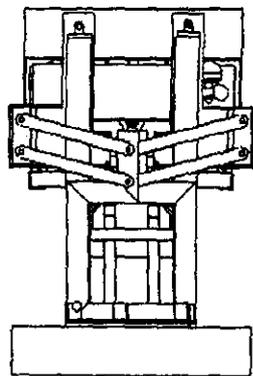
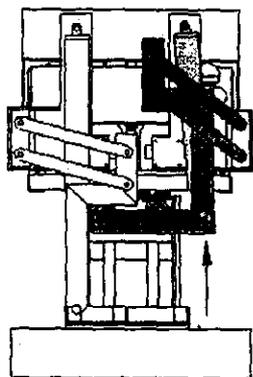


Figura 3.12b Levantamiento de la pierna derecha



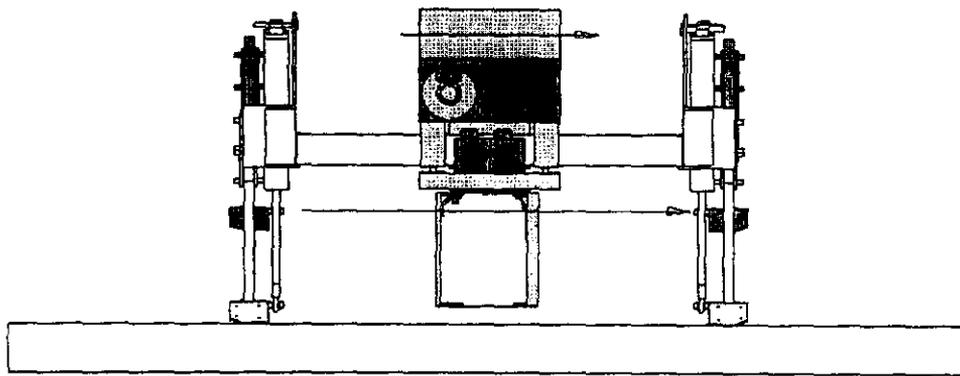


Figura 3.13 Desplazamiento del cuerpo y de la Pierna Derecha

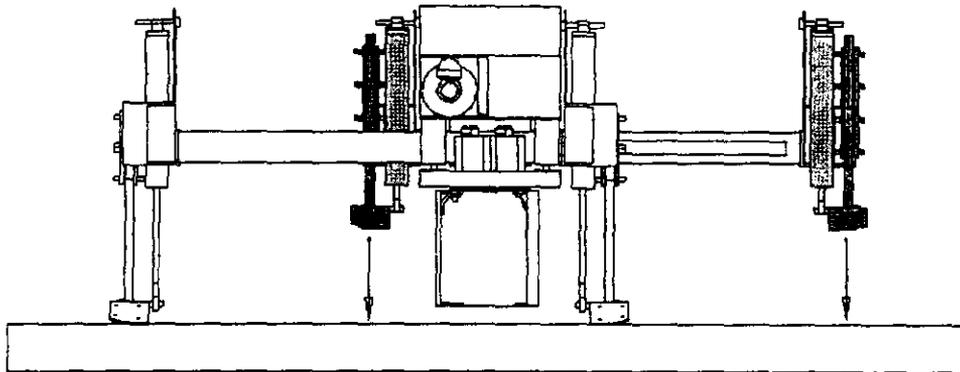
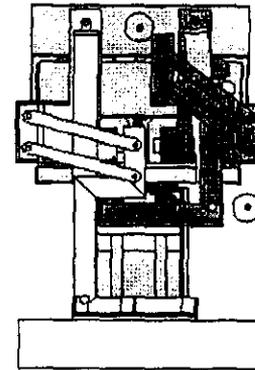
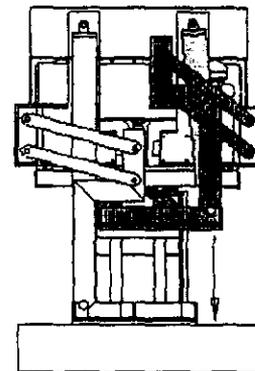


Figura 3.14 Descenso de la Pierna Derecha



3.8 SECUENCIA DE GIRO

En forma similar a la secuencia de caminado, describimos mediante la secuencia de movimientos como es que el robot va a girar.

Antes de hacer la secuencia de giro es necesario saber hacia dónde se quiere girar y en qué posición está el actuador giratorio ya que los giros están restringidos.

Si se va a dar una vuelta a la izquierda y el actuador giratorio está para dar un giro a la izquierda, será necesario accionar el actuador giratorio de izquierda a derecha, de esta manera éste se quedará en la posición derecha y de esta forma ya podemos empezar con la secuencia de giro, que es la siguiente:

- La base giratoria es extendida, dejando el robot suspendido
- El actuador giratorio es accionado, cambiando de orientación al robot
- La base giratoria es retraída quedando ésta suspendida por debajo del robot

3.9 CONCEPTOS BASICOS DE NEUMATICA.

Actuadores Neumáticos

Llamaremos actuadores neumáticos a aquellos componentes capaces de transformar la energía potencial latente en el aire comprimido en trabajo mecánico, para el accionamiento de máquinas o mecanismos.

Clasificación

Según la forma de entregar este trabajo mecánico, podemos clasificar a los actuadores en:

- Cilindros.- Entregan el trabajo en forma rectilínea de empuje - tracción.
- Actuadores de giro.- Proporcionan movimientos angulares.
- Motores rotativos.- Tienen un eje que puede girar para accionar mecanismos rotativos.

Los parámetros básicos de los actuadores neumáticos son:

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| • Para los cilindros | Fuerza y carrera. |
| • Para los actuadores de giro | Par y ángulo. |
| • Para los motores neumáticos | Par y revoluciones. |

3.9.1 Cilindros

Son actuadores de acción lineal; transforman la energía del aire comprimido en trabajo mecánico definido por

$$T = F \cdot e = P \cdot A \cdot L$$

donde F = fuerza

e = energía

P = presión

A = sección

$L =$ carrera

3.9.1.1. Sección

La sección activa de un cilindro para la superficie total del cilindro es:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

La sección activa de un cilindro del lado del vástago es:

$$A_1 = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}$$

Siendo D , el diámetro interior del cilindro y d el diámetro del vástago

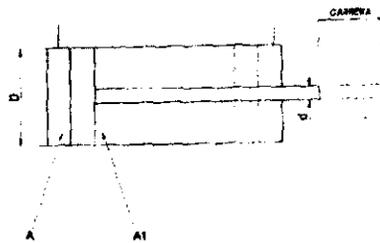


Figura 3.14 Parámetros básicos de un pistón.

3.9.1.2. Carrera

Está definida por la diferencia de posición entre las dos situaciones extremas del émbolo, es decir, es la distancia total recorrida desde la posición inicial del émbolo hasta la posición final alcanzada.

3.9.1.3. Fuerza

La fuerza teórica que es capaz de ejercer un cilindro está definido por

$$F = P \cdot A = P \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

La fuerza teórica que es capaz de ejercer un cilindro a la salida del vástago es:

$$F_1 = P \cdot \pi \frac{D^2 - d^2}{4}$$

Por lo tanto $F > F_1$, por lo que si se conectan las dos entradas del cilindro a una misma fuente de presión, el vástago tenderá a salir.

3.9.1.4 Consumo

El consumo de aire en un cilindro neumático se mide en litro por metro en condiciones normales y depende de su diámetro, de su carrera y del número de ciclos de ida y vuelta que efectúa en la unidad de tiempo

En cilindros grandes puede tenerse en cuenta la reducción del volumen del vástago, pero en cilindros pequeños esta diferencia de consumo resulta despreciable.

Para calcular el volumen de aire que consume el cilindro en el sentido de salida del vástago para una carrera C arbitraria se emplea la ecuación:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot C$$

Para calcular el volumen de aire que consume el cilindro en el sentido de entrada del vástago para una carrera C arbitraria se emplea la ecuación:

$$V_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot C$$

La suma de $V + V_1$ representa el volumen del cilindro en una carrera de ida y vuelta. Como el cilindro se llena de aire a presión es preciso corregir este volumen por medio de la aplicación de la ley de Boyle, multiplicando el volumen por la presión absoluta (presión manométrica + 1).

Por tanto, el volumen de aire consumido por el cilindro en cada ciclo viene dado por:

$$\text{Consumo} = (V + V_1)(P + 1)$$

Valor que multiplicado por el número de ciclos que efectúa el cilindro en la unidad de tiempo nos proporcionará el consumo.

Si las dos tuberías de alimentación al cilindro tienen un volumen relevante con relación a éste, deberán sumarse para no desfigurar el resultado, puesto que se llenan y vacían en cada maniobra.

3.9.1.5 Velocidad de accionamiento

Una de las principales ventajas de la utilización del aire comprimido para accionar cilindros es su gran velocidad de desplazamiento. En cualquier caso la velocidad del cilindro depende de:

- La presión del aire.

- La sección y longitud de las tuberías y conexiones que condicionan la pérdida de presión
- La relación superficie de émbolo/superficie de tubería de alimentación.
- La fuerza que ha de vencerse (fuerza antagonista).

La velocidad de los cilindros neumáticos puede oscilar entre 0.1 y 1 m/s. Por debajo de 0.1 m/s, puede producirse un funcionamiento irregular. Por encima de 1 m/s, debe cuidarse mucho la amortiguación de energía cinética y los tipos de aceite lubricante para obtener vidas razonables de los componentes.

La regulación de la velocidad en la práctica es necesaria para evitar movimientos incontrolados. La regulación de velocidad se consigue por medio de los estranguladores de caudal que limitan el caudal de aire que sale del cilindro hacia el escape.

Nunca debe estrangularse el aire de entrada hacia el cilindro, ya que produce movimientos del émbolo a saltos, lo que no es normalmente admisible en el accionamiento de mecanismos. Por lo que siempre se deberá estrangular el caudal de salida.

3.9.1.6 Amortiguación

Cuando el émbolo llega al final de su recorrido, golpea contra la cabeza correspondiente; si este golpeteo es repetitivo y representativo, entonces se producen deformaciones que acaban destruyendo el cilindro.

Se emplean las siguientes soluciones para evitar este golpeteo:

- La amortiguación elástica se utiliza en los pequeños cilindros que han de soportar golpeteos ligeros y consisten en anillos de material elástico (neopreno o similar), que evitan el choque metal - metal, y que con su deformación absorben la pequeña energía cinética del sistema móvil.
- La amortiguación neumática regulable se usa en todos aquellos cilindros que han de amortiguar repetitivamente a las masas en movimiento (energía cinética) de cuantía más representativa.

3.9.1.7 La amortiguación neumática

Consiste en dos émbolos supletorios del émbolo que en su final de recorrido se introducen en sendas mecanizaciones cilíndricas que hay en la tapa sobre la cual va a finalizar el movimiento. Mientras el cilindro se desplaza a lo largo de toda su carrera, el aire escapa por el orificio central. Cuando en su momento el émbolo se introduce en la culata del cilindro, queda una cantidad de aire confinada, que no tiene más remedio que escapar a través de un orificio de paso ajustable, por medio de un tornillo cónico. Este tornillo crea una resistencia al paso del aire que se opone al movimiento del émbolo, creándose un cojín amortiguador. Con el tornillo de ajuste puede conseguirse que en el final del recorrido no se advierta ningún sonido metálico.

No debe cerrarse demasiado este tornillo para no producir rebotes o incluso podría impedirle al cilindro completar su carrera.

Cuando el cilindro debe invertir el sentido de movimiento, el aire entrante levanta la bola antirretorno o sistema equivalente para actuar sobre la totalidad de la superficie del

cilindro. Si no existiera este sistema, el cilindro en vez de arrancar con la superficie total, arrancaría sólo con la superficie del émbolo amortiguador. Esta bola hace la función de arranque rápido para que este se produzca de manera firme. (Ver fig. 3.16)

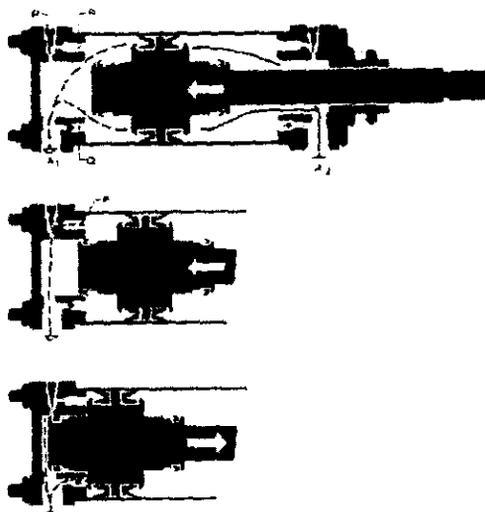


Figura 3.16 Ilustración secuencial de la amortiguación neumática regulable.

Arriba: El flujo de aire procedente del distribuidor entra por el orificio A2. El orificio A1 está conectado con la atmósfera y el émbolo del cilindro se desplaza en el sentido de la flecha barriendo el aire. El conducto Q está cerrado.

Al Centro: el cilindro supletorio del émbolo se ajusta en la cabeza posterior. Entre las juntas de labios queda confinada una cantidad de aire que no tiene más remedio que escapar por P, creándose una compresión en la cámara que actúa en sentido contrario al movimiento y contribuye a desgastar la energía cinética del conjunto móvil.

Abajo: Cuando se invierte el distribuidor y entra aire por el orificio a1, empuja sobre el cilindro central y sobre la cámara anular, puesto que levanta el antirretorno Q, produciéndose la acción sobre la totalidad de la superficie y, por tanto, su arranque energético.

3.9.2 Cilindros sin vástago

Como su propio nombre lo indica no disponen de vástago. El elemento móvil es un carro exterior al cuerpo del cilindro que se mueve guiado a lo largo de unas superficies

prismáticas. En sí mismos constituyen un elemento de máquina. Se fabrican con diferentes modelos de guía:

- Guía interior
- Guía exterior con deslizaderas plásticas
- Guías de rodillos
- Guías de bolas

La fabricación de estos cilindros parte de una barra extruida de aleación ligera que interiormente tiene el diámetro nominal del cilindro. Este perfil está ranurado a lo largo de toda su longitud y, por esta ranura discurren los elementos mecánicos que ligan el émbolo con el carro exterior móvil. Esta ranura longitudinal es sellada por cintas; la cinta interior cierra las cámaras del cilindro propiamente dicho y sólo se separan en la zona en que se encuentra el mecanismo de unión émbolo - carro. La cinta exterior impide que se deposite suciedad en la ranura.

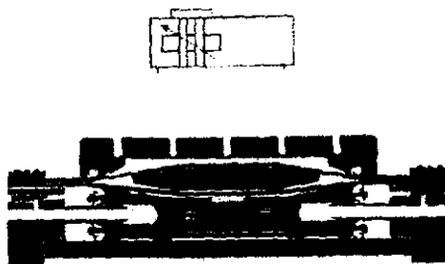


Figura 3.17 Símbolo y sección convencional del cilindro sin vástago.

Estos cilindros tienen una amortiguación regulable muy precisa al disponer de tornillos cónicos de gran longitud; sobre el émbolo tienen un imán que actúa sobre los microrruptores magnéticos que se pueden colocarse a lo largo de toda su longitud para proporcionar las señales de control posicional al sistema de mando. (Ver Fig. 3.17)

3.10 CONSUMO DEL ROBOT

Una vez que conocemos todos los actuadores que llevara el robot es necesario saber si podemos cubrir la demanda de aire, ya que si el robot se quedara sin aire a la mitad de una prueba, no se podrá reemplazar para que siga adelante. Por eso es necesario conocer la prueba en la que el robot trabaje más tiempo y en función de ésta se tendrá una seguridad para las demás. La prueba en la que el robot da un mayor número de pasos es en el "gran tour". Prueba en la que hay que completar toda una vuelta al cuadro del centro sin tocarlo y regresar al lugar de donde se partió. (Ver figura 3.18)

Como podemos ver en la figura se requieren de 20 pasos y 7 giros de 45° cada uno. Para poder determinar el volumen total es necesario tener algunos valores a la mano

- Número de pistones
- Diámetro de los pistones
- Carrera de los pistones
- La presión a la que van a trabajar

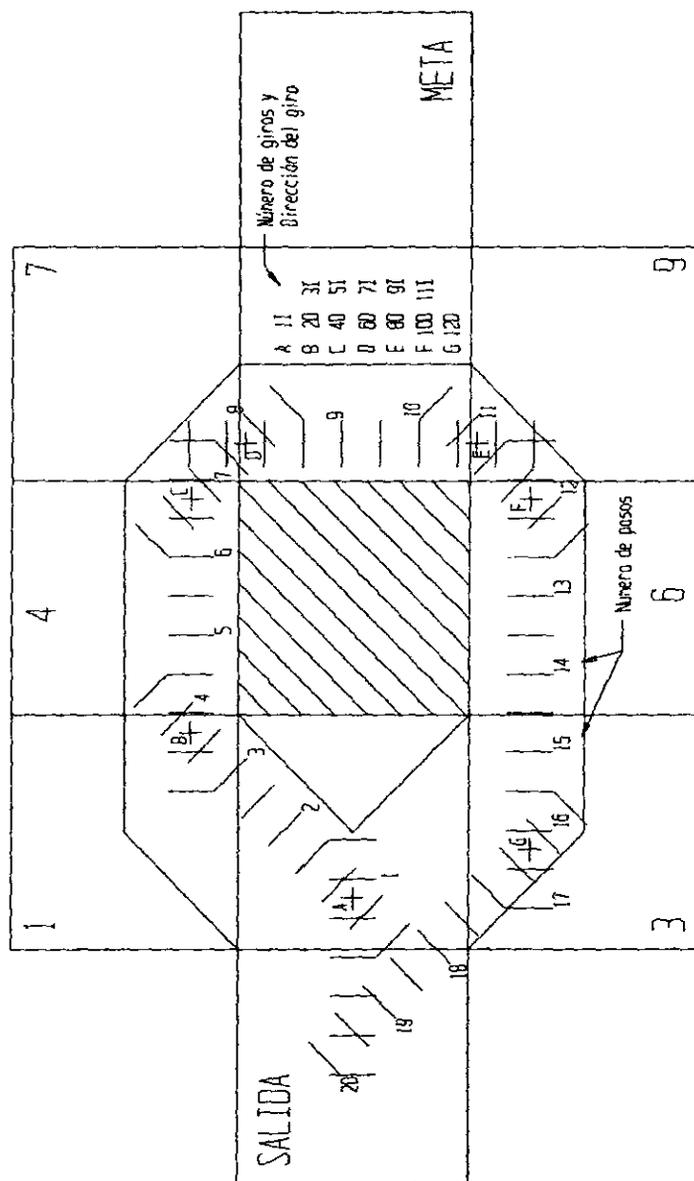


Figura 3.18 Recorrido del Gran Tour

Una vez que se tiene esto se procede a llenar la siguiente tabla:

Aplicación	Diámetro (m)	Carrera (m)	Cantidad	N° de Ciclos	Presión de trabajo	Vol. (m ³)
Cadera	0.04	0.5	2	20	6.00	0.347
Pierna Izq.	0.32	0.2	2	20	7.50	0.105
Pierna Der.	0.32	0.2	2	20	7.50	0.105
Giro	0.32	45°	1	6	6.00	0.013
Elevador	0.32	0.05	4	7	6.00	0.026
Total						0.599

Tabla 3.2 Consumo de los diferentes componentes en la prueba del "gran tour".

El volumen total mostrado en la tabla es a presión atmosférica. Para poder saber el volumen de aire que hay en un tanque es necesario recurrir a los datos técnicos del fabricante; el cual nos dice que el volumen de aire a una presión de 20.68MPa (3000psi) es igual a un volumen de 0.3681 m³ (13ft³) a presión atmosférica; esto es, que si se llena el tanque a una presión de 20.68MPa el volumen a la presión atmosférica va a ser de 0.3681 m³. Lo que significa que va a ser necesario otro tanque; así tenemos un total de aire de 0.736m³ por lo que nuestra reserva va a ser de:

$$\%_{\text{reserva}} = \frac{0.736 - 0.599m^3}{0.736.m^3} \cdot 100 = 18.57\%$$

Lo que equivale a dar poco menos de 5 pasos. Es importante tener en cuenta que si el tanque no es llenado a la presión de 20.68MPa el porcentaje de reserva será menor dependiendo de la presión a la que se llenaron los tanques.

Si queremos saber la presión mínima a la que podemos utilizar un tanque planteamos lo siguiente:

$$V_{Tanque} P_{Tanque} = V_{Atm} P_{Atm}$$

$$V_{Tanque} = \frac{(0.368m^3 \cdot 0.101MPa)}{20.68MPa + 0.101MPa} = 0.00179m^3$$

$$P_{Tanque} = \frac{(0.2995m^3 \cdot 1.1 \cdot 0.101MPa)}{0.00179m^3} = 18.58MPa$$

Donde los .2995 m³ es el volumen necesario por cada tanque para completar la prueba además de que se le añade un 10% como factor de seguridad, para así obtener una presión de 18.58MPa, así si se tiene que el promedio de las presiones de los dos tanques es menor al valor anterior, no se terminara la prueba.

CAPITULO 4.- ANALISIS DEL ROBOT CIPACTLI

4.1. RENDIMIENTO DE CIPACTLI DURANTE LA COMPETENCIA

El robot Cipactli a pesar de sólo haber terminado 3 pruebas, y haber quedado en 7º lugar en la competencia, respondió muy bien; sin embargo presentaba problemas al momento de caminar; decimos que respondió bien pues demostró en una de esas tres pruebas que el robot era funcional, la prueba del plano inclinado, de hecho la más difícil de la competencia; pero más adelante tendremos tiempo para hablar de eso. Por el momento nos detendremos para analizar el desempeño que tuvo el robot en las diferentes pruebas.

4.1.1. Carrera

Esta es una de las pruebas que el robot logró pasar, y digo que logró, ya que a la mitad de la prueba se presenta una fuga en uno de los tanques y su conector; haciendo muy difícil su manejo, puesto que el robot caminaba muy despacio.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

4.1.2. Girar

En esta prueba se presentaron dos nuevos problemas, el primero de ellos mecánico, al momento de querer dar el paso las piernas golpeaban entre sí, impidiendo de esta forma que se pudiera dar un paso completo, el robot renqueaba. El otro problema era de origen de diseño, la manguera que alimentaba los actuadores, se estranguló, por lo que no se podía mover en ninguna dirección, siendo esta la causa de que el robot no pudiera seguir adelante.

4.1.3. Grieta

De nuevo se presentó el problema mecánico justo antes de pasar la grieta, el problema aquí es que se tenía que apoyar un pie lo más cerca de la grieta y el otro tratar de acercarlo sin que tocara la grieta, se logró pasar una tercera parte del robot, otra tercera parte estaba arriba de la grieta (parte del cuerpo) como no se pudo pasar de ahí, se dio por terminada la prueba

4.1.4. Grand Tour

Previendo lo que había pasado, dos pruebas antes, se doblaron un poco los soportes de las patas, con el objeto de que éstas no golpearan entre sí, y de hecho se logró que no golpearan; neumáticamente se creía que se había resuelto el problema, ya que en la prueba anterior se había cambiado manguera y se había acomodado de otra forma, no se habían presentado problemas, o al menos eso creíamos hasta que el robot dejó de caminar, las mangueras se volvieron a estrangular.

4.1.5. Retención de objetos

En esta prueba el robot no participó ya que no funcionaba la trampa para la pelota, (El rediseño de la trampa para los objetos no entra en el estudio de éste trabajo, este se dejará para futuras generaciones de acuerdo a sus diseños y necesidades de la competencia)

Mientras el robot no participaba en esta prueba le fueron corregidas las patas y las mangueras cambiadas de posición siendo ésta la posición definitiva para toda la competencia.

4.1.6. Librar Objetos

A pesar de los intentos para corregir los problemas de las patas éstos nos perjudicaron ya que dos pasos después de salir se presentó el mismo problema, incluso cuando se bajaba la pierna ésta llegaba a golpear la guía del pistón. Haciendo renquear el robot se llegó al cuadro de meta lamentablemente no todo el cuerpo del robot estaba adentro cuando se terminó el tiempo. La parte neumática en esta ocasión estaba trabajando bien. Por lo que sólo había que preocuparse de las patas de que no golpearan entre si.

4.1.7. Buscando objetos

Teniendo las patas la distancia necesaria para poder dar el paso, se procedió a la siguiente prueba, la cual se aprobó sin ninguna dificultad. Siendo ésta la segunda prueba que pasaba el robot. Todo indicaba que se habían podido corregir los problemas que se habían presentado y el robot podía continuar sin problemas.

4.1.8. Trayecto de obstáculos

Con la seguridad de que el robot ya no daría más problemas, se enfrentó al campo de obstáculos, siendo éstos un gran reto al momento de enfrentarse, el robot se atoró en uno de ellos haciendo que perdiera el equilibrio; ¿pero, por qué? Si se tenía la altura necesaria para poderlos pasar sin problemas; en el segundo intento de esta prueba se decidió empujar los obstáculos, logrando así que el robot pudiera encontrar la salida, pero cuando estaba a punto de recorrer los últimos metros lineales (ya sin obstáculos), se perdió presión en el sistema, “pero no se tenía ninguna fuga”; la razón no se habían cambiado los tanques.

4.1.9. Trayecto de obstáculos y buscando objeto

En el primer intento justo cuando el robot iba a dar un giro, se rompe el pasador que hacía girar el tubo con la flecha conectada a la base giratoria. En el segundo intento una manguera se zafa del conector, siendo éste del pistón de una de las patas, la ventaja es que ya se había tocado el objeto, probable razón por la cual se hubiera podido atorar, lo difícil era regresar al cuadro de inicio con sólo una pierna ¡el robot estaba cojo! necesitábamos una muleta, la cual se consiguió aprovechando la base del giro y el giro para poder desplazar el robot, lo único malo es que los pasos eran cortos por lo que tomó mucho tiempo regresar, además de la secuencia de caminado era un poco difícil y llegaba a confundir haciendo perder más tiempo. Tiempo que nos faltó para completar la prueba.

4.1.10. Escalar

Después de dos pruebas erróneas, y sólo una prueba por completar, nuestras esperanzas disminuían pero la confianza que se tenía en el robot era mucho más, después de todo la tercera es la vencida, se sabía que las patas del robot no andaban del todo bien, les faltaba rigidez, razón por la cual había que tener mucho cuidado, principalmente por los pistones, si una pata se llegaba a doblar o por decirlo de otra forma si el robot se llegaba a abrir de piernas de un mismo lado, estaríamos doblando los vástagos, otro problema al que nos enfrentaríamos es al cambio de pendiente, ¿podría una pata cargar el peso de la mayor parte del robot? Y llegaríamos de nuevo al problema de los vástagos, aún así se atacó el problema teniendo en mente lo anterior.

Las patas del frente tenían precisamente en el frente una extensión del apoyo sólo que con 20° de inclinación y las patas traseras igual sólo que en la parte de atrás, creo que era necesario que esta extensión hubiera estado por los dos lados de un mismo pie, además de que el material que servía de suela al robot no fue lo suficientemente bueno para no permitir que se resbalara, gracias a que la misma falta de rigidez en la pata permitió que ésta se doblara para que el robot ya no resbalara, el robot ya no resbaló, ya que las patas traseras estaban cargando la mayor parte del peso del robot, ocasionando que ésta se doblara hacia adentro del cuerpo del robot.

Otro momento difícil fue el cambio de pendiente, ya que por poco se cae el robot, esto es debido a la pata delantera y trasera, no tenían alguna extensión de apoyo y prácticamente estaba apoyado del filo de la suela.

Al tener el robot en el otro plano inclinado las patas delanteras estaban sufriendo doble esfuerzo, esto es por la acción del peso, y por la acción dinámica. El efecto de esto repercutió en que se doblara una de las patas delanteras ocasionando que el paso ya no fuera completo, volviendo a dificultar su forma de caminar los últimos tres metros. Afortunadamente y con un tiempo de 9'50" se pudo completar esta prueba, terminando con tres pruebas aprobadas.

4.2. LOS DEFECTOS Y SUS CAUSAS

La siguiente tabla muestra los defectos que se presentaron en el transcurso de la competencia, así como su origen y sus causas.

Defecto	Origen	Causa
<ul style="list-style-type: none"> • Fuga de aire en un tanque 	Humano	<ul style="list-style-type: none"> • No traía el empaque el tanque • Se cayó el empaque
<ul style="list-style-type: none"> • Patas golpeando entre sí 	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto de cadera • Defecto de patas
<ul style="list-style-type: none"> • Manguera estrangulada 	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al movimiento de los actuadores
<ul style="list-style-type: none"> • Golpe entre guía de bolas y pata 	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto en cadera • Defecto en la pata

• Falta de altura de las patas	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto en cadera • La distancia entre apoyos del pistón nos es la especificada
• Falta de Aire	Humano	<ul style="list-style-type: none"> • No se cambiaron los tanques
• Fractura del pasador entre tubo giratorio y flecha	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Pasador muy pequeño
• Se desprende la manguera del conector de uno de los pistones	Humano	<ul style="list-style-type: none"> • La manguera estaba mal puesta • Se atoró la manguera con algo • Al momento de cargar el robot se tiró de la manguera
• Robot se resbala al estar apoyado en cuatro patas	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Material de la suela era muy liso • La base del apoyo está inclinada
• Robot se inclina en el cambio de pendientes	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de apoyo de la suela en la parte interior del robot
• Falta de rigidez en las patas	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto en el mecanismo de barras

Tabla 4.1 Defectos y causas que se presentaron durante la competencia.

En la tabla podemos apreciar tres tipos de defectos:

- Mecánicos.- Referentes a la fabricación
- Diseño.- Referentes a problemas de medidas en planos, tipos de material, etc.
- Humanos.- Referentes a errores cometidos por nosotros durante la competencia

Donde los principales defectos fueron de diseño, seguido por los mecánicos, y por último los humanos. Por lo que será necesario aprender de estos últimos y tratar de hacer un

rediseño de los otros dos. Los defectos de diseño y mecánicos son principalmente en las piernas y la cadera del robot por lo que se hará un análisis de estos elementos que conforman el robot.

4.3 ANALISIS DE LA CADERA

4.3.1 Sujeción de los Actuadores

La sujeción de los actuadores consiste de cuatro sujetadores, introducidos en las ranuras de los slides, también se utilizaron 2 separadores (bloques rectangulares) y se aprovechó la placa que cargaba el cuerpo del robot.

Para el análisis se empleó una tabla que se utiliza para el diseño de montaduras de piezas, la cual ayuda a ver que piezas están trabajando para sostener y restringir el movimiento de la pieza deseada.

Para ello veamos un ejemplo:

Se quiere sostener una pieza rectangular con dos agujeros, como la podemos ver en la figura 4.1

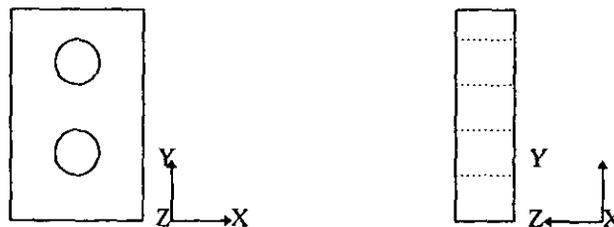


Figura 4.1 Piezas a sujetar

Como podemos ver la pieza está representada en un sistema coordenado, el cual utilizaremos para poder restringir la pieza

Para ello tenemos que llenar la siguiente tabla

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
X				
Y				
Z				

Donde el Desplazamiento representa la dirección en la cual se está moviendo la pieza en línea recta y va a depender del Eje ya sea X,Y, o Z, tienen dos tipos de Desplazamiento el positivo (+) y el negativo (-), que dependen si es hacia la parte positiva del eje cartesiano o negativa. El Momento representa si la pieza está girando con respecto a algún eje, y al igual que en el Desplazamiento va a tener sentido positivo (+) o negativo (-) de rotación.

Si apoyamos la pieza sobre su cara posterior en una mesa, implica que la pieza no se puede desplazar en Z- pero sí en los otros 5 movimientos (adelante, atrás, izquierda, derecha, arriba) para ello hay que encontrar la manera de que la pieza no pueda moverse en ninguna dirección.

Podemos atornillar la pieza a través de uno de los agujeros que tiene, por lo que ahora ya tenemos más Desplazamientos restringidos, aprovechando los costados del tornillo no se puede mover tanto en X+ como en X- así como en Y+ como en Y-, con la cabeza del tornillo ya no puede moverse en Z+, por lo que ya está restringido su movimiento, pero qué pasa con los Momentos; por la mesa en la que está apoyada no puede girar en los ejes X y Y, tanto positivos como negativos, pero si en el eje Z (suponiendo que no está muy apretada la pieza).

Para quitarle el giro en Z podemos poner un ángulo atornillado o remachado a la mesa, de tal manera que quede paralelo a una de sus caras, de preferencia la más larga, para tener una mayor superficie, o podemos atornillar la pieza en el otro agujero que tiene quitando de esta manera el giro en el eje Z.

Una vez que tenemos esto llenamos la tabla anterior y así sabemos qué elemento o pieza no está trabajando bien y en su defecto la forma de trabajar de cada una.

La tabla una vez llenada queda de la siguiente forma:

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
X	Tornillo 1 y 2	Tornillo 1 y 2	Mesa	Mesa
Y	Tornillo 1 y 2	Tornillo 1 y 2	Mesa	Mesa
Z	Tornillo 1 y 2	Mesa	Tornillo 1 y 2	Tornillo 1 y 2

Regresando con la fijación de los actuadores lineales; los cuales van a ser las piezas a restringir, por medio de 3 elementos diferentes, 4 sujetadores, 2 separadores y una placa atornillada a los slides (ver fig. 4.2).

Para ello se llenará una tabla de Desplazamientos y Momentos, de esta forma sabremos la forma de trabajar de cada pieza.

Para el llenado de la tabla se tomará al actuador izquierdo como una pieza fija en el espacio, mientras que el actuador derecho será el que hay que restringir su movimiento.

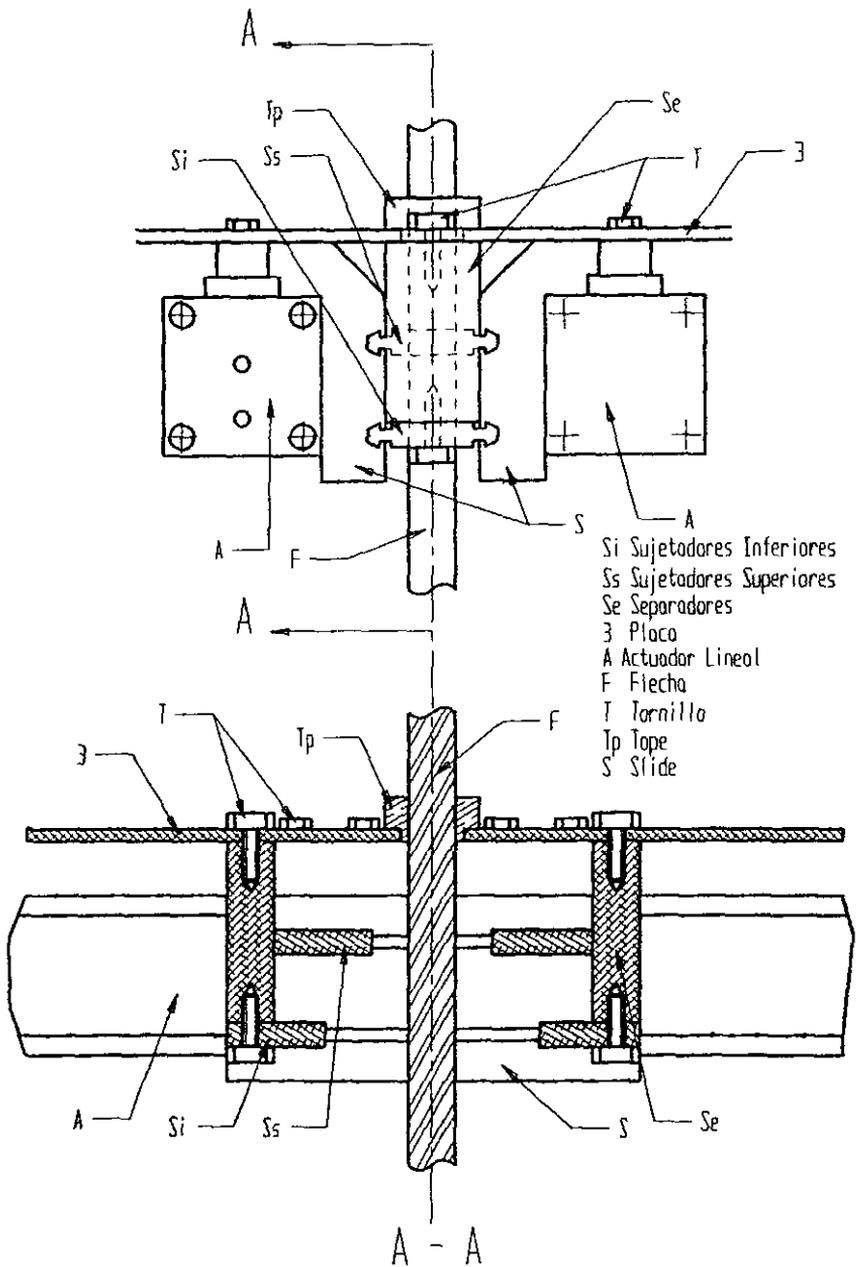


Figura 4.1 Fijación de la Cadera

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
x	Sujetadores, Placa Atomillada*	Separadores, Placa Atomillada*	Sujetadores Placa Atomillada	Sujetadores Placa Atomillada
y	Sujetadores Placa Atomillada*	Sujetadores Placa Atomillada*	Sujetadores Frontales Separador Posterior Placa Atomillada	Sujetadores Posteriores Separador Frontal Placa Atomillada
z	Placa Atomillada	Placa Atomillada	Sujetadores Inferiores Placa Atomillada*	Separadores Placa Atomillada*

Tabla 4.2 Piezas que intervienen para evitar el desplazamiento y giro de los slides

De la tabla 4.2 podemos obtener datos de cómo están trabajando las piezas, (tensión, compresión, cortante, flexión o torsión). La tensión y compresión la podemos ver de las piezas en estén en el desplazamiento positivo y negativo respectivamente. El cortante lo obtenemos de la forma de desplazarse de dos piezas. La flexión y la torsión la obtendremos del momento, y va a depender de la forma, espesor y orientación de la pieza.

La forma de trabajar de cada pieza la llenaremos en una tabla para el Desplazamiento y en otra para el Momento. La tabla tiene una columna en la cual se mencionará el problema que se presentaría en el caso de que se llegue a presentar el Desplazamiento o el Momento.

* La placa puede ayudar a evitar algunos de los Desplazamientos dependiendo de la holgura de los agujeros para los tornillos, en el caso del momento en Z+ puede actuar como punto de giro.

Desplazamiento			
Eje	Pieza	Forma de trabajo	Error o defecto
x+	Sujetadores Placa Atornillada	Tensión	• Los sujetadores lo impiden
x -	Separadores Placa Atornillada	Compresión	• Los separadores lo impiden
y+	Sujetadores Placa Atornillada	Cortante	• No existe
y -	Sujetadores Placa Atornillada	Cortante	• Pierna se llega a colgar
z+	Placa Atornillada	Cortante	• La placa atornillada lo impide
z -	Placa Atornillada	Cortante	• La placa atornillada lo impide

Tabla 4.3 Análisis del Desplazamiento

Momento			
Eje	Pieza	Forma de trabajo	Error o defecto
x+	Sujetadores Placa Atornillada	Torsión	• Las piernas se llegan a inclinar

x -	Sujetadores Placa Atornillada	Torsión	<ul style="list-style-type: none"> Las piernas se llegan a inclinar
y+	Sujetadores Frontales, Separadores Posteriores Placa Atornillada	Tensión Compresión Flexión	<ul style="list-style-type: none"> Las piernas pueden golpear entre sí Problema de paralelismo Es muy difícil, ya que la placa lo impediría, y dependería de la holgura de los agujeros para los tornillos
y -	Separadores Frontales Sujetadores Posteriores Placa Atornillada	Compresión Tensión Flexión	<ul style="list-style-type: none"> Las piernas pueden golpear entre sí Problema de paralelismo Es muy difícil, ya que la placa lo impediría, y dependería de la holgura de los agujeros para los tornillos
z+	Sujetadores Inferiores Placa atornillada	Tensión Compresión	<ul style="list-style-type: none"> No importa ya que no se da
z -	Separadores Placa Atornillada	Compresión Tensión	<ul style="list-style-type: none"> Las piernas pueden llegar a golpear entre sí

Tabla 4.4 Análisis del momento

De las tablas anteriores deducimos que el Desplazamiento crítico o no recomendable es cuando las piernas se llegan a colgar y esto ocurre en Y-, pero esto no afectaría a la forma de caminar del robot, solamente si se quisiera pasar algún objeto de menos 0.2m de alto, que es la altura a la que está el pie cuando éste está recogido.

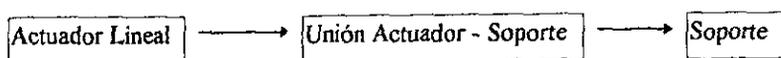
El momento crítico será en X+, X-, y Z-, ya que X+ y X- son los responsables de que las piernas se cuelguen, y Z- de que las piernas lleguen a golpear entre sí; esto siempre y cuando los pistones estén perfectamente alineados uno con el otro. Como en el caso anterior los Momentos en X no afectan la forma de caminar del robot, salvo si es necesario pasar algún objeto de menos de 0.2m de alto.

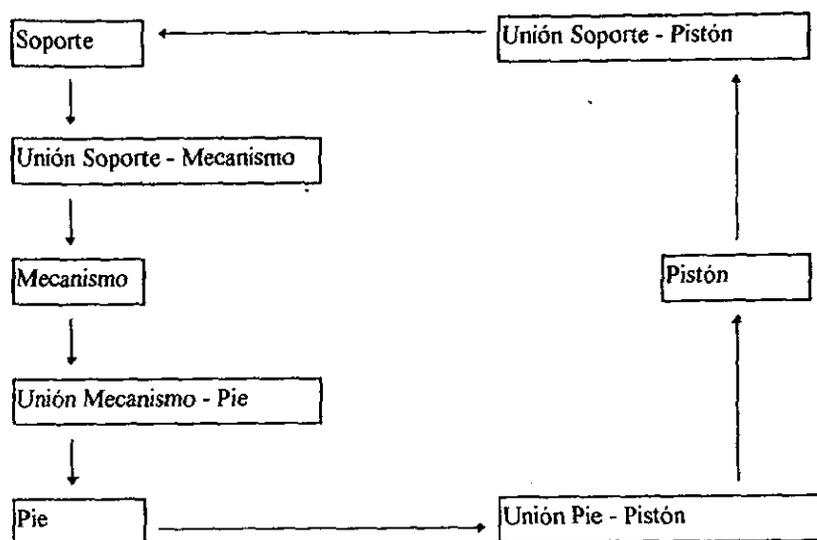
Por lo que el momento que hay que tener mucho cuidado en con Z-, ya que con éste, el robot sí se ve afectado al caminar, al interponerse la pata recogida con la pata apoyada. Impidiendo que se pueda dar un paso completo.

4.4 ANALISIS DE LA PATA

La pata está compuesta de cuatro elementos y cinco uniones que en conjunto forman la pata o apoyo del robot.

El ensamble está hecho de la siguiente forma:





Para poder entender la manera de actuar de este mecanismo vamos a analizar cada una de las fijaciones; los elementos los analizaremos más adelante en la sección de elemento finito.

4.4.1 Fijación Actuador lineal - Placa soporte

Esta unión consiste en una brida como se muestra en la figura 4.3

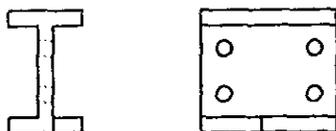
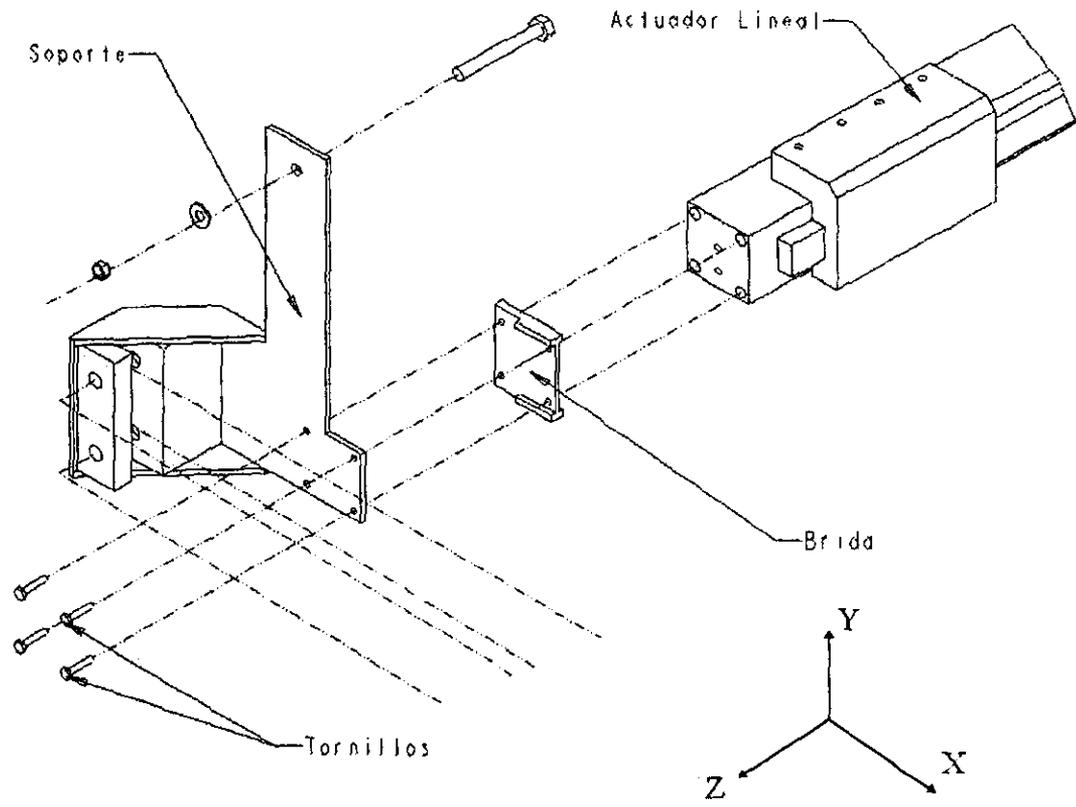


Figura 4.3 Brida utilizada en la unión del actuador lineal con el soporte.

Esta pieza, como la podemos apreciar, por uno de sus lados embona en el extremo del actuador, y el otro lado embona en el soporte, el cual se atornilla al actuador, como se ve en la figura 4.4

Figura 4.4 Fijación del Soporte con el Actuador Lineal por medio de la Brida



Para poder entender cómo está trabajando la unión, hacemos un análisis de Desplazamiento y Momento, como se hizo en el apartado anterior. Y tomamos el actuador lineal como pieza fija en el espacio, y el soporte será la pieza a restringir su movimiento.

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
X	Tornillo	Tornillo	Tornillo	Tornillo
Y	Brida	Brida	Tornillo	Tornillo
Z	Tornillo	Tornillo	Brida	Brida

Tabla 4.5 Piezas que intervienen en la fijación Actuador - Soporte

Existen sólo dos piezas para permitir unido el actuador al soporte, una de ellas ya la habíamos mencionado; la brida; la otra son cuatro tornillos. Veamos ahora qué pasa con cada una de las piezas en un análisis individual de Desplazamiento y Momento

Desplazamiento			
Eje	Pieza	Forma de Trabajo	Erorro Defecto
X	Tornillo	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • X+ pueden llegar a golpear las patas, pero el tornillo lo impediría.
Y	Brida	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • La brida lo impide
Z	Tornillo	Tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Los tornillos lo impiden

Tabla 4.6 Análisis de la Posición de la fijación Actuador - Soporte

Momento			
Eje	Pieza	Forma de Trabajo	Error o Defecto
x	Tornillo	Flexión	• El tornillo lo impide
y	Tornillo	Flexión	• El tornillo lo impide
z	Brida	Torsión	• El soporte se gira provocando que las patas puedan golpear entre si

Tabla 4.7 Análisis del momento de la fijación Actuador - Soporte

De las tablas 4.6 y 4.7 podemos deducir que los Desplazamientos críticos son en X+ haciendo que las patas lleguen a golpear entre sí. Pero esto es difícil de que llegue a pasar ya que el tornillo lo impediría

Los momentos críticos a los que este sometida principalmente es en el momento en Z ya que es el responsable de que el robot tenga problemas al caminar haciendo que las patas golpeen entre sí.

4.4.2 Fijación Soporte - Mecanismo

Esta fijación consiste de un eje embonado a un buje el cual está introducido en una pieza llamada bisagra que forma parte del soporte, esto por la parte del soporte y por la parte del mecanismo el eje va embonado con las soleras de éste, y para que no se salgan las soleras se utilizan tuercas con nylon. (Ver fig. 4.5) La tabla de Desplazamientos y Momentos queda de la siguiente manera.

En este caso se toma la bisagra como pieza fija en el espacio, mientras que las soleras del mecanismo son las que hay que restringir.

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
x	Eje	Eje	No existe	No existe
y	Eje	Eje	Eje	Eje
z	Tuerca	Tuerca	Existe	Existe

Tabla 4.8 Piezas que intervienen en la fijación Soporte - Mecanismo

Analicemos el comportamiento por separado de esta pieza

Posición			
Eje	Pieza	Forma de Trabajo	Error o Defecto
x	Eje	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • El eje lo impide
y	Eje	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • El eje lo impide
z	Tuerca	Tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Se hace difícil el giro del mecanismo si se llega a apretar demasiado la tuerca. • Si la tuerca está muy floja el mecanismo presenta falta de rigidez.

Tabla 4.9 Análisis de la Posición de la fijación Soporte - Mecanismo

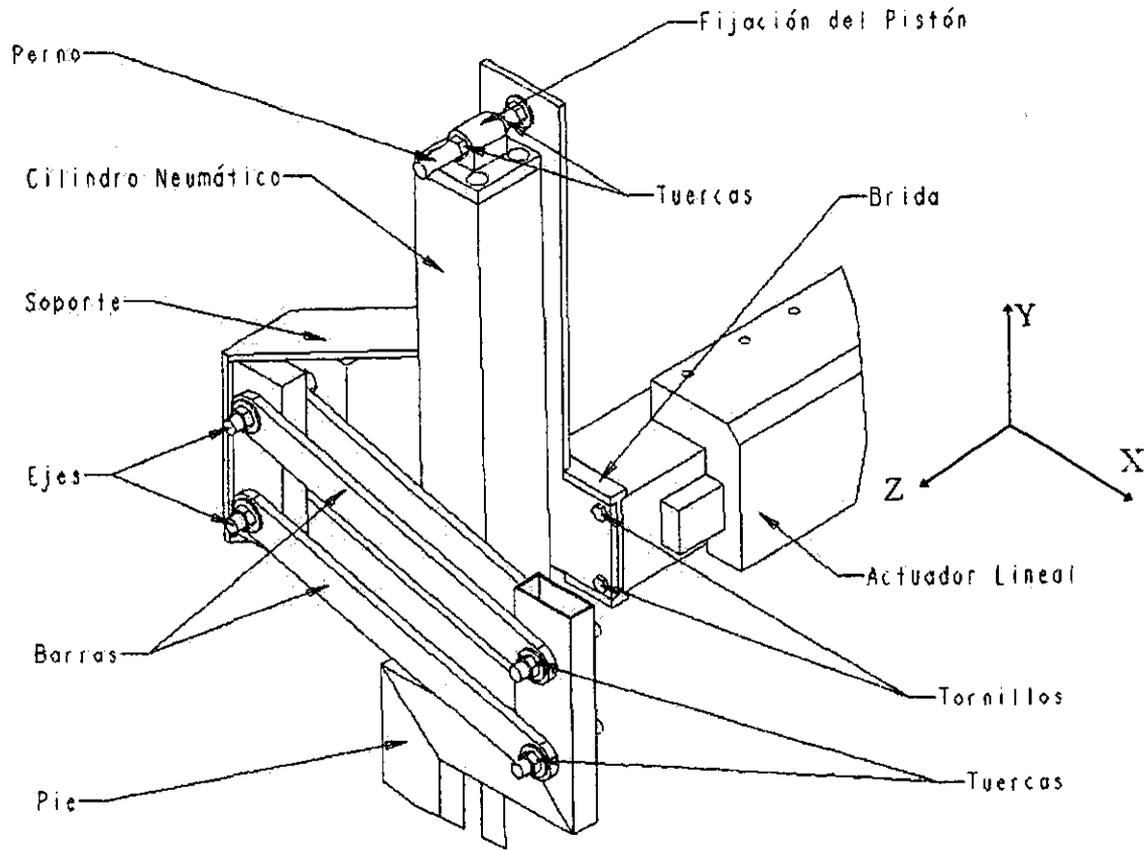
Momento			
Eje	Observación	Forma de Trabajo	Error o Defecto
x	No existe		<ul style="list-style-type: none"> • Es muy difícil que se llegue a dar
y	Eje		<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta cuando se tiene juego en el ajuste de las barras del mecanismo. Provocando la falta de rigidez en las patas
z	Existe		<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario para el giro

Tabla 4.10 Análisis del Momento de la fijación Soporte - Mecanismo

De las tablas 4.9 y 4.10 podemos deducir que el eje es una pieza muy delicada, ya que embona en un buje que tienen la bisagra, y debe de tener un ajuste el cual permita el giro, si este ajuste es muy pequeño no se logrará un buen giro, y si es muy grande la pieza presentará juego. Por otro lado también embona en una de las barras, con un ajuste, el cual va impedir que se presenten juegos, para que de esta forma la pata no esté falta de rigidez.

Como vemos el eje es una pieza de suma importancia ya que de ella depende el buen funcionamiento del mecanismo, así como de la pata dándole rigidez y de esta forma obtener un paso más rígido.

Figura 4.5 Fijación del Soporte - Mecanismo, Mecanismo - Pie y Fijación del Pistón - Soporte



4.4.3 Fijación Mecanismo - Pie

De forma parecida sucede aquí, sólo que hay que tener cuidado con el pie ya que éste es hueco y puede desacomodar la posición del buje, ya sea sacándolo de su lugar o enchucándolo, haciendo que el pie no trabaje bien.

4.4.4 Fijación Pie - Pistón

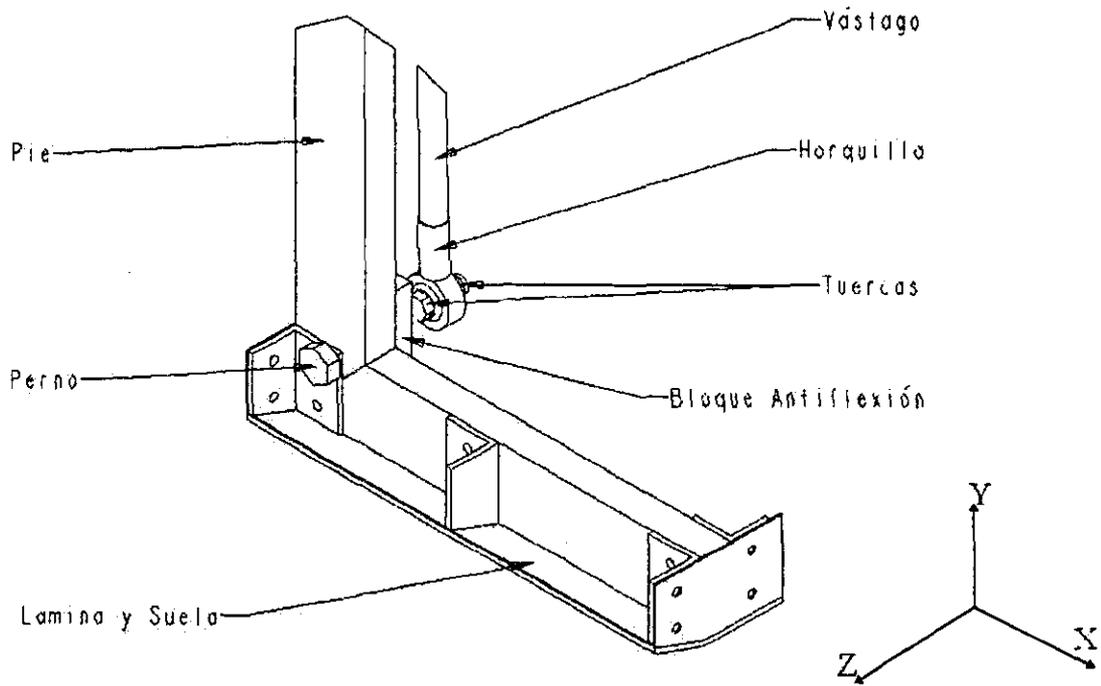
La fijación del pistón consiste en una horquilla tipo SGS-M 10X1, 25 la cual tiene $\pm 7^\circ$ de giro, ésta está atornillada al vástago del pistón, la horquilla se introduce en un perno de $3\frac{1}{2}$ " de largo, se colocan tuercas entre la horquilla para impedir que se desplace. Como lo podemos apreciar en la figura 4.6

Para el análisis de Desplazamientos y Momentos se utilizará el pie como pieza fija en el espacio y el pistón como pieza a restringir

Eje	Desplazamiento		Momento	
	+	-	+	-
x	Perno	Perno	Existe $+7^\circ$	Existe -7°
y	Perno	Perno	No existe	No existe
z	Tuercas	Tuercas	Existe	Existe

Tabla 4.11 Piezas que intervienen en la fijación Pie - Pistón

Figura 4.6 Fijación Pie - Pistón



Desplazamiento			
Eje	Pieza	Forma de Trabajo	Error o Defecto
x	Perno	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • El perno lo impide
y	Perno	Cortante	<ul style="list-style-type: none"> • El perno lo impide
z	Tuercas		<ul style="list-style-type: none"> • Puede provocar desplazamiento si están las tuercas muy separadas.

Tabla 4.12 Análisis de la Posición de la fijación Pic - Pistón

Momento			
Eje	Observación	Forma de Trabajo	Error o Defecto
x	Existe		<ul style="list-style-type: none"> • Es provocado por la horquilla • Evita que el vástago se llegue a flexionar • Le quita rigidez a la pata
y	No existe		<ul style="list-style-type: none"> •
z	Existe		<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario para el giro

Tabla 4.13 Análisis del momento de la fijación Pic - Pistón

De las Tablas 4.12 y 4.13 vemos que una pieza que se pensaba que solucionaría un problema de flexión en el vástago del pistón, provocaría otro problema, le quitaría rigidez a la pata; como se verá más adelante en la sección de elemento finito.

4.4.5. Fijación Pistón - Soporte

Esta unión consiste de un perno como de unas 3½" de largo, atornillado con rondanas de presión y contratuerca en la parte alta del soporte, y por otro lado el pistón tenía su fijación especial tipo SNGL-32 la cual se introducía al perno, se le ponía una tuerca al principio y final de la fijación del pistón, con el objeto de que no se recorriera.

Para no entrar en un análisis profundo se requiere que el pistón pueda girar libremente y que el mismo no se desplace sobre el perno. (Ver figura 4.5)

4.5 ANALISIS DEL ACTUADOR LINEAL

Los actuadores lineales son los responsables de producir el movimiento relativo entre las piernas del robot, por lo que también son responsables de las fuerzas dinámicas que se produzcan en ellas, para ello veremos el comportamiento de un actuador lineal; un poco idealizado ya que es muy difícil de considerar todos los factores que intervienen.

Como se sabe se tienen tres etapas de dependiendo de la velocidad y/o aceleración las cuales son:

- Etapa de aceleración ($a = \text{cte}$; $v = \text{variable}$)
- Etapa de velocidad constante ($a = 0$; $v = \text{cte}$)
- Etapa de desaceleración ($a = - \text{cte}$; $v = \text{variable}$)

De esta manera el comportamiento del pistón es como lo muestra la siguiente gráfica:

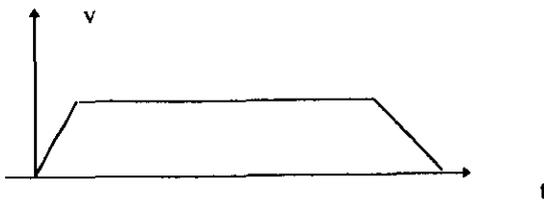


Figura 4.7 Comportamiento ideal de un pistón

Por lo que en cada etapa haremos un pequeño análisis

4.5.1 Etapa de aceleración

Cuando un cuerpo está acelerado, es decir, cuando la magnitud o la dirección de su velocidad cambia, es necesario usar la segunda ley de Newton para relacionar el movimiento del cuerpo con las fuerzas que actúan sobre él. [2]

Segunda Ley de Newton del movimiento. Si la fuerza resultante que actúa sobre una partícula es distinta de cero, la partícula tendrá una aceleración proporcional a la magnitud de la resultante y en la dirección de esta fuerza resultante.

$$\frac{F}{a} = \text{constante}$$

El valor constante obtenido para la razón entre las magnitudes de las fuerzas y las aceleraciones es una característica de la partícula en consideración. Se le llama masa de la partícula y se representa por m . Cuando una partícula de la masa m está sujeta a una fuerza F , esta fuerza y la aceleración a de la partícula deben satisfacer la relación

$$F = ma$$

Esta expresión proporciona una formulación completa de la segunda Ley de Newton; expresa no sólo que las magnitudes de F y a son proporcionales, sino también (como m es escalar positivo) que los vectores F y a tienen la misma dirección.

Se tiene el modelo

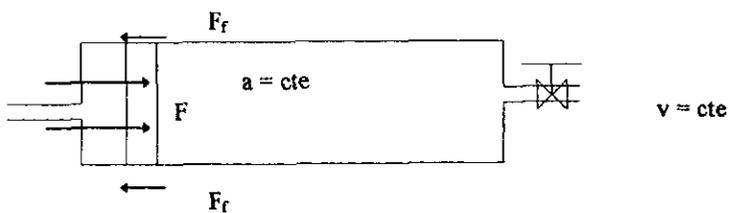


Figura 4.8 Fuerzas que intervienen en el desplazamiento del émbolo de un pistón

Donde :

F = Fuerza neumática

F_f = Fuerza de fricción es igual al 10% del la fuerza neumática

v = Depende de el regulador de caudal

Para poder resolver este problema es necesario proponer un valor a la velocidad, esta velocidad será la que se quiera en que trabaje el émbolo del pistón. La velocidad del émbolo estará en función del caudal de salida.

La fuerza neumática es:

$$F = PA = P \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$F = (6bar) \left(\frac{\pi (0.04m)^2}{4} \right)$$

$$F = 753.98N$$

De esta forma se tiene:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{753.98N - 0.1 \cdot (753.98)}{50Kg}$$

$$a = 13.57 \cdot m/s^2$$

El valor de la masa de 50 Kg, es considerando que está apoyado en una sola pierna, la que estamos analizando.

El movimiento rectilíneo uniformemente acelerado es un movimiento donde la aceleración a de la partícula es constante.

Se tiene que

$$a = \frac{dv}{dt} = \text{constante}$$

La velocidad v de la partícula se obtiene integrando esta ecuación

$$\int_{v_0}^v dv = a \int_0^t dt$$

$$v - v_0 = at$$

$$v = v_0 + at$$

donde v_0 es la velocidad inicial. Se tiene que

$$v = \frac{dx}{dt}$$

sustituyendo este valor de v e integrando se obtiene

$$\frac{dx}{dt} = v_0 + at$$

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t (v_0 + at) dt$$

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

donde x_0 sea el valor inicial de x .

Como la velocidad del actuador lineal estaba delimitada por el regulador de caudal, entre un valor de 0.3 y 0.4 m/s, podemos conocer el tiempo que tarda el actuador en acelerar

$$\begin{aligned}v &= v_0 + at \\ .35 \frac{m}{s} &= 13.57 \frac{m}{s^2} \cdot t \\ t &= 0.026 \text{seg}\end{aligned}$$

La posición recorrida será entonces:

$$\begin{aligned}x &= x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ x &= \frac{1}{2} \cdot 13.57 \frac{m}{s^2} \cdot 0.026s^2 \\ x &= 0.0046m = 0.46cm\end{aligned}$$

4.5.2 Etapa de velocidad constante o movimiento rectilíneo uniforme.

En este movimiento la aceleración a de la partícula es cero para cualquier valor de t , por lo consiguiente, la velocidad v es constante y no existe fuerza alguna.

Para poder conocer el tiempo que tarda el émbolo en recorrer la mayor parte del actuador es necesario conocer la posición a la que llegará, la cual estará determinada por el freno neumático que se tiene en el actuador, esta distancia es de 0.03 m antes de llegar al final de la carrera, por lo tanto, si el actuador tiene una carrera de 0.5 m la posición final será de 0.47 m.

Se tiene lo siguiente

$$v = \frac{dx}{dt} = \text{constante}$$

$$\int_{x_0}^x dx = v \int_{0.026}^t dt$$

$$x - x_0 = v(t - 0.026)$$

$$0.470m - 0.0046m = 0.35\% (t - 0.026s)$$

$$t = 0.026s + \frac{0.470m - 0.0046m}{0.35\%}$$

$$t = 1.36\text{seg}$$

Aunque matemáticamente no exista una fuerza, ésta está presente y es igual al valor de la resistencia que nos pone el émbolo en su movimiento.

Si el émbolo se llega a detener en algún punto donde la velocidad es contante, la velocidad del émbolo es cero instantáneamente por lo que se tiene una desaceleración muy grande en un tiempo que tiende a cero, pero en la realidad se tiene un flujo compresible, lo que nos da la ventaja de amortiguar la velocidad del émbolo, esto es por que la densidad del flujo de salida es diferente al de entrada, y en el momento de cerrar las dos válvulas, el sistema se tiene que mantener en equilibrio, éste se logra desplazando unos milímetros el émbolo.

Para tener una idea de las magnitudes tanto de la desaceleración como de la fuerza que se produce se tiene lo siguiente:

$$a = -\frac{v}{t}$$

$$a = \frac{0.35 \text{ m/s}}{0.01 \text{ s}}$$

$$a = 35 \text{ m/s}^2$$

Se propone el tiempo de 0.01seg, pero en realidad no se sabe en cuánto tiempo se desacelera el émbolo.

$$F = ma$$

$$F = 50 \text{ kg} \cdot 35 \text{ m/s}^2$$

$$F = 1750 \text{ N}$$

4.5.3 Etapa de desaceleración

Esta etapa es un poco más de prueba y error, ya que depende de la amortiguación neumática como se vio anteriormente; en el momento que se deje de oír el golpe del metal, así como procurar de que se llegue a completar la carrera. Para ello se tiene que calcular el tiempo en el que se recorren los 30mm tomando en cuenta que al final de la carrera la velocidad será de cero. Se tiene:

$$v = v_0 + at$$

$$-v_0 = at$$

Sustituyendo en la ecuación de posición

$$x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} v_0 t$$

$$x = x_0 + \frac{1}{2} v_0 t$$

$$t = \frac{2(x - x_0)}{v_0}$$

$$t = \frac{2(0.5m - 0.47m)}{.35 \text{ m/s}}$$

$$t = 0.17 \text{ seg}$$

El tiempo total en el que tarda el pistón en recorrer la carrera completa es de

$$t = 1.36s + .17s$$

$$t = 1.53 \text{ seg}$$

Por lo tanto la aceleración la podemos despejar de la ecuación de velocidad y se obtiene

$$a = -\frac{v_0}{t}$$

$$a = -\frac{0.35 \text{ m/s}}{.17s}$$

$$a = -2.05 \text{ m/s}^2$$

La fuerza se calcula como sigue:

$$F = ma$$

$$F = 50 \text{ kg} \cdot -2.05 \text{ m/s}^2$$

$$F = -102.5 \text{ N}$$

Es muy probable que estos amortiguadores no estuvieran bien calibrados y se producían golpes ocasionando de esta manera una aceleración mayor a la calculada y provocando así un incremento considerable en el valor de la fuerza.

El comportamiento del pistón se muestra en las figuras 4.9, 4.10 y 4.11

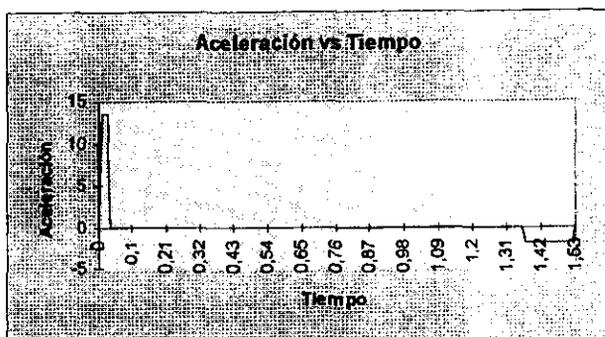


Figura 4.9 Comportamiento del pistón Aceleración vs Tiempo

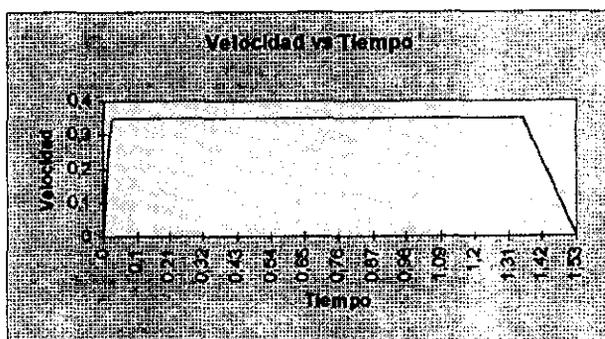


Figura 4.10 Comportamiento del pistón Velocidad vs Tiempo

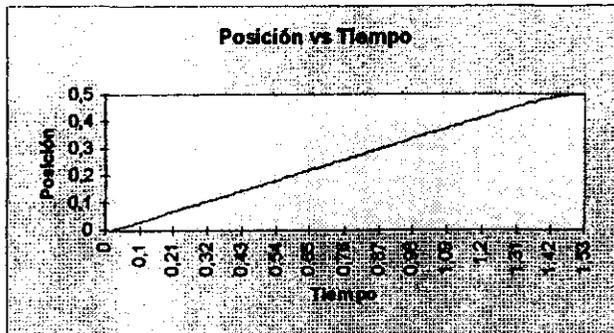


Figura 4.11 Comportamiento del pistón Posición vs Tiempo

4.6 SIMULACION

El objetivo de la simulación es poder hacer una predicción de lo que puede pasar o en nuestro caso de lo que pasó. Para ello se harán dos tipos de simulaciones:

- Dinámicas
- De Elemento Finito

4.6.1 Simulación Dinámica

Para la simulación dinámica se utilizó Working Model V2.0 en su versión para estudiantes. A este programa se le pasó un archivo de dibujo de Cadkey, del modelo a simular. Ya en el programa de simulación; el dibujo se modificó definiendo áreas y no líneas; estas áreas se manejan como cuerpos y se le definieron sus propiedades, como velocidad inicial, peso, coeficiente de fricción, su centro de gravedad, entre otros.

Con la simulación dinámica podremos obtener valores de fuerzas, posición, velocidad y aceleración para cada instante en que éste esté funcionando.

Los valores que se obtendrán serán utilizados en el programa de elemento finito donde podremos apreciar las deformaciones del modelo simulado.

Como el programa trabaja en dos dimensiones se utilizó el frente del robot como modelo a simular, en este modelo lo que se pretende encontrar es el valor de la torsión que sufre la pierna. El modelo simulado es el siguiente:

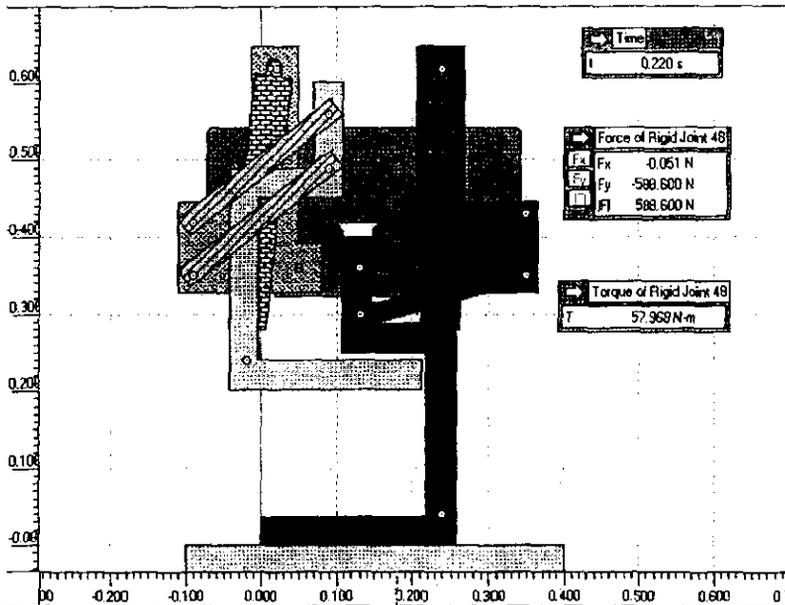


Figura 4.12 Modelo utilizado en Working Model, Frente del robot

Se obtiene aquí un valor de torsión de aproximadamente 58 Nm. Los valores de las fuerzas en “Y” se obtienen de un modelo del costado del robot, estas fuerzas son variables con la posición del cuerpo y de las piernas. (Ver fig. 4.12 y 4.13)

Los valores que se obtuvieron van desde los 100 N hasta casi los 600 N.

4.6.2 Simulación en elemento finito (ANSYS)

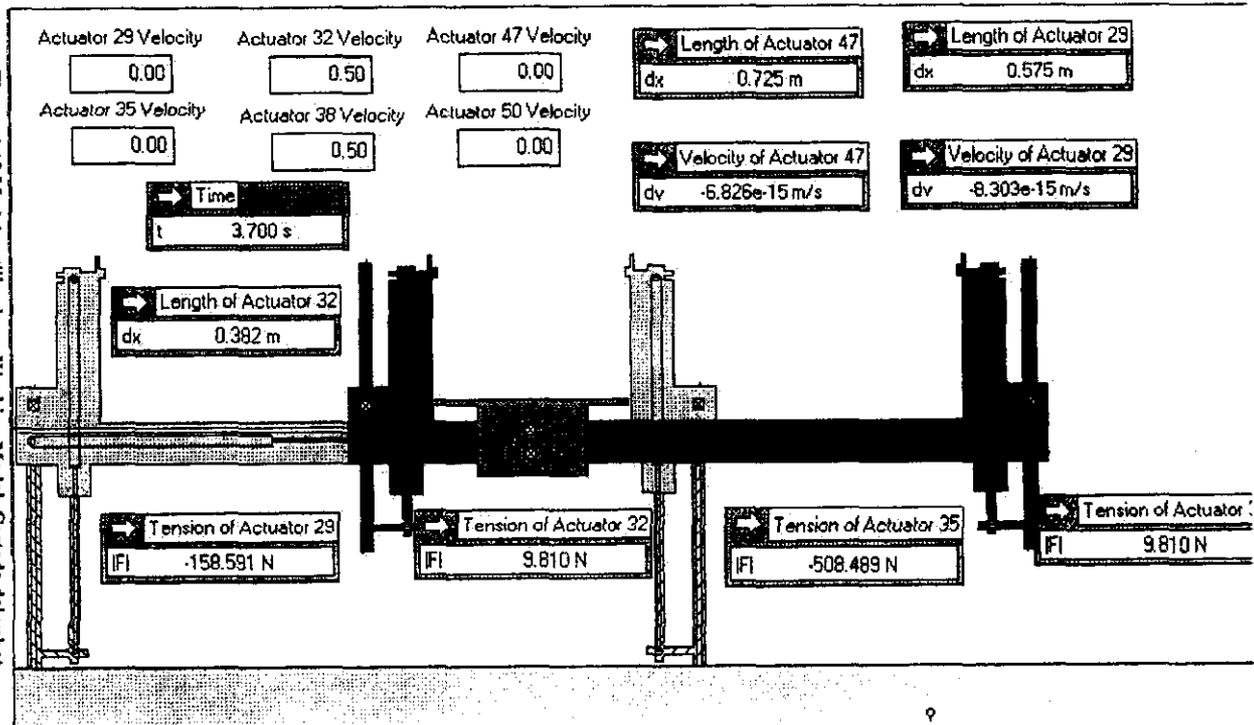
Con el fin de poder conocer las deformaciones y esfuerzos a la que esta sometida una de las patas del robot se utilizó un programa de elemento finito; ANSYS versión 5.0; y con ayuda de Pro Engineer 18 se logró hacer un modelo adecuado para la simulación en ANSYS.

Con el análisis previo que se tiene ya nos podemos formar una idea de lo que está pasando, como sabemos los errores se suman, pero no sabemos exactamente de qué manera lo estén haciendo

4.6.2.1 ¿Que es el Análisis de Elemento Finito?

El Análisis de Elemento Finito (FEA Finite Element Analysis) es la técnica numérica utilizada en computadora para calcular la fortaleza y comportamiento de estructuras ingenieriles. Puede ser usado para calcular deflexiones, esfuerzos, vibraciones, y otros tipos de fenómenos. Puede ser usado también para analizar pequeñas o grandes deflexiones bajo cargas o desplazamientos aplicados. Puede analizar deformación elástica, o permanente, deformación plástica. La computadora es requerida por la inmensidad de los números de los cálculos necesarios para analizar grandes estructuras.

Figura 4.13 Modelo utilizado en Working Model, Costado del robot



En el método de elemento finito, una estructura es cortada en diminutos bloques o elementos. El comportamiento de un elemento individual puede ser descrito con una serie de ecuaciones. De la misma manera en que todos los elementos se unen para construir toda la estructura, las ecuaciones también se unen describiendo el comportamiento de elementos individuales estas ecuaciones también son unidas en una serie más complicada de ecuaciones que describen el comportamiento de toda la estructura. La computadora puede resolver esta complicada serie de ecuaciones simultáneas. Desde la solución, la computadora extrae el comportamiento de cada elemento. De esta manera, puede obtener el esfuerzo de deflexión de todas las partes de la estructura. Los esfuerzos pueden ser comparados con valores de esfuerzo permitidos de los materiales que serán usados, para ver si la estructura es lo suficientemente resistente.

El análisis de elemento finito hace posible evaluar una detallada y complicada estructura, en una computadora, durante el desarrollo de la misma.

Antes de que existiera el análisis de elemento finito, de desarrollo de estructuras debían hacerse los cálculos a mano. Para complicadas estructuras, era necesario tomar algunas decisiones lo que resultaba en un diseño muy pesado. Y un factor de ignorancia se hacía presente para saber si la estructura era adecuada para todas las condiciones de carga. Es por ello que se requerían de construir prototipos y hacer pruebas de campo. Resultando bastante caro. El análisis de elemento finito puede justificar su inversión.

Con el análisis, el peso de un diseño puede ser minimizado, y puede haber una reducción en el número de prototipos para construir. Las pruebas de campo serán usadas para

establecer cargas en estructuras, las cuales podrán ser usadas para diseños futuros utilizando esta técnica el análisis de elemento finito.

4.6.2.2 Preparación del modelo en ANSYS

Como se mencionó anteriormente se utilizó Pro Engineer para la realización del modelo *partiendo del ensamble de la pierna*, este ensamble se modificó, para dejar un modelo más simple sin tantos detalles, además se le agregaron los datos necesarios para la realización de la simulación como son:

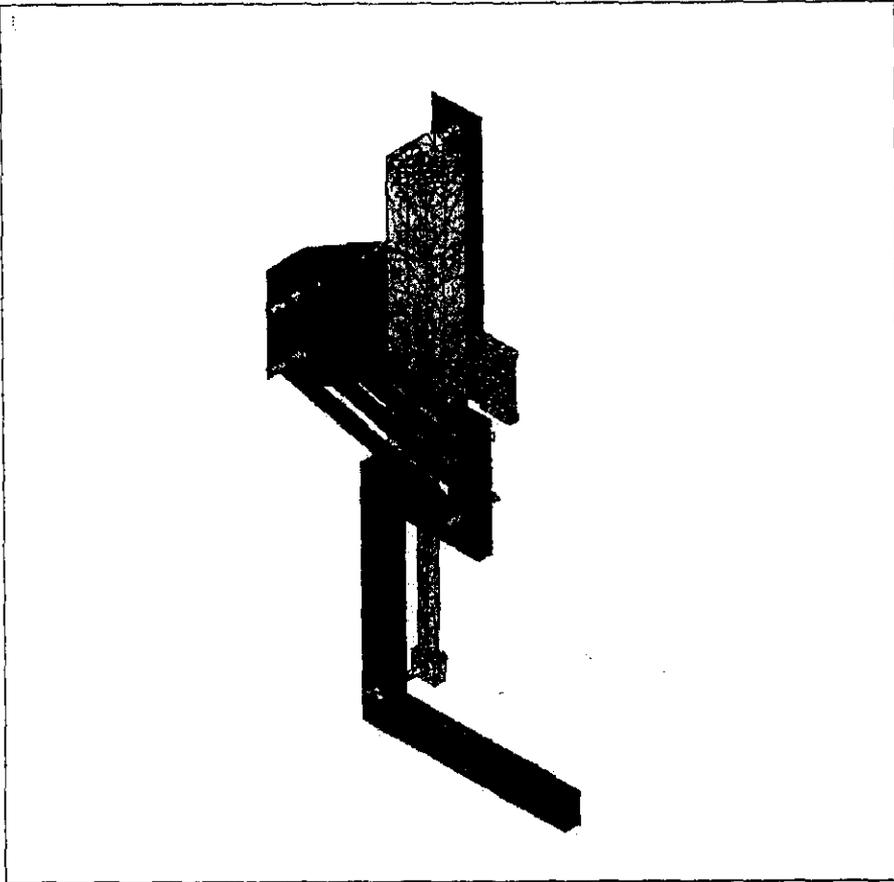
- Fuerza(s) que actúa(n)
- Momento(s) que actúa(n)
- Sujeción
- Tipo del material (módulo de elasticidad, módulo de Poisson)
- Características del Material (lamina, sólido, etc.)

Este modelo es una representación de la pierna por lo que no es necesario que esté muy detallado, ya que entre más detalles tenga o se necesitará mas tiempo para la simulación.

Por otra parte; si se quiere hacerla lo mas exacta posible, como definir contactos entre elementos; (ya sea una solera del mecanismo y un eje); tomará mas tiempo la creación del modelo, es por ello que hay que tener en cuenta, los parámetros ideales que se tomen.

El modelo que se simulará es como se muestra en la figura 4.14

Figura 4.14 Modelo utilizado en el análisis de elemento finito (ANSYS)



```
ANSYS 5.5.1  
JAN 8 1999  
12:45:45  
ELEMENTS  
TYPE NUM  
  
XV =1  
YV =1  
ZV =1  
DIST=40.462  
XF =13.781  
YF =-12.219  
ZF =6.001  
Z-BUFFER
```

Es necesario mencionar que la pata (modelo) se encuentra en movimiento en la realidad por lo que se tienen cuatro situaciones

- Pata delantera, sin carga, robot estático
- Pata delantera, sin carga, robot en movimiento
- Pata delantera, con carga, robot en movimiento
- Pata delantera, con carga, robot estático.

Al referirnos que el robot tienen o no carga es dependiendo de la posición del cuerpo, como se vio antes éste se desplaza, provocando que las patas carguen más o menos peso.

Esto es solamente para la pata delantera, la pata trasera también tendrá que ser analizada, por lo que se tendrán ocho casos para el mismo modelo.

Los valores que se le introdujeron al modelo fueron:

- Fuerza - $F_x=0$ F_y , F_z , En el centro de la brida
- Momento $M_y=58$ Nm En el centro de la brida
- Sujeción. - Está sujeta en los seis posibles movimientos, en la base del pie

Los valores de Fuerza en Y y en Z son tomados de la tabla 4.14 dependiendo del caso que se quiera.

Caso	Situación	Fuerza en Y	Fuerza en Z
1.	Delantera, s/carga, Estático	- 150 N	0 N

2.	Delantera, s/carga, Dinámico	- 150 N	754 N
3.	Delantera, c/carga, Dinámico	- 550 N	754 N
4.	Delantera, c/carga, Estático	- 550 N	0 N
5.	Trasera, s/carga, Estático	- 150 N	0 N
6.	Trasera, s/carga, Dinámico	- 150 N	- 754 N
7.	Trasera, c/carga, Dinámico	- 550 N	- 754 N
8.	Trasera, c/carga, Estático	- 550 N	0 N

Tabla 4.14 Valores de las Fuerzas para modificar en cada caso

Revisando la tabla 4.14 se nota que en realidad son sólo 6 los casos a simular, ya que el caso 1 es igual al 5 y el caso 4 es igual al 8.

Hay uniones en el diseño que son rígidas y otras que tienen una pequeña holgura, las cuales para definir las en el modelo tomaría mucho tiempo, para ello veamos qué uniones son rígidas en nuestro diseño.

Nombre de la unión	Descripción	Rigidez en el Diseño
Soporte - Mecanismo	Eje atornillado	Existe holgura, no se tiene el ajuste deseado
Mecanismo - Pie	Eje Atornillado	Existe holgura, no se tiene el ajuste deseado
Pie - Pistón	Perno empotrado	Existe holgura, se tiene una unión esférica.
Pistón - Soporte	Perno empotrado	Existe holgura, la cual se evita poniendo

		<p>dos tuercas, un al principio y otra al final de la fijación del pistón, impidiendo que se desplazara, pero si que pueda girar</p>
--	--	--

Tabla 4.15 Rigidez que se tiene en la realidad del modelo a simular

4.6.2.3 Resultados

Los resultados obtenidos en la simulación, no son del todo correctos; como se mencionaba anteriormente; ya que se consideraron ciertas idealizaciones las cuales son:

- La unión entre Soporte - Mecanismo y entre Mecanismo - Pie se consideraron con un ajuste rígido
- La unión entre Pie - Pistón se consideró que no tenía una unión esférica.

Tomando estas idealizaciones se tienen los siguientes resultados: Ver Fig. 4.16 a 4.21

Mecanismo.-

- El mecanismo se flexiona, siendo el principal causante de la falta de rigidez de la pierna.
- Existe torsión

Pie.-

- Existe una pequeña concentración de esfuerzos en la parte inferior del apoyo.

Pistón.-

- El pistón al estar restringido en su movimiento con el soporte, tiene que seguirlo, provocando de esta manera una flexión al vástago del pistón. El cual con la unión esférica disminuye la flexión, pero provoca otro problema. El que las patas de la misma pierna se separen, dando origen a la falta de rigidez.

Antes de dar un diagnóstico del soporte trabajando en conjunto se va a hacer un análisis por separado de los 6 casos que se mencionaron anteriormente. Tomando como modelo la figura 4.15

Los resultados a los que se llegó fueron: (Ver fig. 4.22 a 4.27)

- El soporte presenta una flexión en la cara donde se atornilla con el actuador lineal
- La extensión del soporte que soporta y sirve de fijación al pistón, presenta una flexión
- Se tiene una flexión a la mitad de la cara donde se atornilla el actuador lineal,

Las flexiones presentadas en el soporte podrían considerarse como tal siempre y cuando la fuerza que actuara fuera la misma y por un tiempo no muy grande, ya que de lo contrario podemos considerarlas como deformaciones, ya que las fuerzas a las que está sometida son cíclicas.

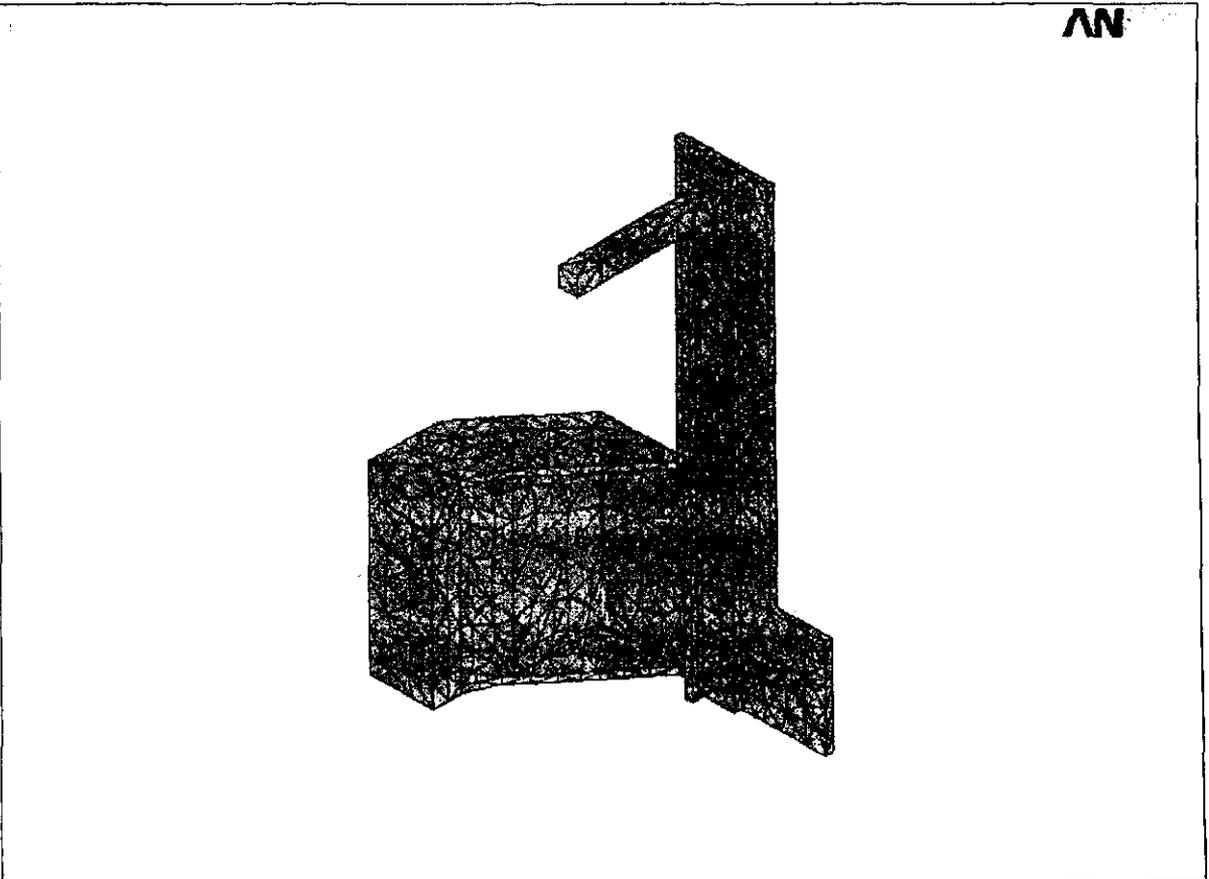
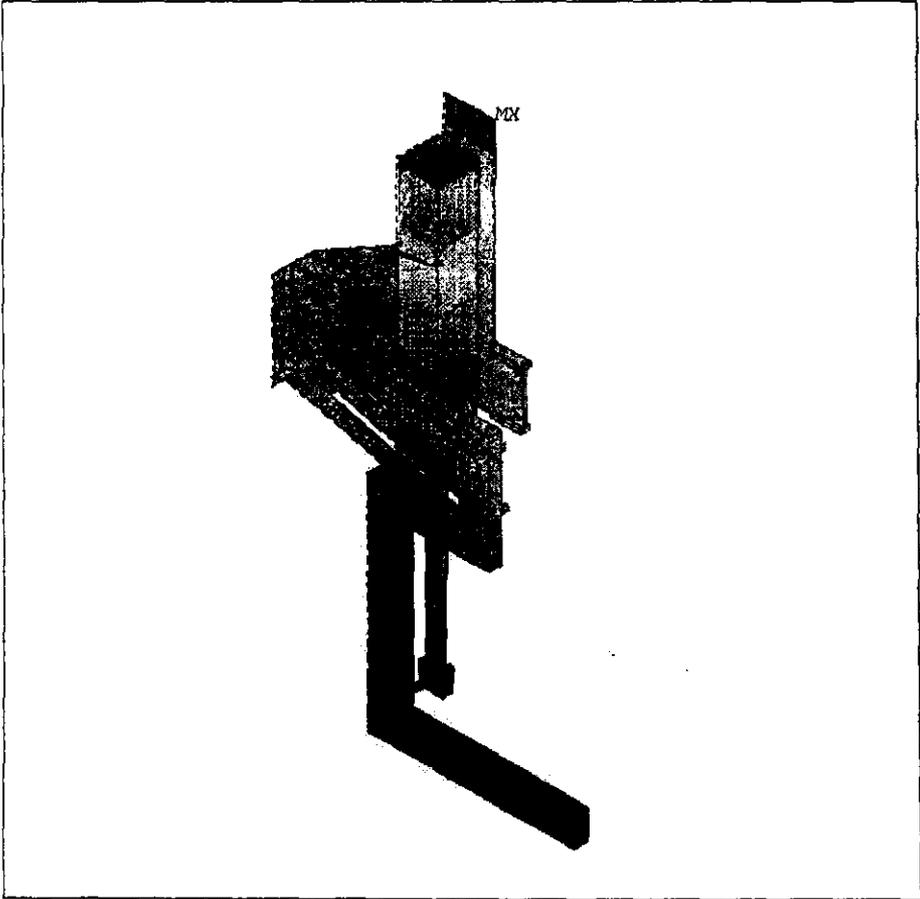


Figura 4.15 Modelo en ANSYS (Soporte)



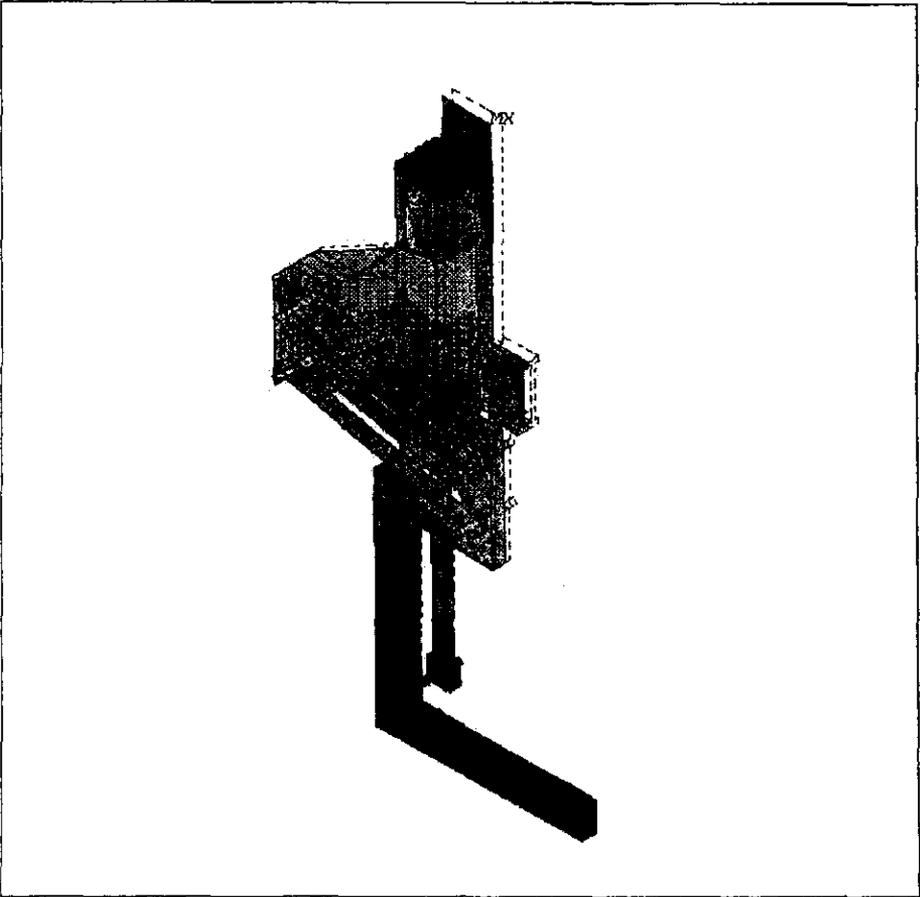
```

ANSYS 5.5.1
JAN  8 1999
12:28:52
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB  =1
TIME=1
USUM
TOP
RSYS=0
DMX  =.281901
SEPC=49.683
SMX  =.281901
0
.031322
.062645
.093967
.125289
.156612
.187934
.219256
.250579
.281901

```

Figura 4.16 Resultados ANSYS (Pata), Caso 1 ó 5, Deformaciones, Isométrico

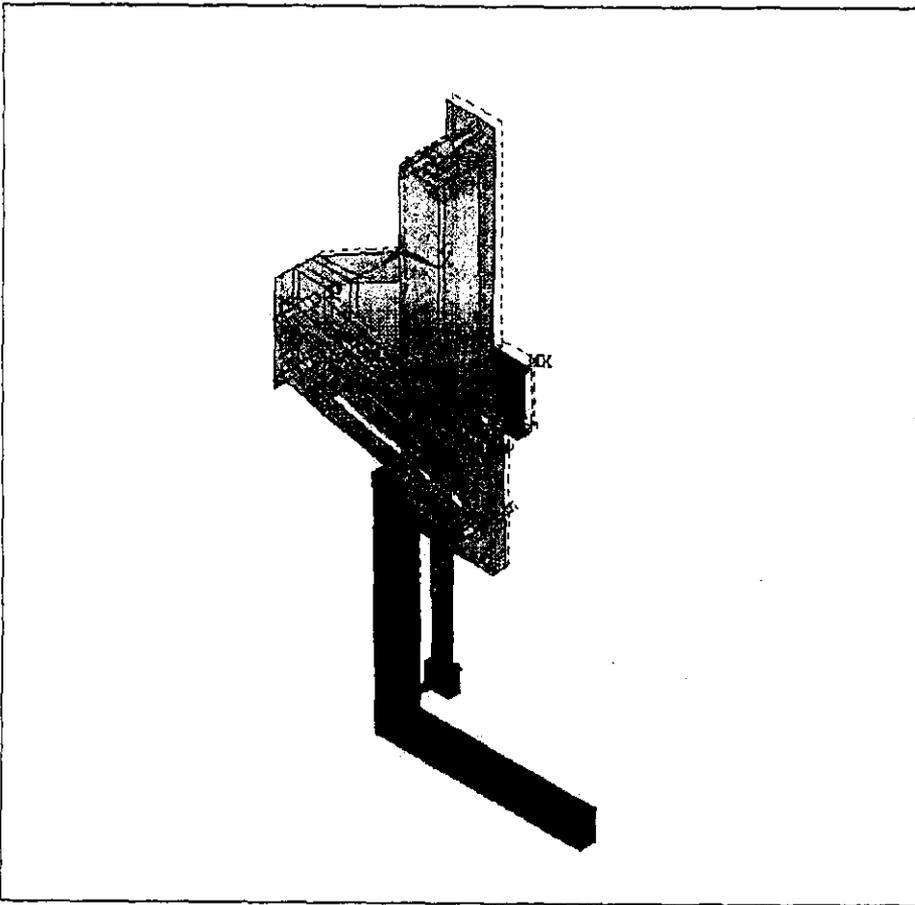
Figura 4.17 Resultados ANSYS (Pata), Caso 2, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
JAN 8 1999
12:03:27
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM
TOP
RSYS=0
DMX =1.718
SEPC=53.722
SMX =1.718

■	0
■	.19087
■	.38174
■	.57261
■	.76348
■	.95435
■	1.145
■	1.336
■	1.527
■	1.718

Figura 4.18 Resultados de ANSYS (Pata), Caso 3, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
JAN 8 1999  
11:42:58  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM  
TOP  
RSYS=0  
DMX =1.464  
SEPC=53.476  
SMX =1.464  
0  
.162633  
.325267  
.4879  
.650533  
.813166  
.9758  
1.138  
1.301  
1.464
```

```

ANSYS 5.5.1
JAN 8 1999
12:17:21
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM
TOP
RSYS=0
DMX =.695539
SEPC=50.063
SMX =.695539

```

	0
	.077282
	.154564
	.231846
	.309128
	.38641
	.463692
	.540974
	.618256
	.695539

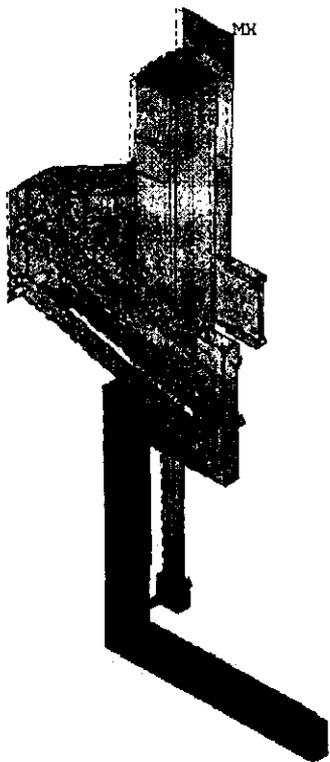
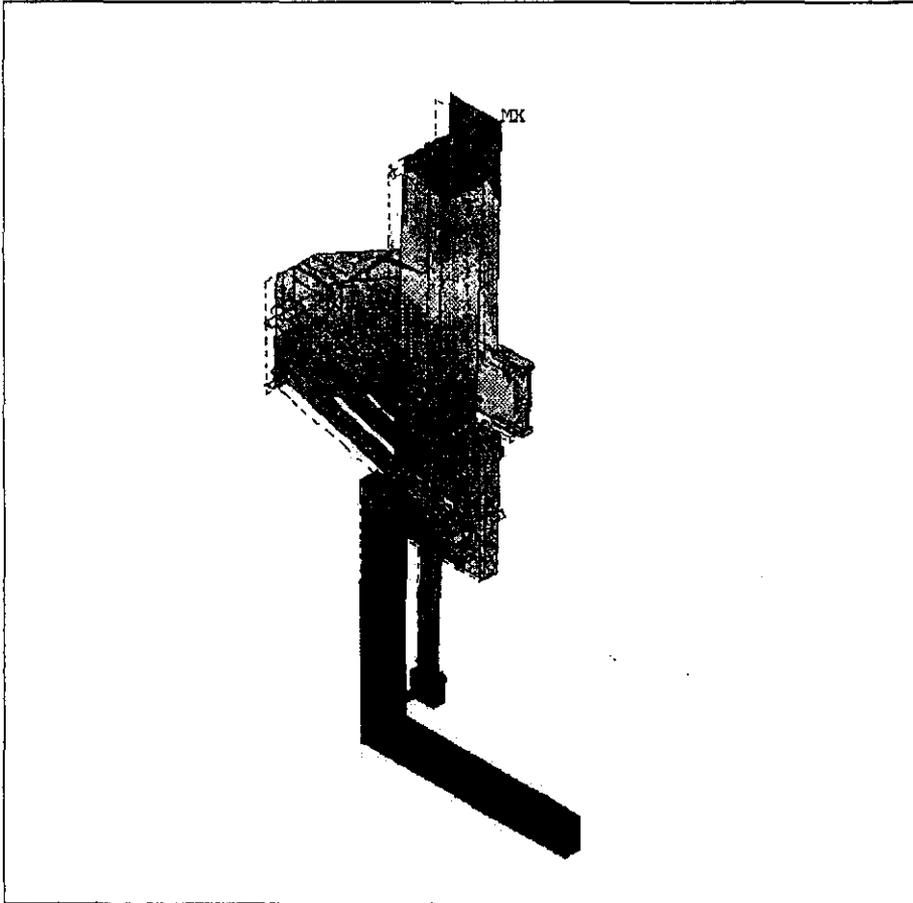


Figura 4.19 Resultados en ANSYS (Pata), Caso 4 u 8, Deformaciones, Isométrico

Figura 4.20 Resultados en ANSYS (Pata), Caso 6, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
JAN 8 1999
12:50:59
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM
TOP
RSYS=0
DMX =2.01
SEPC=53.345
SMX =2.01
0
.22338
.446761
.670141
.893521
1.117
1.34
1.564
1.787
2.01

ANSYS 5.5.1
JAN 8 1999
12:41:51
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM
TOP
RSYS=0
DMX =2.489
SEPC=53.322
SMX =2.489
0
0.276568
.553136
.829703
1.106
1.383
1.659
1.936
2.213
2.489

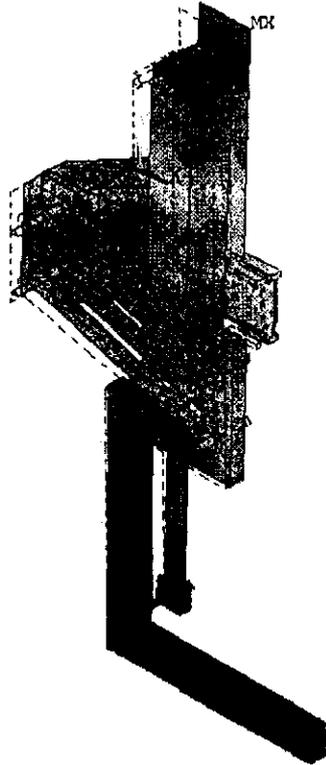
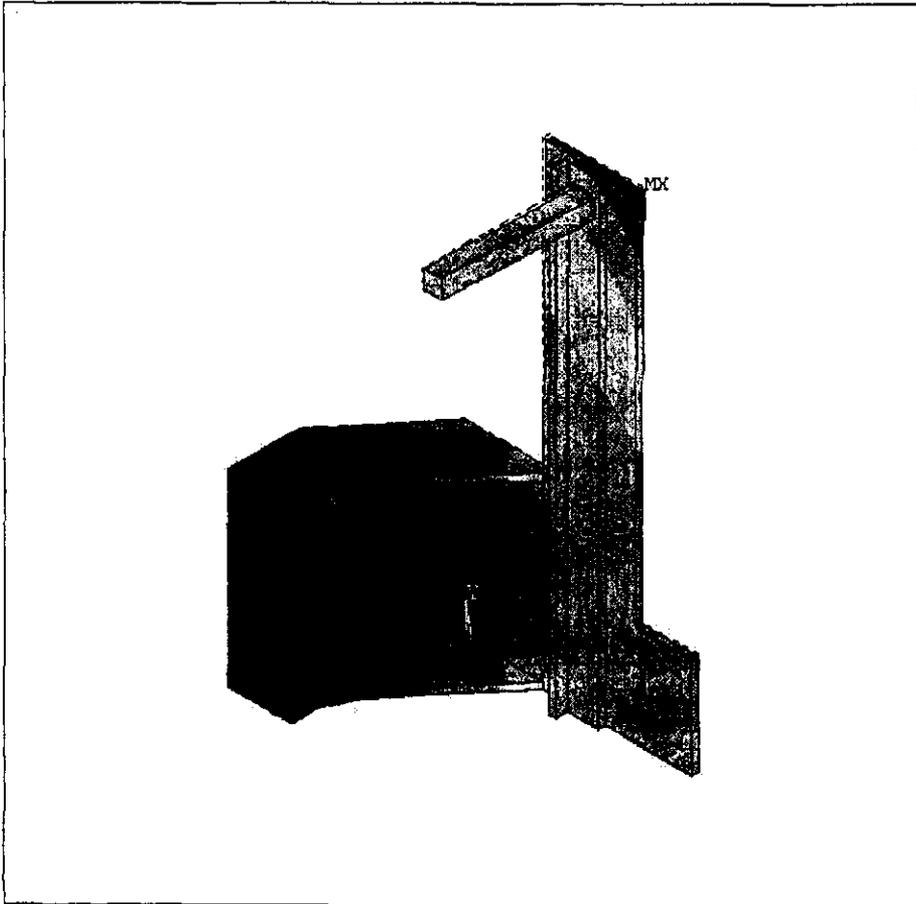


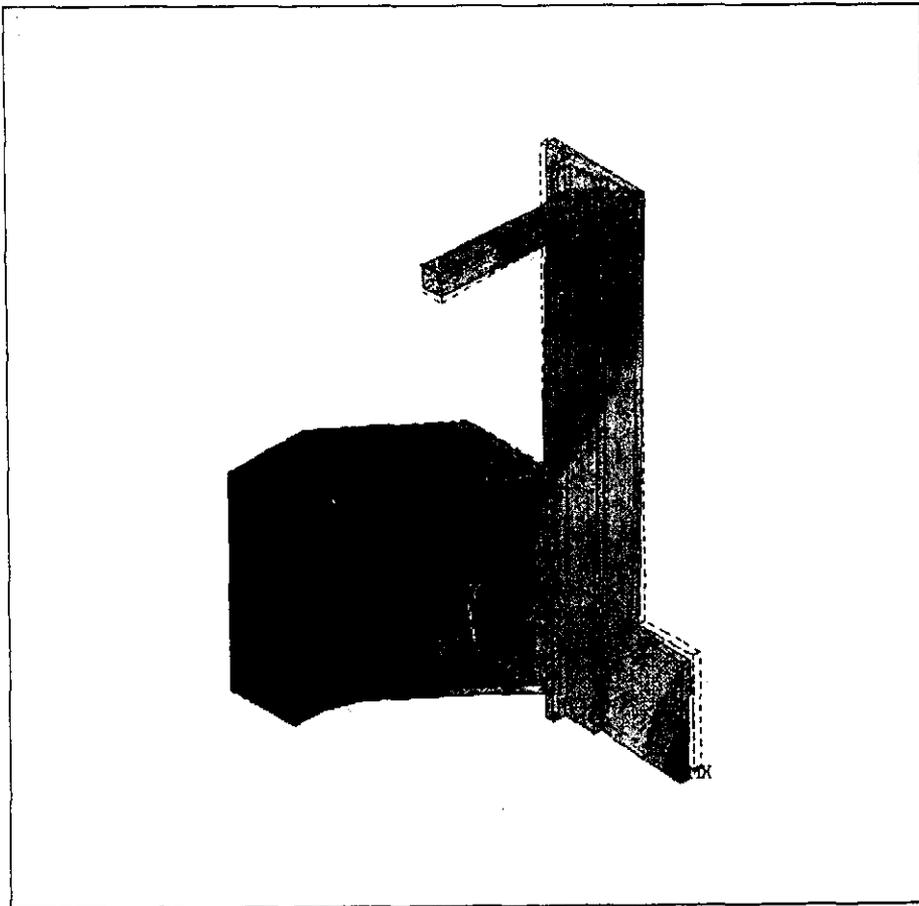
Figura 4.21 Resultados en ANSYS (Pala), Caso 7, Deformaciones, Isométrico

Figura 4.22 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso1 ó 5, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
JAN 11 1999
13:01:10
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.279195
SMX =.279195
0
.031022
.062043
.093065
.124087
.155108
.18613
.217151
.248173
.279195

Figura 4.23 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso2, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
JAN 11 1999  
13:06:04  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =1.054  
SMX =1.054  
0  
.117159  
.234319  
.351478  
.468638  
.585797  
.702957  
.820116  
.937276  
1.054
```

Figura 4.24 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso3, Deformaciones, Isométrico

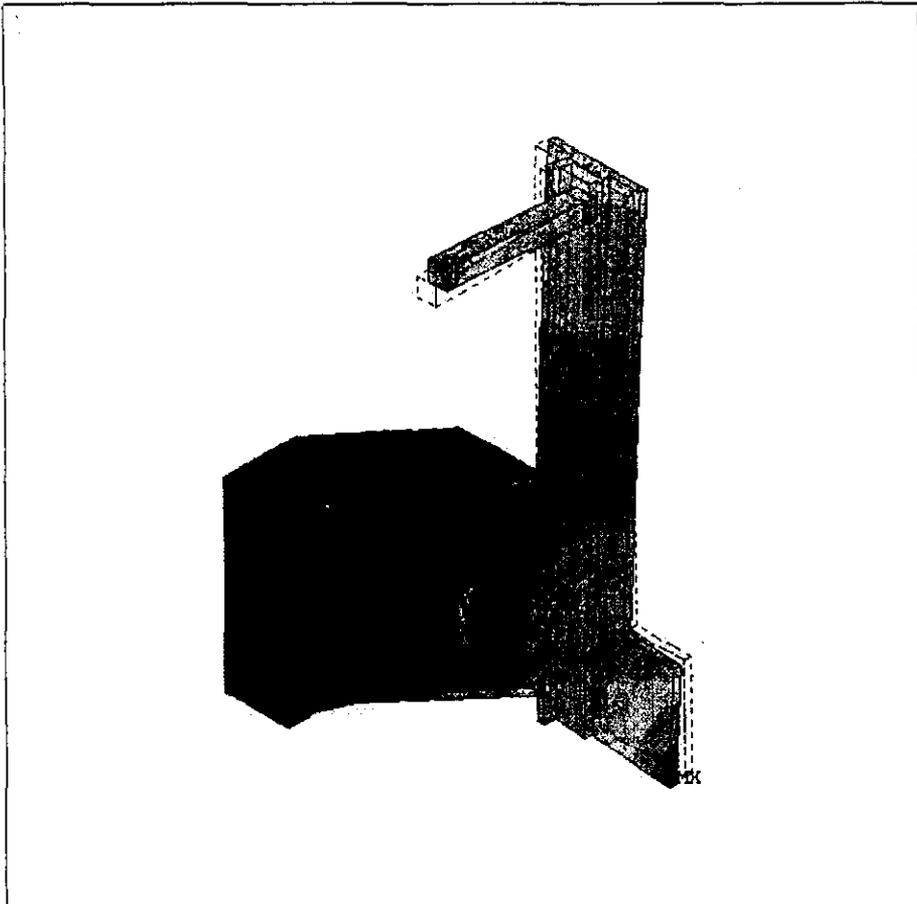
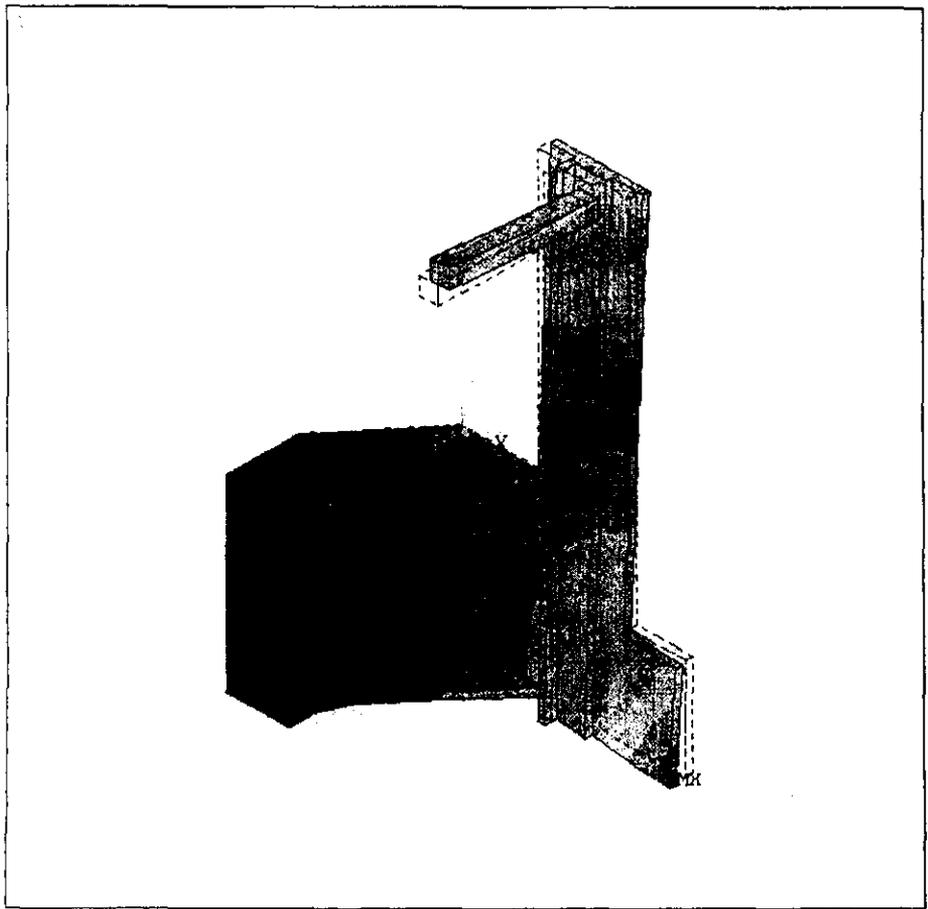


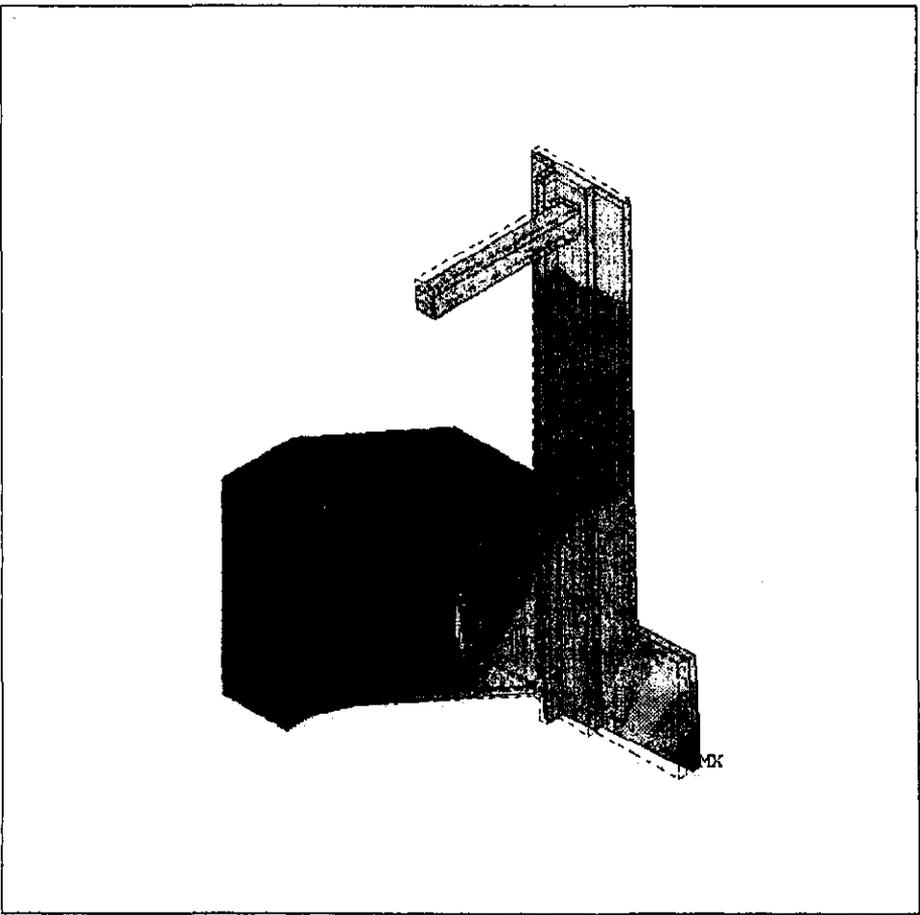
Figura 4.25 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso 4 u 8, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
JAN 11 1999
13:14:40
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =1.214
SMX =1.214

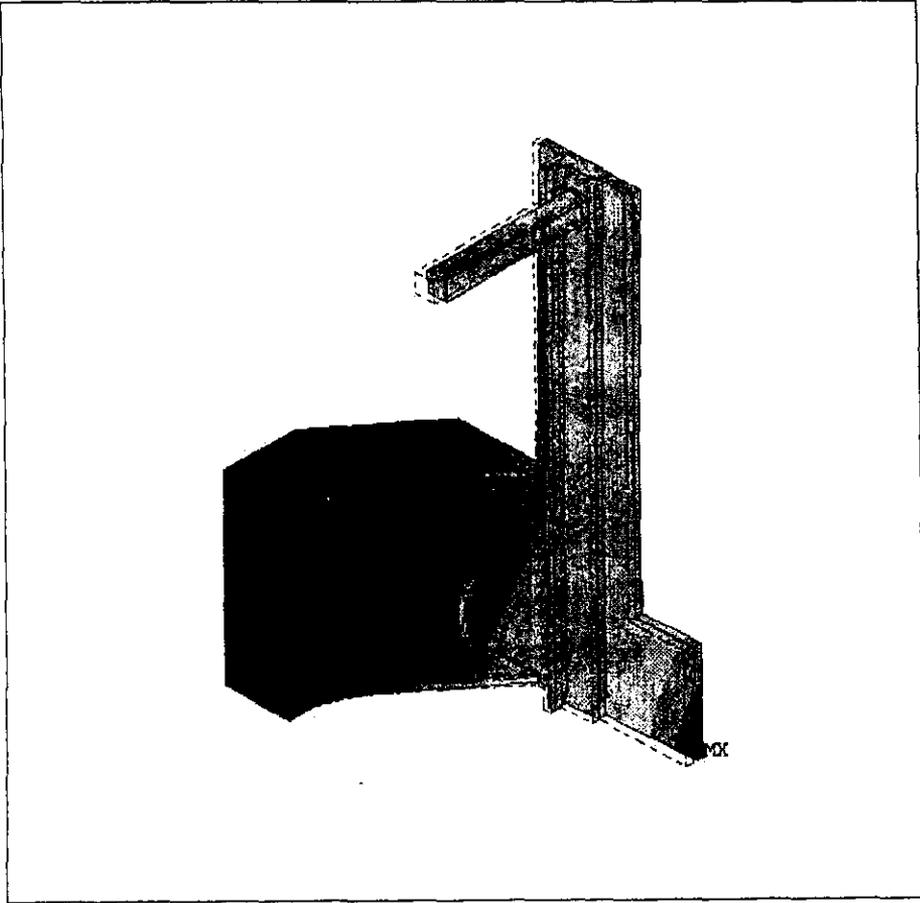
0	
.134876	
.269752	
.404629	
.539505	
.674381	
.809257	
.944133	
1.079	
1.214	

Figura 4.26 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso 6, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
JAN 11 1999
13:17:23
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =1.208
SMX =1.208
0
0.134236
0.268471
0.402707
0.536943
0.671178
0.805414
0.939649
1.074
1.208

Figura 4.27 Resultados en ANSYS (Soporte), Caso 7, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
JAN 11 1999  
13:21:19  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX  =1.048  
SMX  =1.048  
0  
.11639  
.232779  
.349169  
.465559  
.581948  
.698338  
.814727  
.931117  
1.048
```

CAPITULO 5- REDISEÑO DE LAS PIERNAS DEL ROBOT

5.1. REDISEÑO DE LA CADERA.

Esta es una parte muy delicada, ya que de aquí depende en gran parte el buen funcionamiento del robot. Para ello es necesario que se logre lo siguiente:

- Tener en todo momento paralelismo entre los pistones
- Cuando un pistón esté cargando el otro, el pistón que está siendo cargado no se incline
- La unión entre los pistones al momento de subir a la rampa se someterá a torsión ya que el robot quedará apoyado en la pata delantera de uno de sus pies y en la pata trasera del otro pie, por lo que ésta no deberá de existir.

Además de la indicaciones anteriores es necesario tener una restricción en el diseño:

- Se tiene que mantener un espacio entre los actuadores lineales para que por ahí pueda pasar la flecha que hará girar el robot

El sistema de fijación de los actuadores no se rediseñarán ya que las piezas con las que cuenta son bastante funcionales, lo único que si sería conveniente es que:

- Los sujetadores sean dos en vez de cuatro, esto es que sea una sola pieza la que trabaje por cada ranura, y cada pieza deberá tener un agujero por donde deberá pasar la flecha del giro, la idea de hacerlas de una sola pieza es para poder contrarrestar mejor la torsión que se presente en la unión.
- Se deberá tener más cuidado con la manufactura de las colas de Milano de los sujetadores, ya que de aquí depende todo el éxito de una buena sujeción
- Los sujetadores son piezas que trabajan a tensión y los separadores a compresión; por lo que la distancia que separa las colas de Milano en los sujetadores deberá ser un poco mas chica que la de referencia, esto con la finalidad de que al momento de hacer el ensamble, los separadores entren a presión y así poder obtener un ajuste.
- Para corroborar con lo anterior se indicarán las dimensiones que cada pieza debe tener con sus respectivas tolerancias. Ver planos 3-6

5.1.1. Restricciones de los Actuadores Lineales (SLIDES)

Los actuadores lineales tiene una restricción de uso, dependiendo del diámetro, carrera, peso, velocidad de trabajo, la frecuencia a la que trabajan y la distancia del centro de gravedad del peso. La combinación de estos parámetros decidirá si el actuador es apto para el trabajo al

que será sometido, ya que de lo contrario se presentarán descomposturas, ya se en la guía de bolas, o incluso hasta se pueden presentar fugas o desgaste de las cabezas del émbolo.

Para ver si en nuestro rediseño se cumple con lo especificado por el fabricante, se utiliza un programa que el mismo fabricante nos proporcionó.

En este programa se le dan los datos anteriores y calcula la siguiente fórmula

$$\frac{Ml}{Ml_{MAX}} + \frac{Mq}{Mq_{MAX}} + \frac{Mv}{Mv_{MAX}} + \frac{Fl}{Fl_{MAX}} + \frac{Fq}{Fq_{MAX}} < 1$$

donde:

Ml, Mq, Mv = Los momentos en los tres ejes coordenados del slide

$Ml_{MAX}, Mq_{MAX}, Mv_{MAX}$ = Los momentos máximos permisibles (dependen del diámetro)

Fl, Fq = Fuerzas que son ejercidas perpendiculares al movimiento

Fl_{MAX}, Fq_{MAX} = Fuerzas máximas permisibles

Si el resultado es menor a uno, se puede ocupar el actuador para el trabajo de lo contrario se tendrán que modificar algunos parámetros para lograr que se cumplan.

En el caso de que se cumpla la ecuación revisamos el valor de duración de la guía de bolas la cual se da en kilómetros y en horas.

En nuestro caso se tienen los siguientes valores:

Diámetro 0.04 m

Peso 60 kg.

Carrera 0.5 m

Velocidad 0.4 m/s

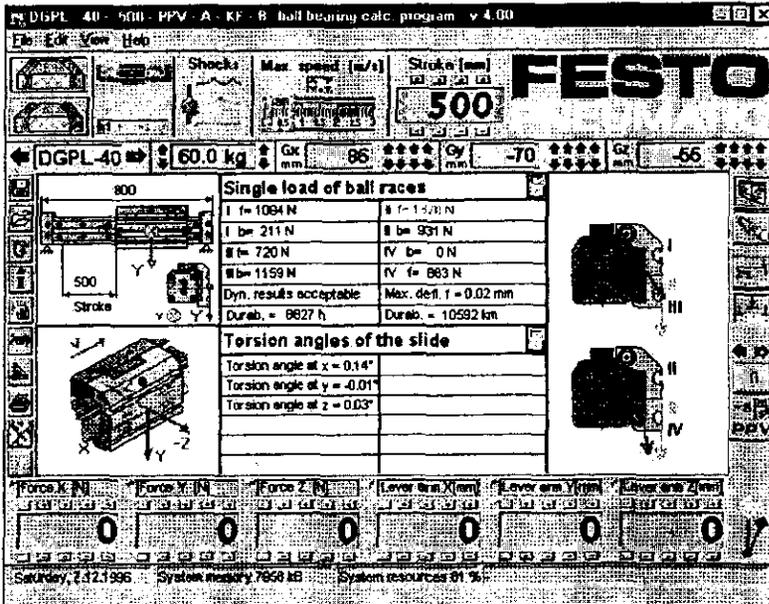
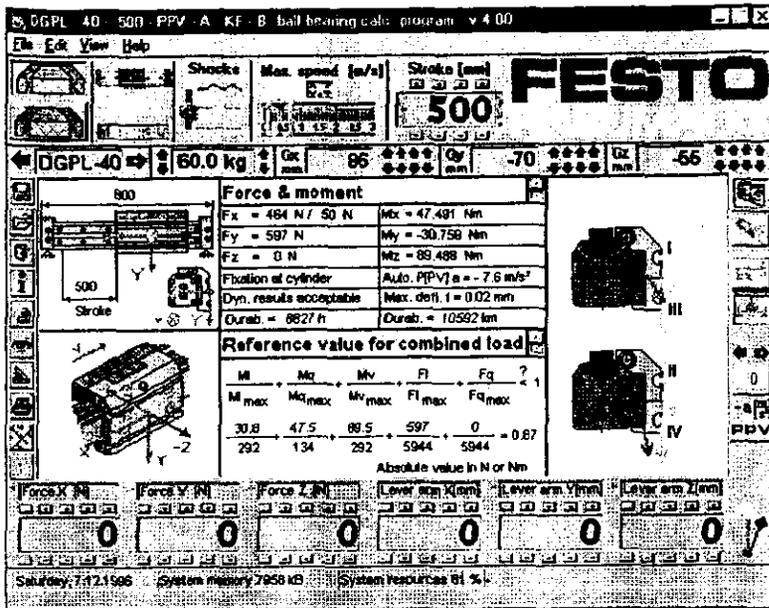


Figura 5.1 Programa de Festo para el calculo de los slides.

Frecuencia Media

Distancia $G_x=0.086$ m, $G_y=-0.070$ m, $G_z=-0.055$ m

Los resultados los podemos ver en la figura 5.1 donde se cumple la condición con 0.87 y se tiene una duración de 10,592 Km. y 8827 hrs.

5.2. REDISEÑO DE LA PATA

El rediseño de la pata se va a basar principalmente en los defectos que ésta haya tenido, obtenidos por el elemento finito para el caso de las piezas grandes y por el análisis de Desplazamientos y Momentos para el caso de las fijaciones

Los defectos se muestran en la tabla 5.1 así como las propuestas para su mejor funcionamiento

BRIDA

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Ajuste entre la brida y el soporte así como uno para la brida y el actuador 	<ul style="list-style-type: none"> Un ajuste leve de interferencia entre estas dos piezas será necesario para evitar giros.

SOPORTE

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Flexión en la cara del soporte donde se atornilla del actuador lineal 	<ul style="list-style-type: none"> Costilla en todo el borde superior e inferior, para poder hacer más rígido el soporte Cambiar la escuadra por una diagonal, de esta manera se disminuye el peso y logra un espacio mas grande en el interior para poder trabajar
<ul style="list-style-type: none"> Flexión a la mitad del soporte 	<ul style="list-style-type: none"> Hacer la cara uniforme, suprimiendo el recorte que se tiene arriba del actuador lineal. Para que el soporte distribuya mejor los esfuerzos Costilla en el borde superior e inferior, para poder hacer más rígido el soporte
<ul style="list-style-type: none"> Flexión de la placa del soporte que sostiene el pistón 	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar la posición del pistón, Ver sección para el pistón

MECANISMO

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Flexión 	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar el espesor, hacer mas rígidas la

	<p>piezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambiar la solera por un ángulo, hacer mas rígida la pieza
<ul style="list-style-type: none"> • Torsión 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el espesor, dar mas rigidez

PIE

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> • Flexión en la parte alta 	<ul style="list-style-type: none"> • Compensar la deformación construyendo la parte alta del pie inclinada en sentido contrario a la deformación, ya que de esta manera es mas fácil de distribuir los esfuerzos, que si fuera en un plano horizontal
<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • Como estamos trabajando con un tubular soldado no es muy representativo, pero hay que tener cuidado realizando una buena soldadura
<ul style="list-style-type: none"> • La base del pie es muy angosta 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la anchura a la base, incrementando de esta manera la rigidez

PISTÓN

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Flexión del vástago 	<ul style="list-style-type: none"> Reubicar el pistón, para poder disminuir así la flexión en el vástago y al mismo tiempo la falta de rigidez de la pata

UNION SOPORTE - MECANISMO - PIE

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Juego entre buje y eje 	<ul style="list-style-type: none"> Ajuste de rotación precisa (H7-g6), será necesario para evitar los juegos
<ul style="list-style-type: none"> Juego entre el eje y la barra del mecanismo 	<ul style="list-style-type: none"> Ajuste apretado de corredera (H7-h6), se utilizará para poder apretar la barra al eje.
<ul style="list-style-type: none"> Tuercas muy apretadas o muy flojas 	<ul style="list-style-type: none"> Rediseño del eje

UNION PIE - PISTON

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> Unión esférica 	<ul style="list-style-type: none"> Reubicar el pistón para que trabaje mejor la unión esférica

UNION PISTON - SOPORTE

Defecto	Propuesta de Mejora
<ul style="list-style-type: none"> • No hay problema 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar la fijación del pistón por una que lo haga a la mitad del cilindro y en el soporte añadir cartabones.

Tabla 5.1 Defectos y propuestas para la diferentes piezas y uniones que conforman la pata

La tabla 5.1 nos muestra los defectos que se tuvieron en el robot Cipactli así como sus soluciones de mejora, pero eso no es todo para poder tener un robot funcional es necesario hacer mas rígida la pata del mismo, para lograrlo se modificará lo siguiente:

- Como el soporte se va a modificar, será necesario modificar la brida
- Para que el mecanismo no tenga juego en sus articulaciones se utilizarán dos pies en vez de uno
- Se reubicará el pistón; debido a los dos puntos anteriores

Para lograr la mejor rigidez de la pata es necesario dejar completamente rígido el mecanismo principalmente, seguido del soporte. Si el mecanismo presenta flexión así como sus uniones no trabajen correctamente de nada va a servir rediseñar la pata, ya que el soporte al recibir una carga dinámica los desplazará, acción que es transmitida al mecanismo y posteriormente al pie, o por el otro lado que es transmitido al pistón y luego al pie. Si el mecanismo permite mucha flexión ésta será igual en el pistón, repercutiendo principalmente en el vástago.

5.2.1 Reubicación del pistón

Como se vio en la tabla 5.1 el vástago del pistón se somete a una flexión la cual puede llegar a acarrear problemas como lo son fugas principalmente, para ello es necesario reubicar el pistón haciendo que trabaje mejor y distribuyendo más uniformemente las cargas. Para ello es necesario lo siguiente:

- En vez de que el pistón esté siendo sujetado de una placa alta del soporte éste va a ser sujetado por el costado de donde está engoznado el mecanismo, por medio de cartabones.
- El pistón se colocará entre los dos pies logrando de esta manera que al momento de subir o bajar el pie no se presente ninguna clase de momento en los goznes del mecanismo, se distribuya el peso del robot entre los dos pies de cada pata y no se tengan así pernos en cantiliver .

De esta manera lo que se pretende lograr es que el vástago ya no esté siendo sometido a flexión. Ver planos 7-8 y fig. 5.2

5.2.2 Rediseño del Soporte

Como se mencionó anteriormente el soporte deberá de llevar dos bloques o bisagras con posicionadores y deberán de ir soldados a las costillas del soporte, estas bisagras servirán para posteriormente engoznar el mecanismo, entre las bisagras se colocarán dos cartabones; atornillados al soporte; en estos cartabones se engoznará el pistón.

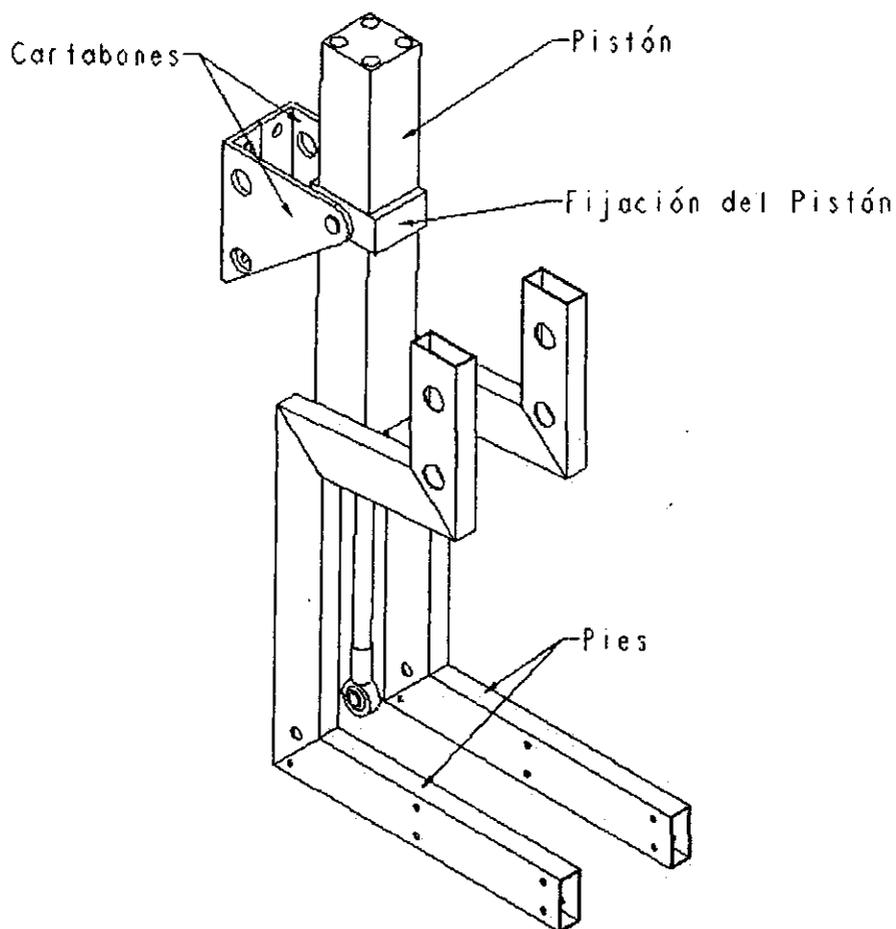


Figura 5.2 Rediseño para el buen funcionamiento del pistón

El soporte se modificará para hacerlo de una altura uniforme en toda su extensión, se suprimirá la escuadra que se tiene y se sustituirá por una diagonal a 45° , en la parte superior como en la inferior se hará una costilla logrando de esta manera reforzar la placa para evitar posibles flexiones que se presenten.

Se hará un corte en el soporte donde se fija el actuador para permitir insertar parte de la brida. Ver planos 9-11 y Fig. 5.3

5.2.3 Rediseño de la brida

La brida tendrá que ser un poco más larga para poder ser empotrada en el soporte, ya que la costilla inferior lo impide.

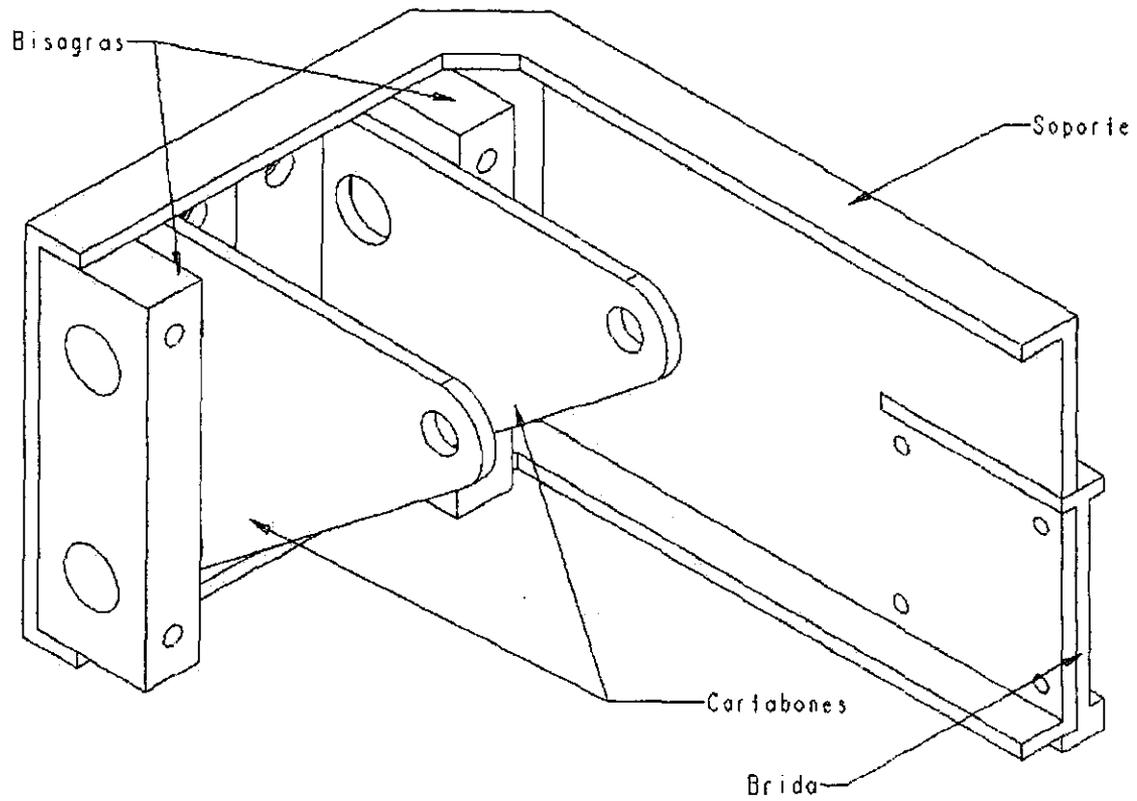
Por la otra cara de la brida el asiento inferior será mas largo, para compensar la longitud donde apoya el actuador. Ver plano 12 y Fig.5.4

5.2.4 Rediseño del Mecanismo

El mecanismo consta de 4 soleras de $1'' \times 3/16''$ (0.0254×0.0047625 m), aunque se tengan dos pies sólo se utilizará un mecanismo, dos barras irán por la parte delantera del pie delantero y las otras dos por la parte posterior del pie trasero.

Se sustituirán la soleras que están el frente de la pata por ángulos de $1/4''$ (0.03175 m); las soleras que están en la parte trasera no se pueden sustituir ya que el ángulo estorbaría tanto al soporte como al pie. Ver planos 13-14 y Fig. 5.4

Figura 5.3 Rediseño del soporte



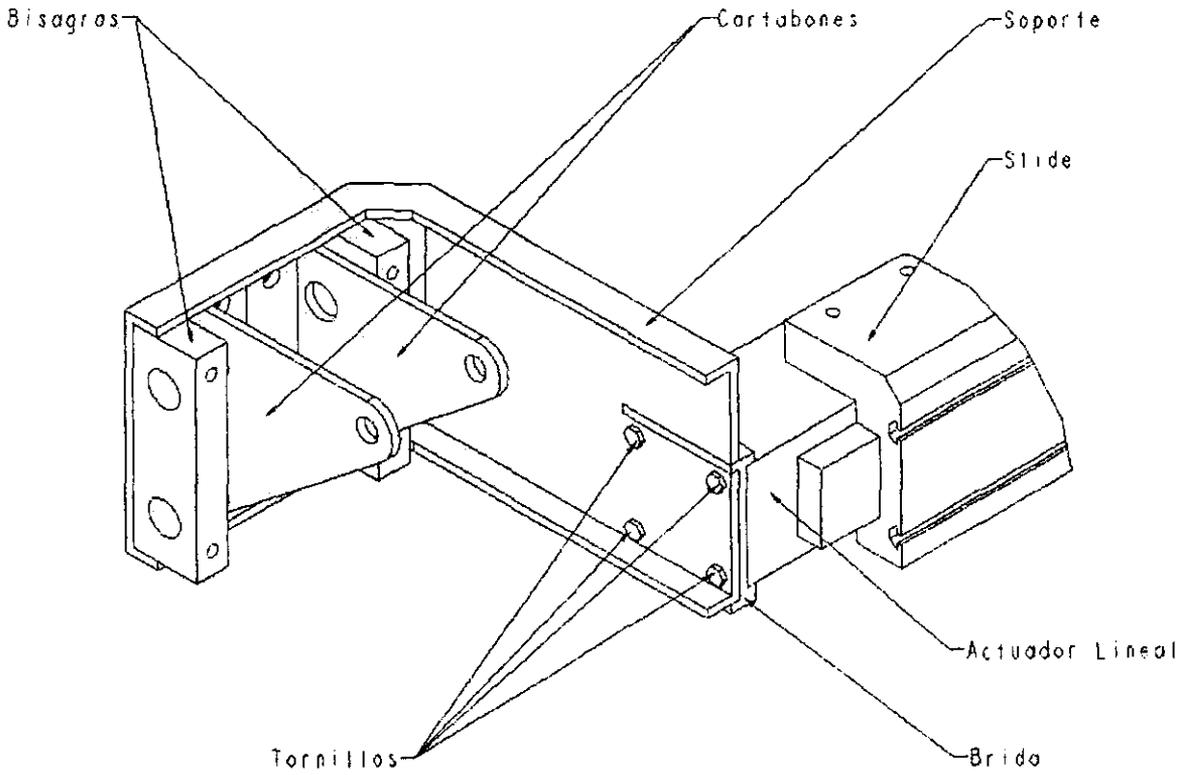


Figura 5.4 Rediseño del soporte para la brida

5.2.5 Rediseño del Pie

No se hará ningún rediseño (Ver plano 15), pero se podría considerar darle algunos grados de inclinación a la parte alta del pie para poder contrarrestar la flexión ocasionada por el peso del robot, pero como se tienen ahora dos pies se reparte mejor el peso.

Como en el diseño anterior el pie llevará un porta suela, el cual se hará de una sola pieza para los dos pies, y en sus extremos tendrá los compensadores para la rampa 20° y -20° . Ver planos 16-21 y fig. 5.5

5.2.6 Rediseño de la Unión Soporte - Mecanismo - Pie

El ajuste de estas piezas es muy necesario, para ello se utilizará un ajuste de rotación precisa (H7-g6) para el eje - buje; este ajuste lo utilizamos cuando queremos giros sin juegos apreciables.

Un ajuste apretado de corredera (H7-h6) para el mecanismo - eje, donde queremos que estas dos piezas estén apretadas sin mostrar juegos perceptibles.

El buje tendrá un ajuste de interferencia (H7-k6) en el soporte y en el pie, este ajuste pretende apretar el buje dentro de la bisagra, así como del tubular del pie, con la finalidad de que no se recorra en ningún momento.

El buje consistirá de dos piezas y uno de sus extremos tendrá una ceja o tope, la finalidad del tope en el buje es para evitar que se desacomode el buje en el tubular, como sucedió en el diseño anterior. Ver planos 22-23

El diámetro interior del buje se rebajará un poco del lado del escalón, esto para dejar una cámara de lubricación, así para tener menos área de contacto con el eje.

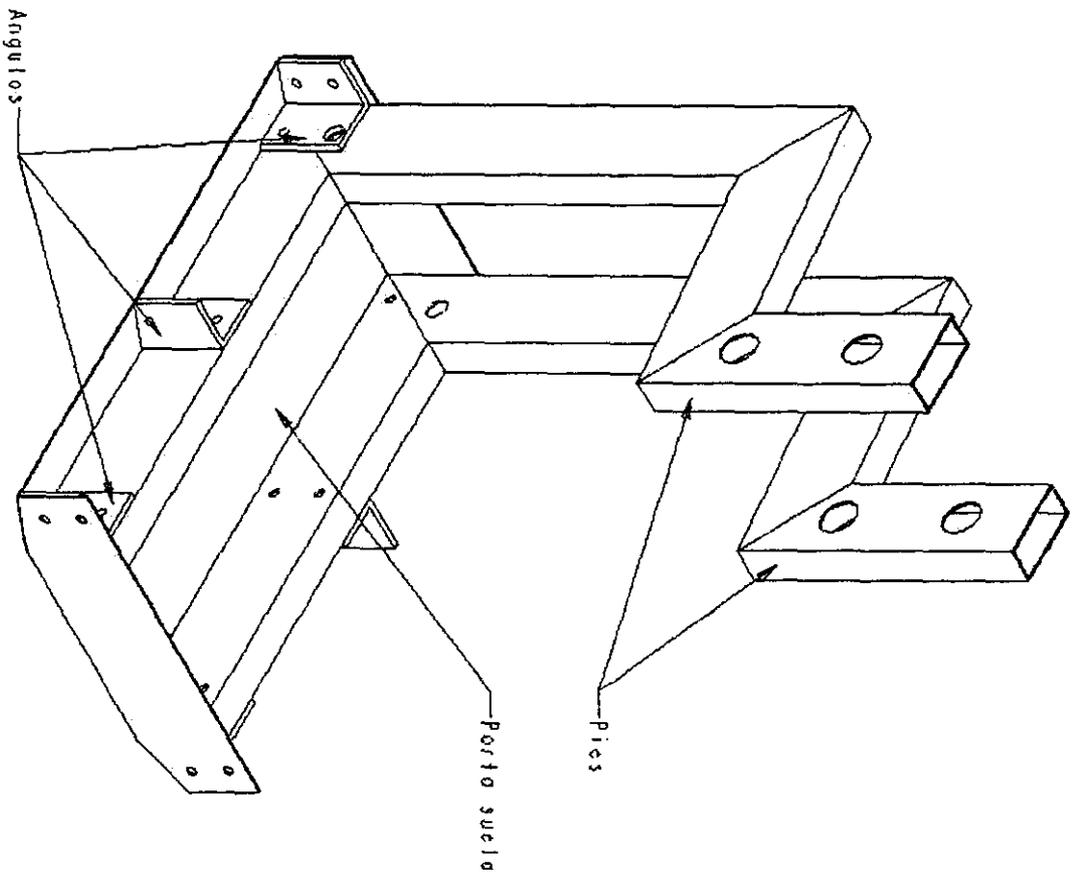


Figura 5.5. Rediseño de los pies, se utilizarán dos en vez de uno

El eje se hará de una sola pieza, por los costados estará roscado y en la parte media se tendrá un diámetro mayor que en la sección del buje para impedir que los pies se junten.

La longitud del eje está determinada por la acotación funcional¹, donde obtendremos la longitud óptima de éste donde se engozna con el buje, así como la longitud que éste deberá tener.

Lo anterior lo haremos a partir de unas reglas ya establecidas las cuales son:

1ª Regla.- El huelgo se ubica en el lugar correspondiente al espacio libre que dejan las piezas contiguas. (ver figura 5.6)

2ª Regla.- El huelgo se define como identificado por un vector. Su dirección es la de la normal a las superficies laterales del juego. Su sentido es totalmente arbitrario. (Ver figura 5.6)

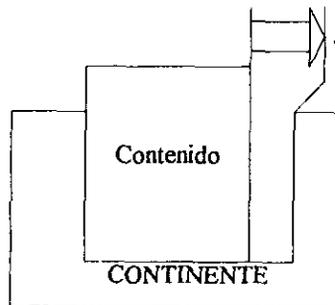


Figura 5.6 Localización del huelgo

3ª Regla.- Se establece una cadena de cotas que enlaza las dos superficies terminales pasando por todas las superficies de contacto de las piezas que intervienen en la condición J.

Cada vector corresponde a una cota de cada pieza o se identifica con ella. Se empieza por el origen del vector condición (la superficie terminal), y se traza un vector que tenga su extremidad en la más próxima superficie de contacto de la misma pieza.

4ª Regla.- La cadena de cotas tiene que ser mínima, es decir, debe haber tantas cotas como piezas intervengan en la función estudiada. (Esto, sin contar con el vector condición).

Para el cálculo del vector condición se tiene lo siguiente:

Condición (J) = Vectores del mismo sentido que la condición - Vectores de sentidos contrarios

Cotas condición (J) = "Cotas continentales" - "Cotas contenidas"

Al manufacturar una pieza ésta puede ser más grande o más chica que el valor en el plano de diseño, para ello se tienen que utilizar tolerancias² de fabricación, por lo que la cadena de cotas queda de la siguiente manera:

$$J_{MAX} = \text{"Cotas continente MAX"} - \text{"Cotas contenido min"}$$

$$J_{min} = \text{"Cotas continente min"} - \text{"Cotas contenido MAX"}$$

5.2.6.1 Acotación para el buje

Se pretende dejar una holgura entre los dos bujes engoznados en la bisagra, esta holgura permitirá poder meter todo el buje en la bisagra sin riesgo de tocar al otro buje que está del otro lado de la bisagra. (ver figura 5.7)

¹ La acotación funcional comprende el análisis sistemático de la función uso de cada pieza o conjunto nos conduce a formas y dimensiones que, si no son óptimas, se acercan mucho a la solución idónea.

² Tolerancia es la variación total permitida en el tamaño de una pieza

Para ello se propone un valor máximo y mínimo de la holgura la cual es:

$$J_{MAX} = 1.5 \text{ mm}$$

$$J_{Amin} = 0.9 \text{ mm}$$

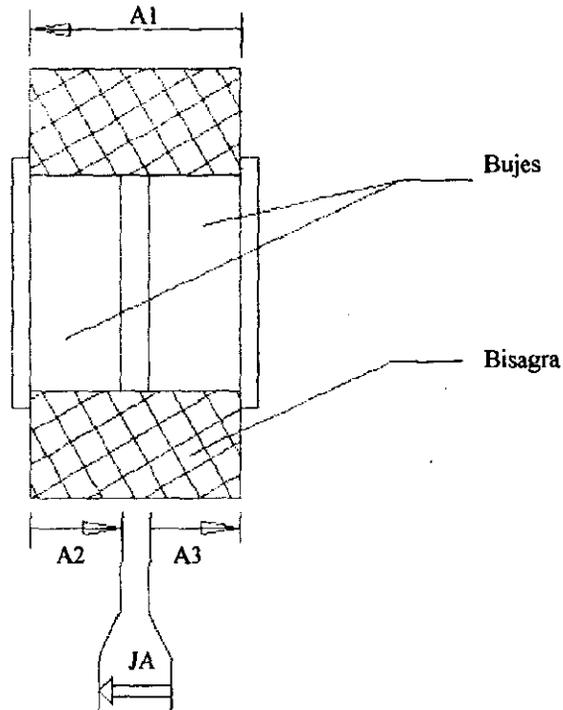


Figura 5.7 Representación de las cadenas de cotas para el buje

Trazando la cadena de cotas de la figura 5.7 se tiene:

$$JA = A1 - (A2 + A3)$$

$$J_{MAX} = A1_{MAX} - (A2_{min} + A3_{min})$$

$$J_{Amin} = A1_{min} - (A2_{MAX} + A3_{MAX})$$

Los valores de cada cadena son:

$$A1 = 19.05_{-0}^{+0.1} \text{ mm}$$

$$A2 = A3 = 8.5 \text{ mm}$$

Sustituyendo y calculando la cota para A2 se tiene:

$$A2_{\min} = (A1_{\max} - J_{\max})/2$$

$$A2_{\min} = (19.15 \text{ mm} - 1.5 \text{ mm})/2$$

$$A2_{\min} = \underline{8.825 \text{ mm}}$$

$$A2_{\max} = (A1_{\min} - J_{\min})/2$$

$$A2_{\max} = (19.05 \text{ mm} - 0.9 \text{ mm})/2$$

$$A2_{\max} = \underline{9.075 \text{ mm}}$$

Por lo que la longitud A2 en el buje va a tener las siguientes dimensiones:

$$A2 = 8.5_{-0.22}^{+0.57} \text{ mm}$$

5.2.6.2 Acotación para el eje

En esta parte del diseño, lo que se pretende es dejar una holgura entre la cara frontal del buje y el costado de la barra delantera o trasera. Esta holgura nos permitirá poder girar libremente el mecanismo, ya que en el diseño anterior se presentaron problemas al momento de apretar las tuercas esta ceñían las barras al costado de las bisagras o del pie. (Ver Fig. 5.8) Se

toma el costado de las barras ya que en ese punto se tiene un cambio de dimensión en el diámetro del eje.

Para ello se propone una holgura máxima y mínima la cual es:

$$JB_{MAX} = 1.5 \text{ mm}$$

$$JB_{min} = 0.5 \text{ mm}$$

Los valores de la cadena de cotas son:

$$B1 = 26$$

$$B2 = B4 = 3.175_{-0.01}^{+0} \text{ mm}$$

$$B3 = 19.05_{+0}^{+0.1} \text{ mm}$$

La cadena de cotas queda de la siguiente manera:

$$JB = B1 - (B2 + B3 + B4)$$

$$JB_{MAX} = B1_{MAX} - (B2_{min} + B3_{min} + B4_{min})$$

$$JB_{min} = B1_{min} - (B2_{MAX} + B3_{MAX} + B4_{MAX})$$

Calculando para B1 se tiene:

$$B1_{MAX} = JB_{MAX} + B2_{min} + B3_{min} + B4_{min}$$

$$B1_{MAX} = 1.5 \text{ mm} + 3.165 \text{ mm} + 19.05 \text{ mm} + 3.165 \text{ mm}$$

$$B1_{MAX} = \underline{26.88 \text{ mm}}$$

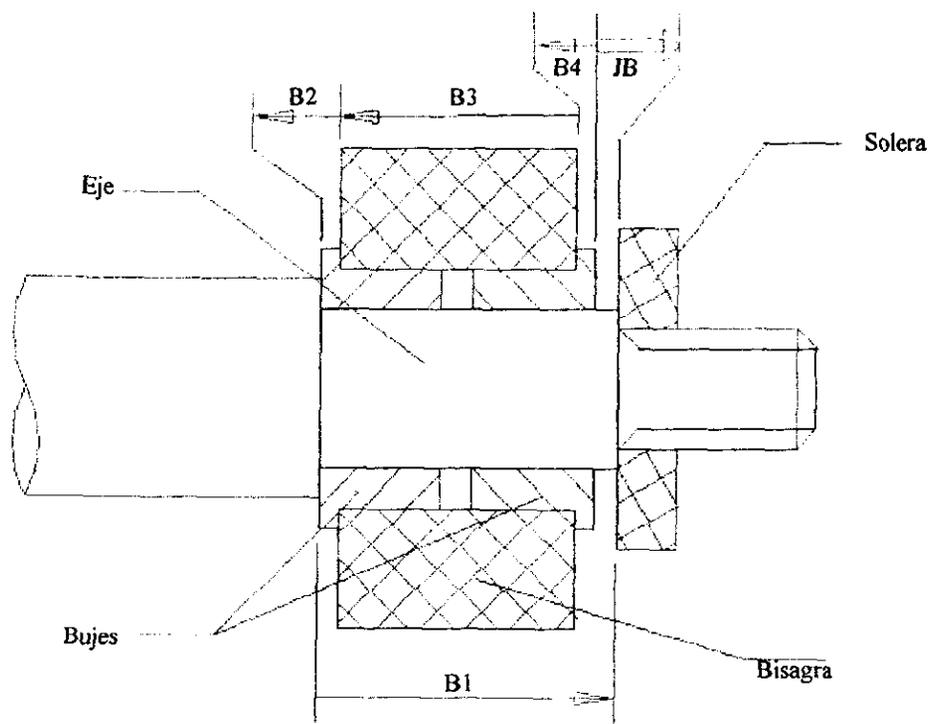


Figura 5.8 Localización de la cadenas de cotas para el eje

$$B1_{\min} = JB_{\min} + B2_{\text{MAX}} + B3_{\text{MAX}} + B4_{\text{MAX}}$$

$$B1_{\min} = 0.5 \text{ mm} + 3.175 \text{ mm} + 19.15 \text{ mm} + 3.175 \text{ mm}$$

$$B1_{\min} = \underline{26 \text{ mm}}$$

Por lo que la longitud B1 en el eje va a tener las siguientes dimensiones:

$$B1 = 26_{+0}^{+0.08} \text{ mm}$$

5.2.7 Rediseño de la unión Pie - Pistón

Como se tienen dos pies ya no es necesario el bloque antiflexión que sostenía el perno por lo que ahora se utilizará un perno corrido, que atraviese los dos pies; y para el pistón se puede seguir utilizando la unión esférica o cambiarla por una que no lo sea. Fig. 5.9

5.2.8 Rediseño de la unión Pistón - Soporte

El pistón va a estar sujeto de alguna parte del cilindro, por un fijación tipo ZNU-32, esta fijación se va a engoznar en dos cartabones lo cuales están atornillados al soporte, éstos tienen que estar atornillados o al menos uno; ya que de otra manera sería un poco difícil montar el pistón. Ver fig. 5.10

Finalmente la pata queda de la siguiente forma, ver fig. 5.11

5.3 SIMULACIÓN EN ELEMENTO FINITO

Ya que la simulación por computadora es una técnica muy socorrida hoy en día, no está por demás verificar que lo que se propuso cumpla con lo prometido

Recordando un poco se tenían ocho situaciones diferentes en las cuales trabajaban las patas, cuatro para la delantera y cuatro para la trasera, pero en realidad sólo se simulan seis ya que dos son las mismas para la pata delantera o trasera.

Figura 5.9 Rediseño de la Unión Pie - Pistón

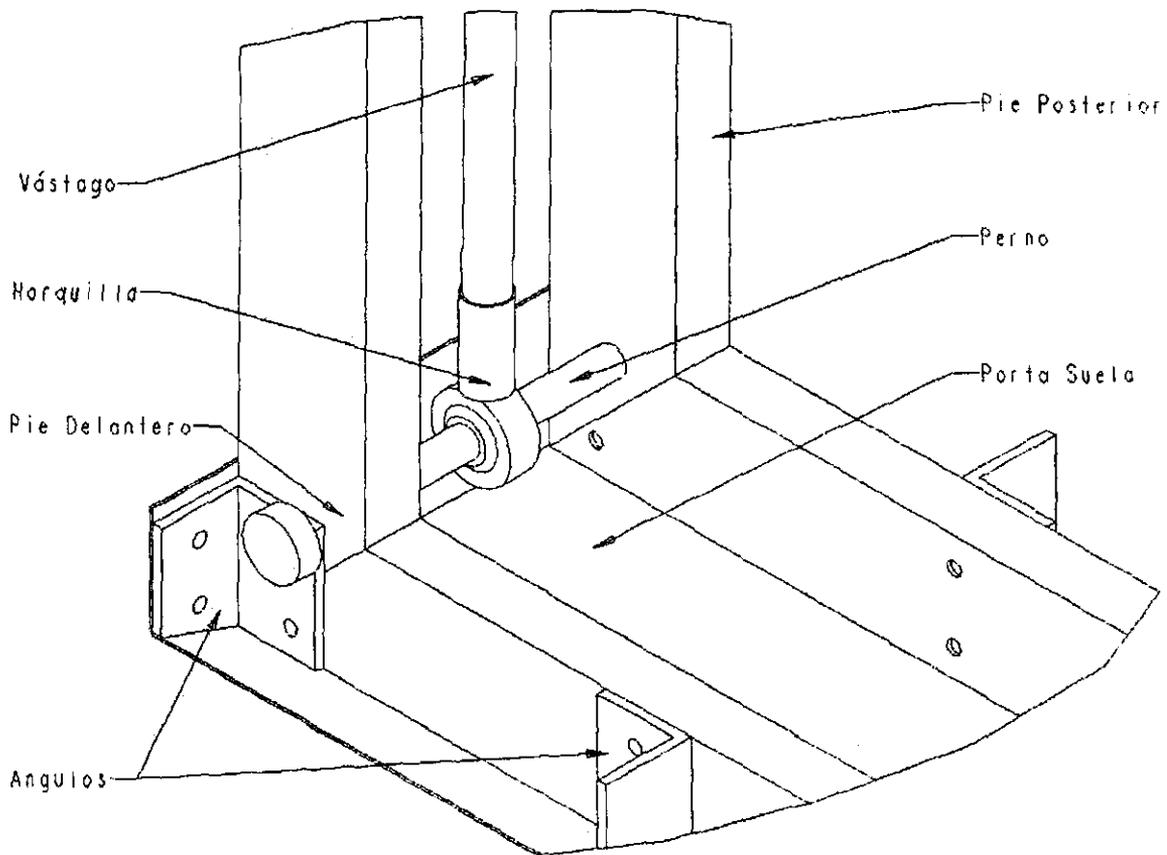
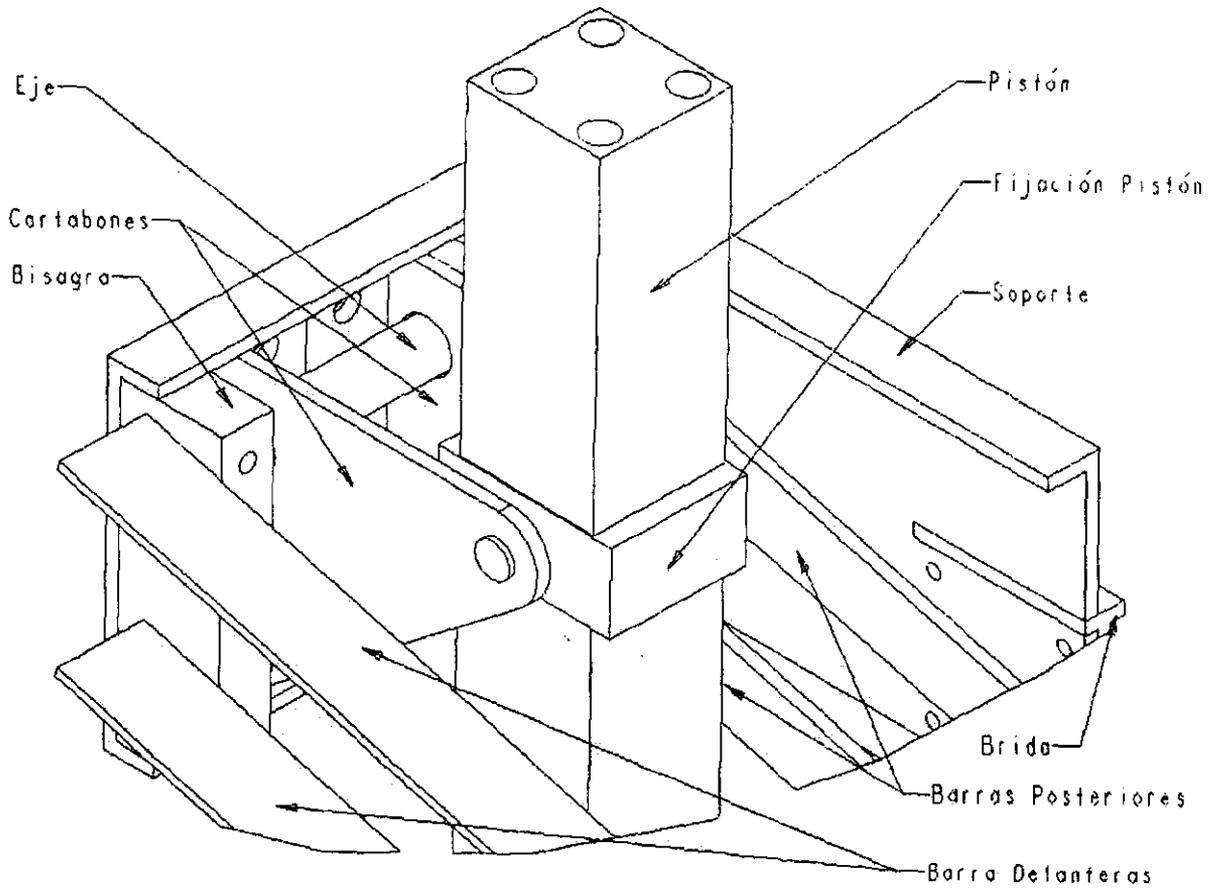


Figura 5.10 Rediseño del mecanismo y fijación del pistón - soporte



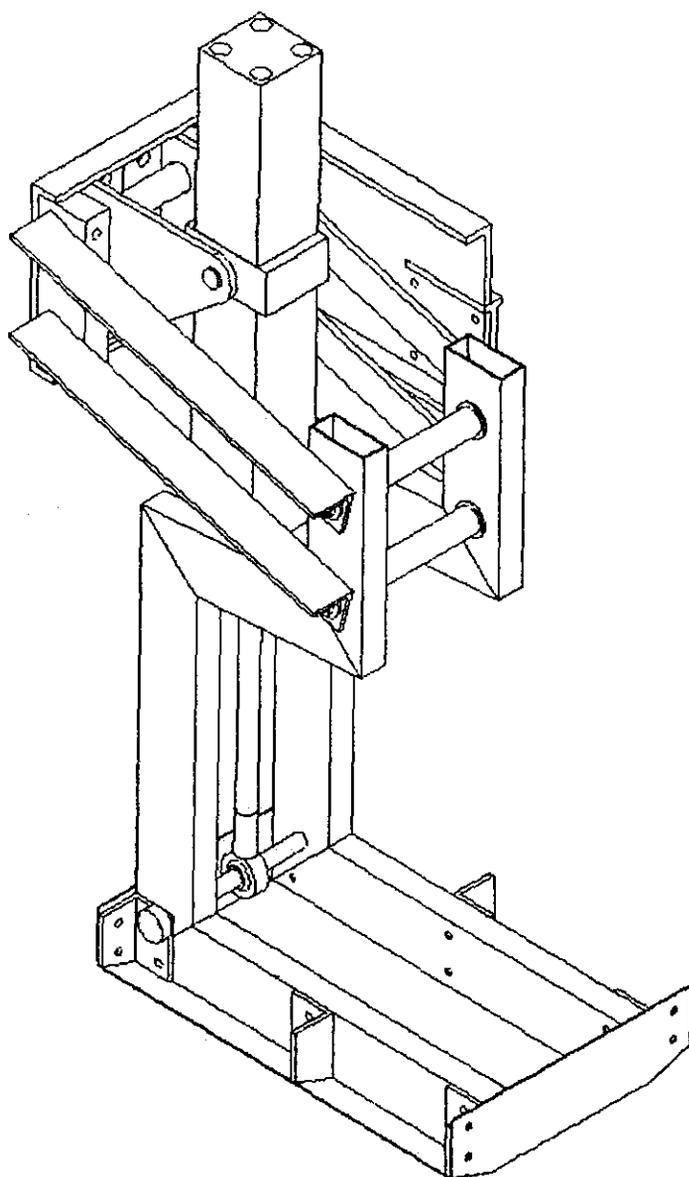


Figura 5.11 Prototipo de la pata

5.3.1 Resultados

Como podemos apreciar en las figuras 5.12 - 5.17 la deformación disminuyó en promedio el 62.9%, siendo el máximo en el modelo de 2.48 cm y reduciendo a tan sólo a 0.92 cm.

Parte de este logro se debe a las costillas colocadas en el soporte y al ángulo colocado en la parte delantera del mecanismo. También podemos apreciar que el pistón sufre menos daño y el peso está mejor repartido.

5.4 RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se presentaron una serie de problemas, los cuales hacían que se detuviera la fabricación del robot, o fuera más lenta, es por eso que a continuación se enuncian algunos de los problemas a los que nos enfrentamos y la forma en que se debe resolver esta clase de problemas. Estos están clasificados de acuerdo a la actividad a la que pertenecen.

5.4.1 Recomendaciones de Manufactura

- Nunca diseñes un robot caminador cuatro meses antes de un competencia, principalmente cuando tu escuela es la sede del evento.

- *Es recomendable probar el robot por lo menos un mes antes del evento, esto con la finalidad de que todas las piezas se asienten, para luego ver los defectos que se lleguen a presentar y tener tiempo para poder corregir.*
- *Recuerda, si un diseño es malo desde un principio, por más que se intente corregir, éste se quedará así.*
- *Procura dedicar todo el tiempo necesario, aunque sea bastante tedioso; para realizar la manufactura de las piezas*
- *El aluminio es un material bastante difícil de soldar con arco eléctrico, ten en mente esto, ya que al momento de soldar, te va a quedar un acabado bastante feo; si tienes otra manera para soldar aluminio, ya sea MIG o TIG, júsala!*
- *Lo anterior nos lleva a una cosa, la precisión, si tus piezas van acumulando defectos éstos al final se convierten en un problema, ya que los errores se suman. Si tus piezas las puedes hacer utilizando control numérico, vale la pena perder un día haciendo el programa, ¡ya verás la diferencia!*

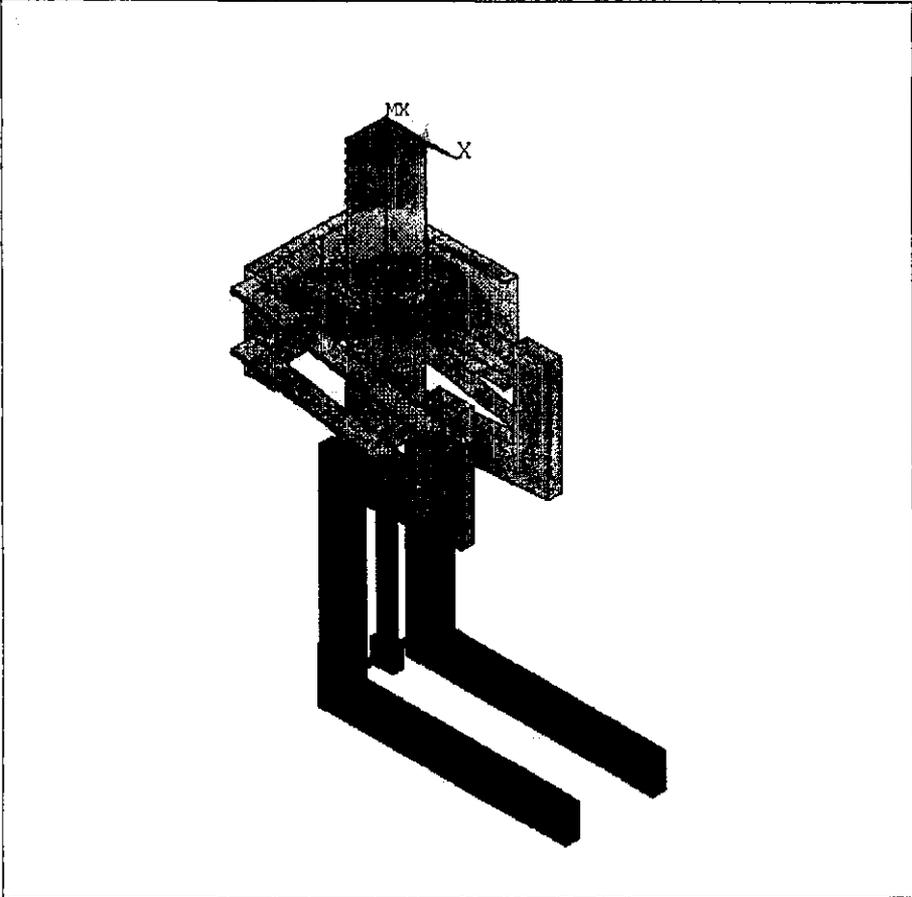
5.4.2. Recomendaciones de Neumática

- *Un problema muy serio es la alimentación por medio de mangueras, ya que hay mangueras flexibles y otras que no lo son tanto, pueden llegar a estrangularse, y esto sí es un verdadero problema a la mitad de una competencia.*
- *Si no tienes un manómetro conectado a los tanques colócales una etiqueta de color verde para identificar los tanque que estén llenos de aire, y al momento de cambiar el tanque*

inmediatamente poner una roja para indicar que está vacío, ya que puedes cometer el error de colocar el vacío en vez de uno lleno.

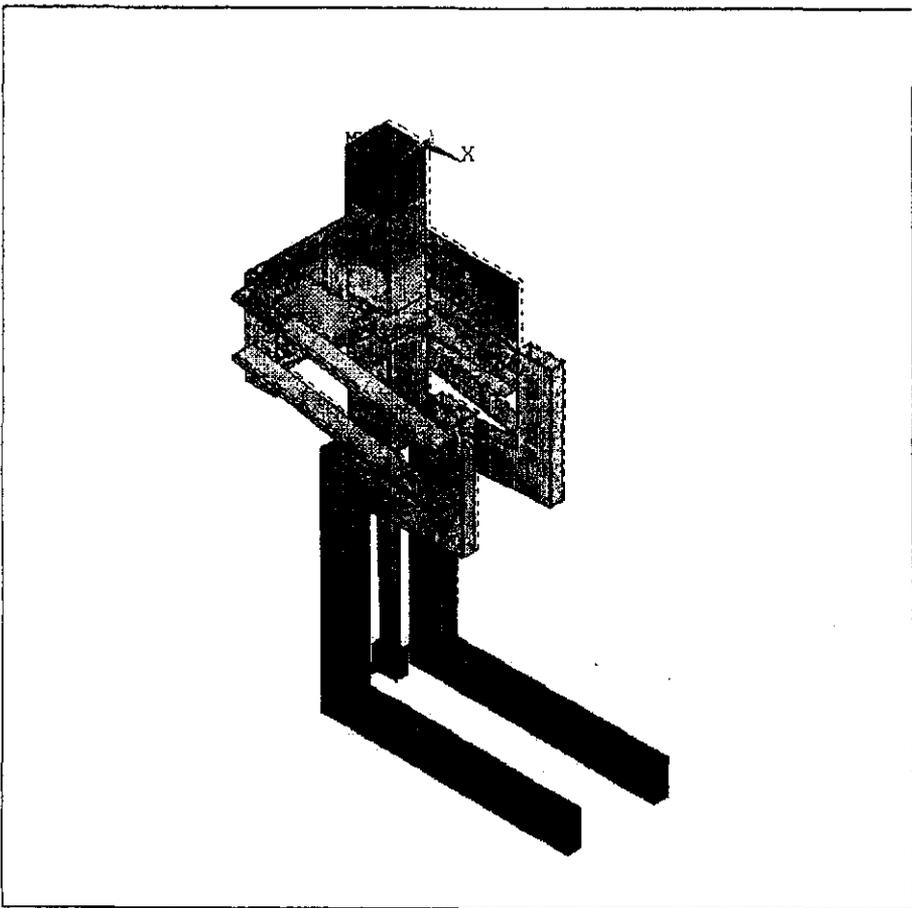
- No está por demás el revisar que todas las mangueras estén debidamente insertadas en los conectores, esto para evitar el desprendimiento de alguna cuando esté trabajando a presión.
- Aunque no se habló mucho del sistema neumático el robot utilizó mangueras de diámetro de 6 mm para todas las conexiones, esto puede ocasionar caídas de presión sobre todo en las líneas de distribución haciendo que no se cubra el gasto de los diferentes actuadores, por lo que será necesario cambiar el diámetro de la manguera a un diámetro de 8 mm para las líneas de alimentación a partir del regulador de presión incluyendo el tramo de la válvula a los actuadores lineales, el tramo entre las válvulas y los cilindros neumáticos conservarán el diámetro de 6 mm.
- Para poder lograr la mayor velocidad de los actuadores y cilindros es necesario calibrar los reguladores de caudal, de tal manera que no se presenten caídas de presión o trabaje demasiado despacio.
- Una vez calibrada la velocidad es conveniente calibrar las amortiguaciones neumáticas ya que de lo contrario se presentarían ruidos propios de la cabeza del émbolo o simplemente no completaría la carrera

Figura S.12 Resultados ANSYS (Prototipo Pata), Caso 1 ó 5, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
FEB 15 1999  
16:48:04  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =.084758  
SMX =.084758  
0  
[Color Swatch] .009418  
[Color Swatch] .018835  
[Color Swatch] .028253  
[Color Swatch] .03767  
[Color Swatch] .047088  
[Color Swatch] .056505  
[Color Swatch] .065923  
[Color Swatch] .07534  
[Color Swatch] .084758
```

Figura 5.13 Resultados ANSYS (Prototipo Pata), Caso 2, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
FEB 15 1999  
16:53:24  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =.603952  
SMX =.603952  
0  
.067106  
.134212  
.201317  
.268423  
.335529  
.402635  
.469741  
.536847  
.603952
```

Figura 5.14 Resultados ANSYS (Prototipo Pata), Caso 3, Deformaciones, Isométrico

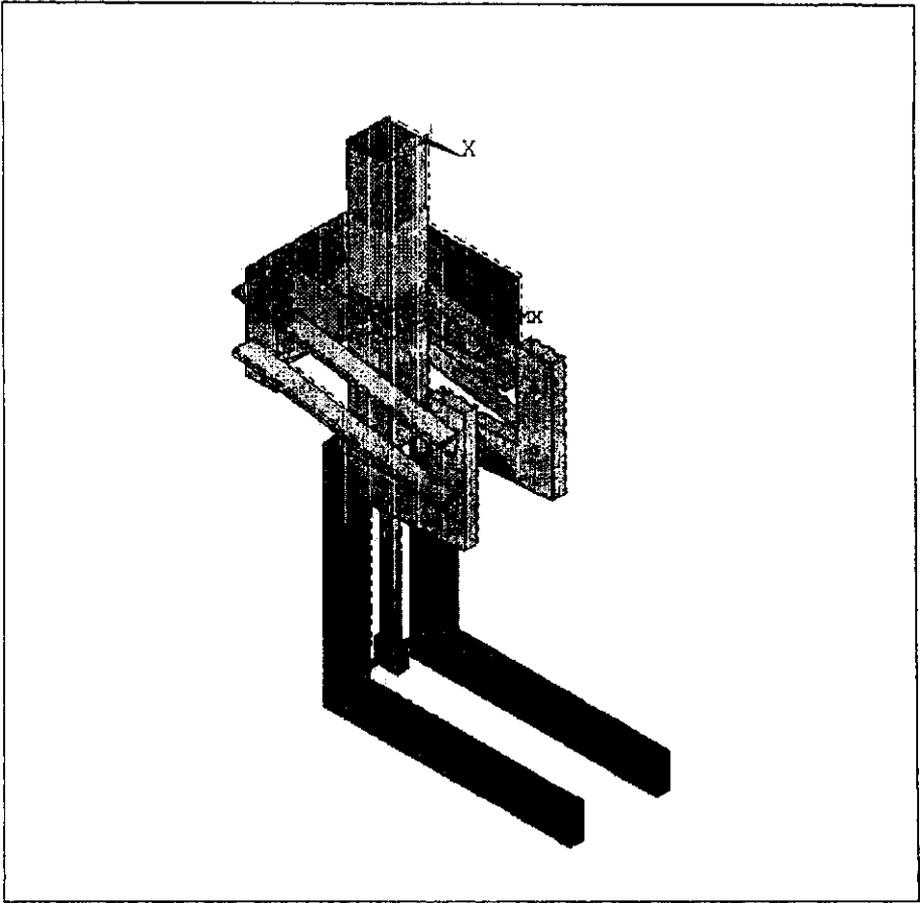
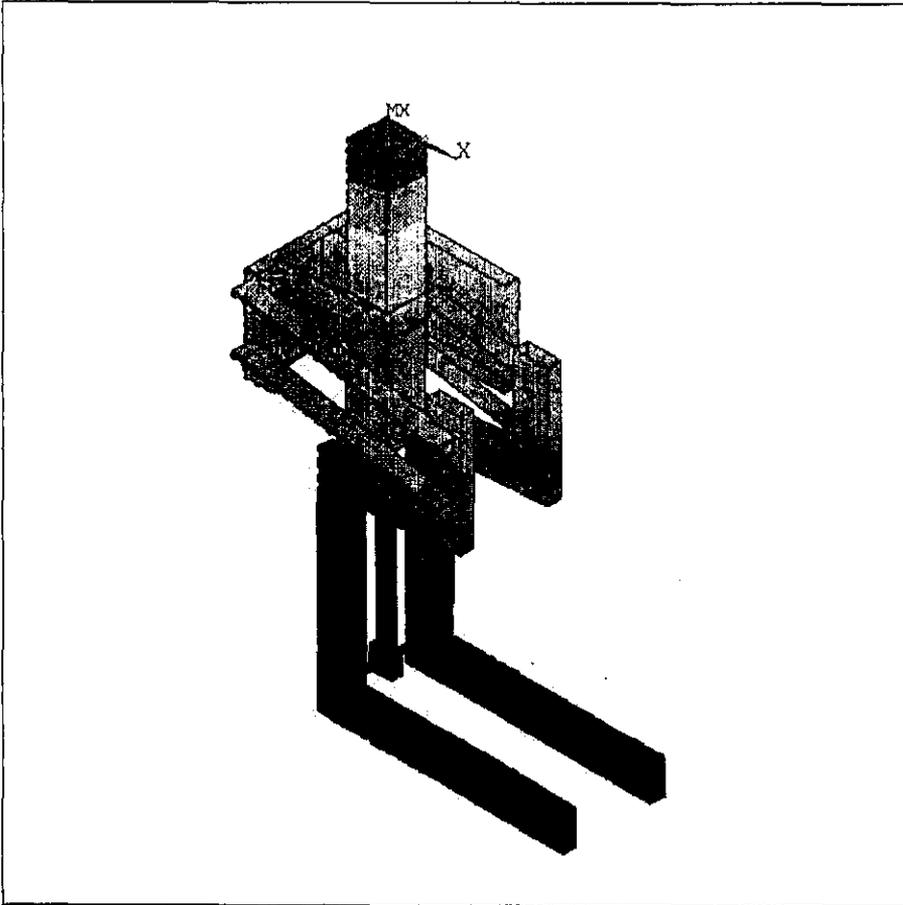
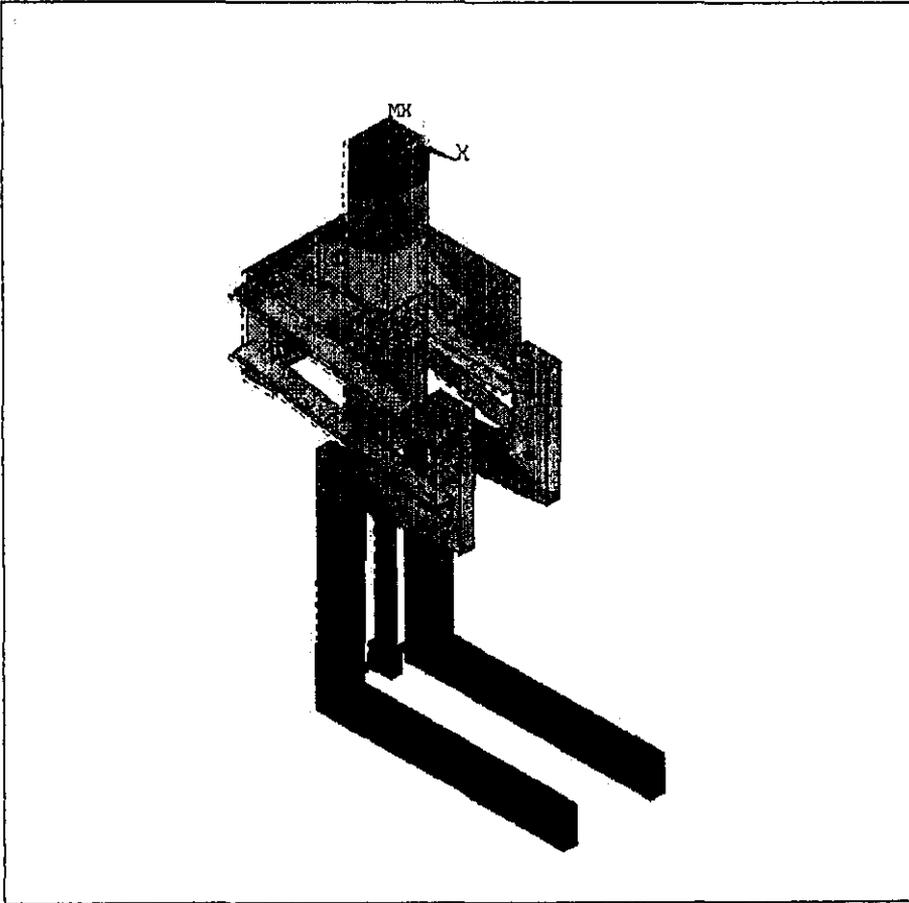


Figura 5.15 Resultados ANSYS (Prototipo Para), Caso 4 6 8, Deformaciones, Isométrico



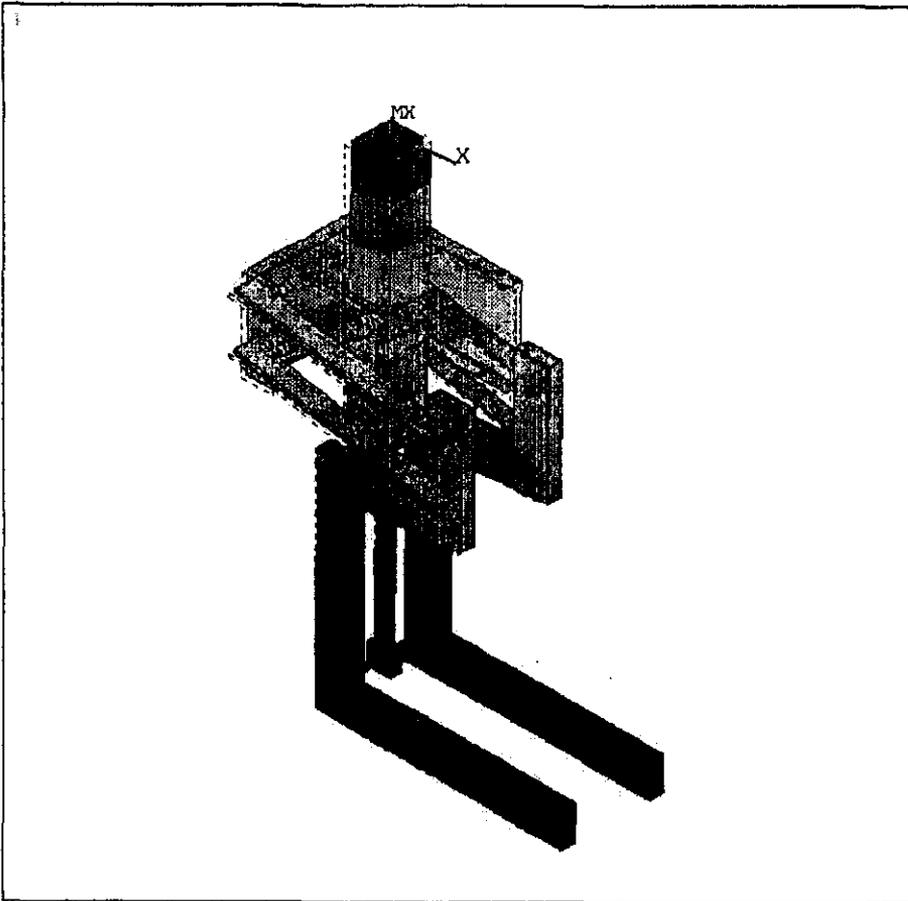
```
ANSYS 5.5.1  
FEB 15 1999  
17:00:19  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM      (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =.247397  
SMX =.247397  
0  
0.027489  
0.054977  
0.082466  
0.109954  
0.137443  
0.164932  
0.19242  
0.219909  
0.247397
```

Figura 5.16 Resultados ANSYS (Prototipo Pata), Caso 6, Deformaciones, Isométrico



```
ANSYS 5.5.1  
FEB 15 1999  
17:06:29  
NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
USUM (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =.745403  
SMX =.745403  
0  
■ .082823  
■ .165645  
■ .248468  
■ .33129  
■ .414113  
■ .496935  
■ .579758  
■ .66258  
■ .745403
```

Figura 5.17 Resultados ANSYS (Prototipo Pata), Caso 7, Deformaciones, Isométrico



ANSYS 5.5.1
FEB 15 1999
17:09:01
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.916137
SMX =.916137
0
■ .101793
■ .203586
■ .305379
■ .407172
■ .508965
■ .610758
■ .712551
■ .814344
■ .916137

CONCLUSIONES

Este trabajo ha representado el esfuerzo de dos años de investigación, desde el diseño del robot a cuatro meses de la competencia, su construcción; bastante apresurada por cierto; el desempeño en la competencia y por último el análisis de por qué un séptimo lugar. A continuación se mencionaran las conclusiones a las que se llegó, éstas van a estar clasificadas dependiendo del área.

Conclusiones del Rediseño

- Este prototipo cumple todos los objetivos antes señalados, es capaz de poder cumplir con las 10 pruebas de la competencia, aunque la prueba de retención de objetos va a depender del sistema que se tenga para poder tomar el objeto (la bola de billar).
- El robot puede cruzar la grieta sin ningún problema por cuestiones de espacio la distancia entre patas es de 35 cm, lo necesario para poder pasar de un lado para el otro.

- Tal vez una de las pruebas más difíciles de pasar serán las llantas ya que el pie es lo bastante ancho y largo como para no caber dentro de la llanta, pero esto no es problema si se quiere pasar por encima ya que ayuda a tener un mejor apoyo.
- Para la prueba de las llantas como para la rampa, van a depender del sistema de giro que se tenga, ya que si se utiliza el mismo sistema de giro va a ser necesario retirar la base de giro para poder pasar estas pruebas, ya que de lo contrario se atoraría la base de giro con las llantas o con el cambio de pendiente de la rampa respectivamente.
- Las pruebas donde interviene el cono también dependerán del sistema que se utilice o simplemente las patas del robot como se hizo en la competencia.
- Todo lo anterior se reduce a una cosa, *AUTOMATIZACION*, un robot que compite en esta clase de eventos, si es el más rápido, puede llegar a ganar, siempre y cuando su rival más cercano no haga las pruebas en forma automática. Ya que de poder hacerlo tiene un factor de peso mayor (dependiendo de la prueba) que si se hubiera hecho en forma manual. Esto implica pasar el mayor número de pruebas en forma autónoma y no ser el mas rápido de la competencia. El prototipo que se tiene no va a ser el más rápido de la competencia, pero automatizándolo tendrá muchas ventajas sobre sus competidores.

Conclusiones de Neumática

- Lamentablemente el prototipo se hizo más pesado que el modelo lo que va a afectar en la velocidad de los actuadores lineales, la cual va a estar por debajo de 0.3 m/s (1.08 km/h), ya que de lo contrario se presentarían caídas de presión, un fenómeno ocasionado por los tanques.

Conclusiones de Simulación por Computadora.

- Fue muy útil trabajar con un programa de dibujo Pro Engineer, el cual nos podía dar los datos aproximados del centro de masa y la masa de las diferentes piezas, para luego utilizar estos cálculos en el programa de Festo.
- Las simulaciones dinámicas fueron de gran ayuda para poder visualizar el funcionamiento del robot, incluso en los puntos donde se podría llegar a tener interferencia entre dos piezas, como lo son las patas del robot.
- Con la simulación dinámica fue posible predecir la forma en la que el robot podría pasar la prueba de la rampa y la distancia a la que debería estar éste para poder dar el primer paso.
- Con lo anterior quiero decir que las técnicas de simulación (siempre y cuando los modelos con los que se trabaje sean buenos) nos ayudan a visualizar los problemas antes de que éstos se presenten, y tomar las medidas necesarias para poder enfrentarlos, en este trabajo no se

ve todo su potencial, vale la pena invertir un tiempo en la realización de un modelo para ver los problemas a los que éste se llegue a enfrentar.

- La simulación por elemento finito nos ayudó para poder dar una representación gráfica de lo que pasaba entorno a la pata del robot, hablando de deformaciones y esfuerzos

A continuación se muestran las ventajas y desventajas del prototipo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Rigidez en la patas del robot	• Es más pesado
• Se puede automatizar	• Puede llegar a ser más lento
• El pistón ya no se somete a flexiones	
• Se pueden completar al menos 9 de 10 pruebas (ya que la prueba de retención de objetos va a depender del sistema que se tenga)	

Tabla 1 Ventajas y desventajas del prototipo

Aportaciones de este trabajo

- Se tienen un resumen de la historia de los robots caminadores desde sus comienzos en el S. XIX a la fecha, con robots de la tercera generación.
- Estudio y análisis de las fallas del robot durante su desempeño en la competencia
- El uso de dos técnica de simulación por computadora una dinámica Working Model y la otra de elemento finito ANSYS.
- Sugerencias basadas en la experiencia obtenida para lograr mejores resultados futuros en competencias similares.

BIBLIOGRAFIA

1. Automatizar con neumática,
Catalogo Básico, Festo Pneumatic

2. BEER Ferdinand P, JOHNSTON E. Rusell Jr, Mecánica Vectorial para Ingenieros,
Dinámica, México, Mcgraw Hill, 1989, 5ª ed.,

3. BEER Ferdinand P, JOHNSTON E. Rusell Jr, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática
México, Mcgraw Hill, 1989, 5ª ed.,

4. BEER Ferdinand P, JOHNSTON E. Rusell Jr, Mecánica de Materiales
México, Mcgraw Hill, 1994, 2ª ed.,

5. BERNIS, Karsten, Walking Machine Catalog, internet,
http://www.fx1.de/divisions/ipt/WMC/Walking_Machine_Katalog/Katalog.html

6. BRIONES, Leoncio, Diseño y Construcción de un Sistema Robótico Móvil Teleoperado: Sistema Motriz, Universidad de Navarra, España, 1996
7. COIFFET, CHIROUZE, Elementos de Robótica
España, Gustavo Gili, 1986, pp 9-13
8. GROOVER, Mikell, Robótica Industrial, Mcgraw Hill, España, 1989,
9. JAMSHIDI, EICKER, Robotics and remote systems for hazardous enviroments,
Estados Unidos, Prentice Hall, 1993, pp 115-132
10. JIMÉNEZ, Pierre, Acotación Funcional,
México, Limusa, 1985
11. Mars Pathfinder, internet,
<http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/index0.html>
Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology and National Aeronautics and
Space Administration, Diciembre 1998
12. MAS, FERRER-ARPI, Automatismos Neumáticos y Oleohidráulicos/ Tecnología Pneuma,
España, Vicens-Vives, 1978

13. MCCLOY, D. Robótica: Una Introducción

México, Limusa, 1995, pp 97-103

14. Microrover Picture and Video Files, internet,

<http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/rovercom/pix.html>

Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology and National Aeronautics and Space Administration, Diciembre 1998

15. MILLAN, Salvador, Automatización Neumática y Electroneumática

México, Alfaomega, 1996

16. Pioneer Project, internet,

<http://www.cs.cmu.edu/~pioneer/>

The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Diciembre 1998

17. RedZone Robotics, internet,

<http://www.redzone.com/>

RedZone Robotics, Inc., Diciembre 1998

18. SAE, Paquete de Reglas, 1997

19. SHERIDAN, Thomas, Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, Estados Unidos, 1992, pp 1-7

20. Tessellator: Space Shuttle Tile Inspector, internet
<http://www.frc.ir.cmu.edu/~nivek/FRC/tessellator.shtml>
The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Diciembre 1998

21. The Honda Humanoid Robot, internet,
http://www.honda.co.jp/home/hpr/e_news/robot/index.html
Honda Motor Co., LTD., Diciembre 1998

22. The Nomad Robot, internet,
<http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/meteorobot/Nomad/Nomad.html>
The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Diciembre 1998

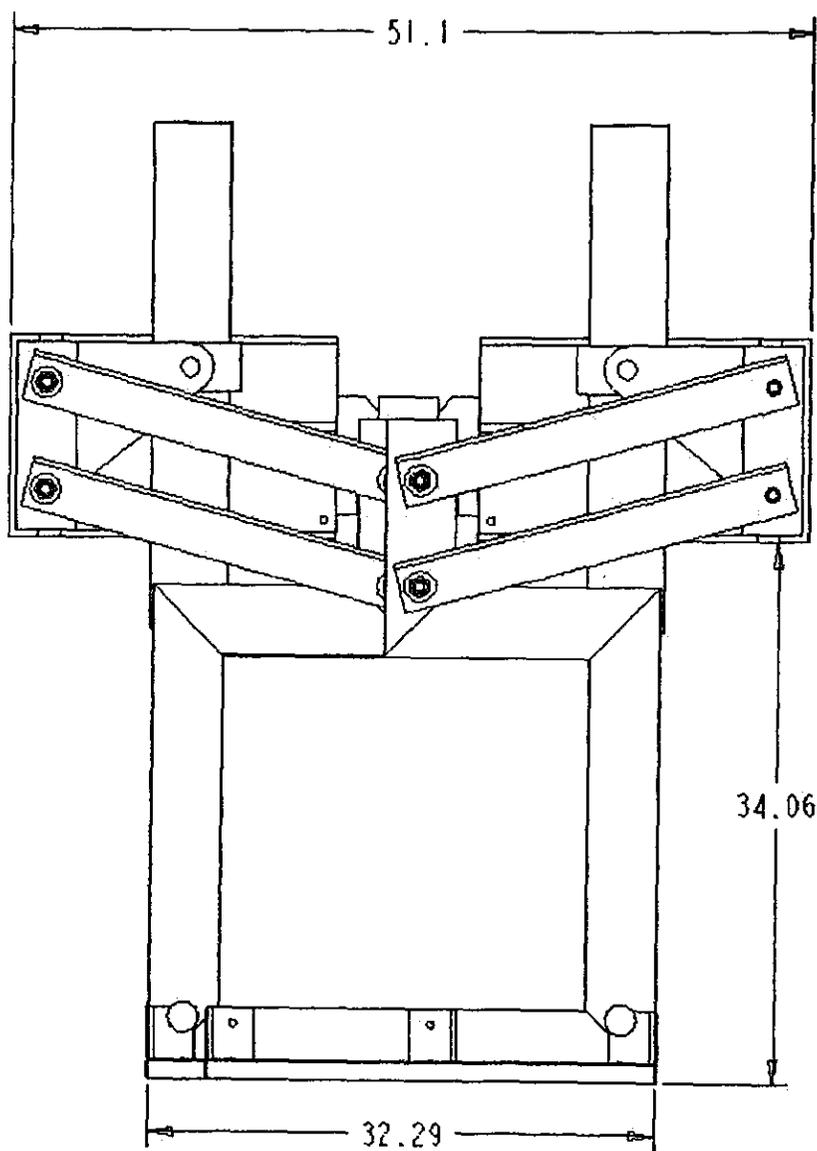
23. ZEPEDA, Jesús, Diseño del Sistema Mecánico de un Robot Caminador Neumático, Universidad Panamericana, México, 1997

A P E N D I C E A

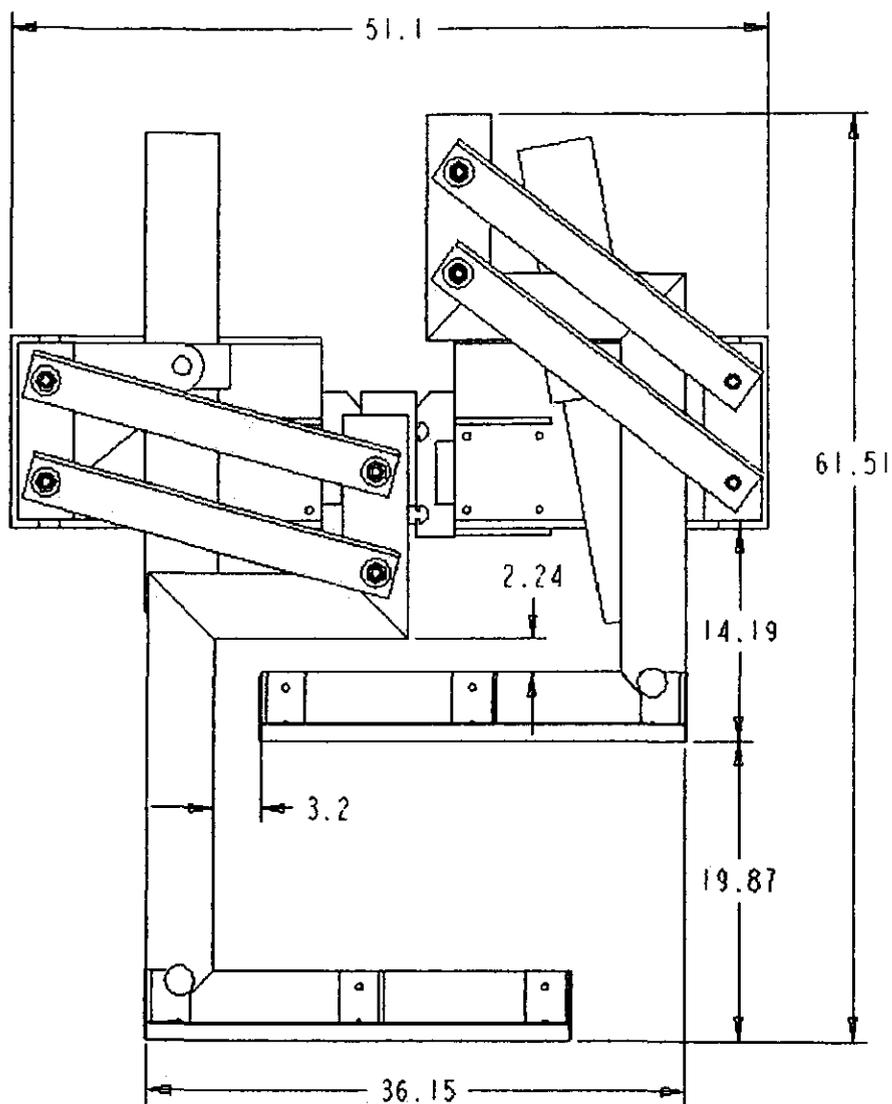
PLANOS DE ENSAMBLE

D E L R O B O T

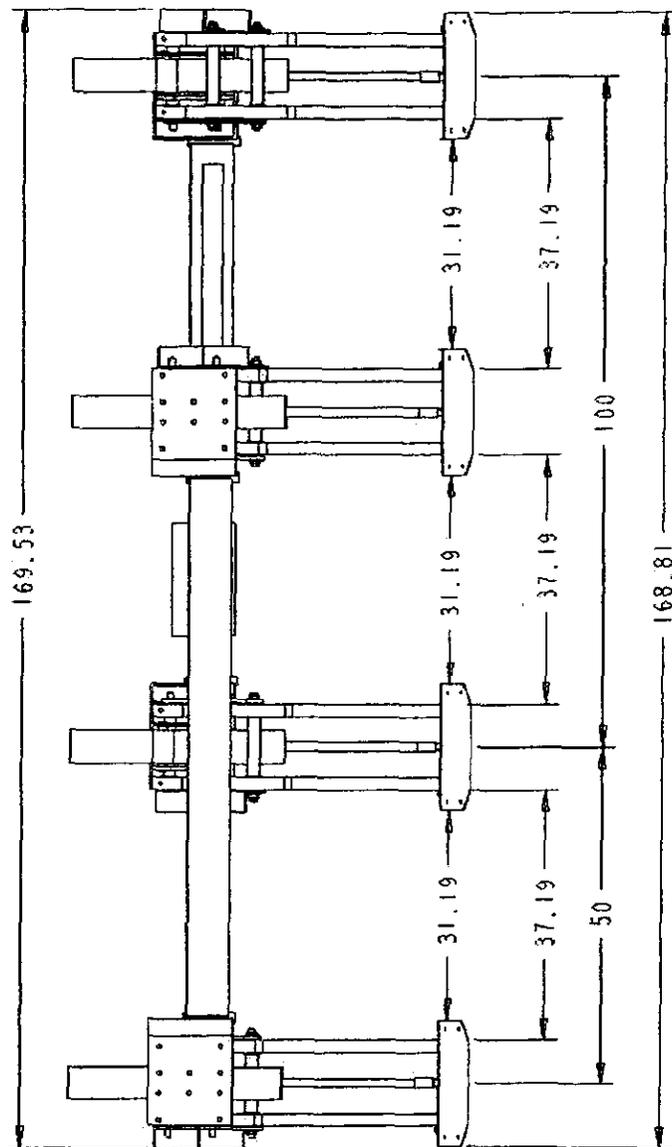
C I P A C T L I



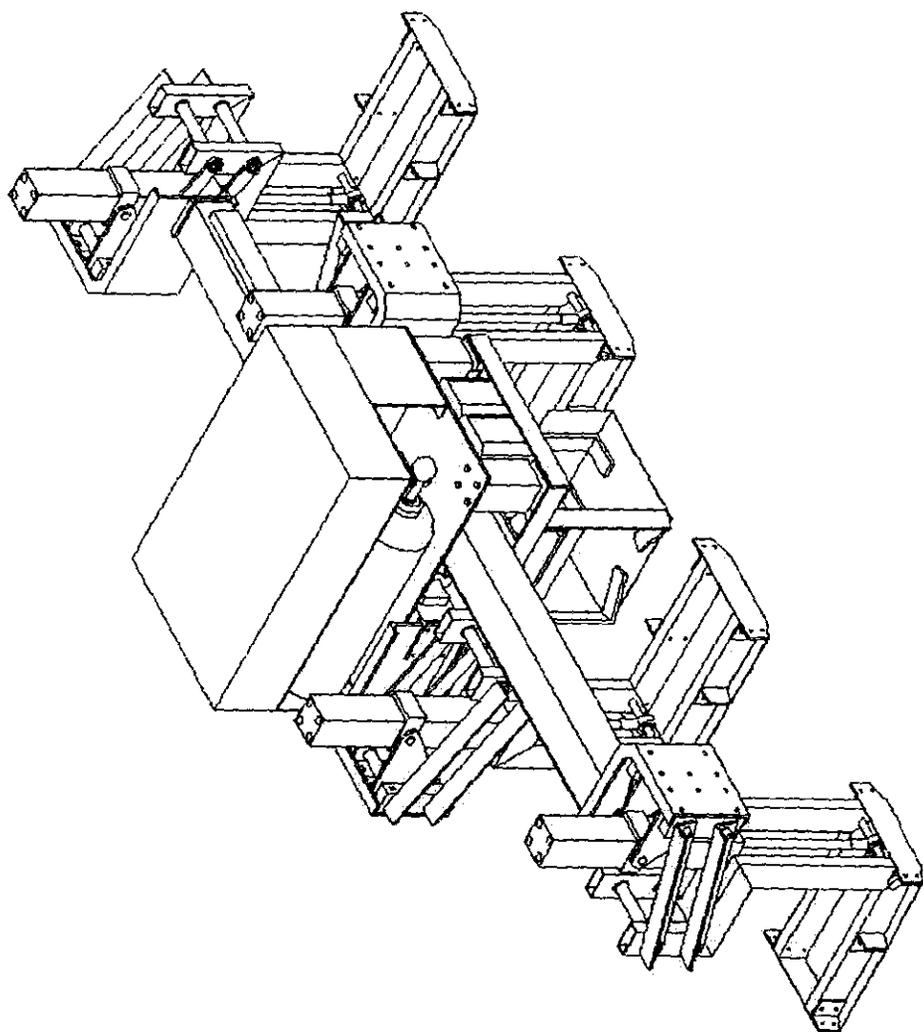
Frente del Prototipo, Robot en Reposo



Frente del Prototipo, Pata Izquierda Levantada



Costado del Prototipo, Robot en Reposo



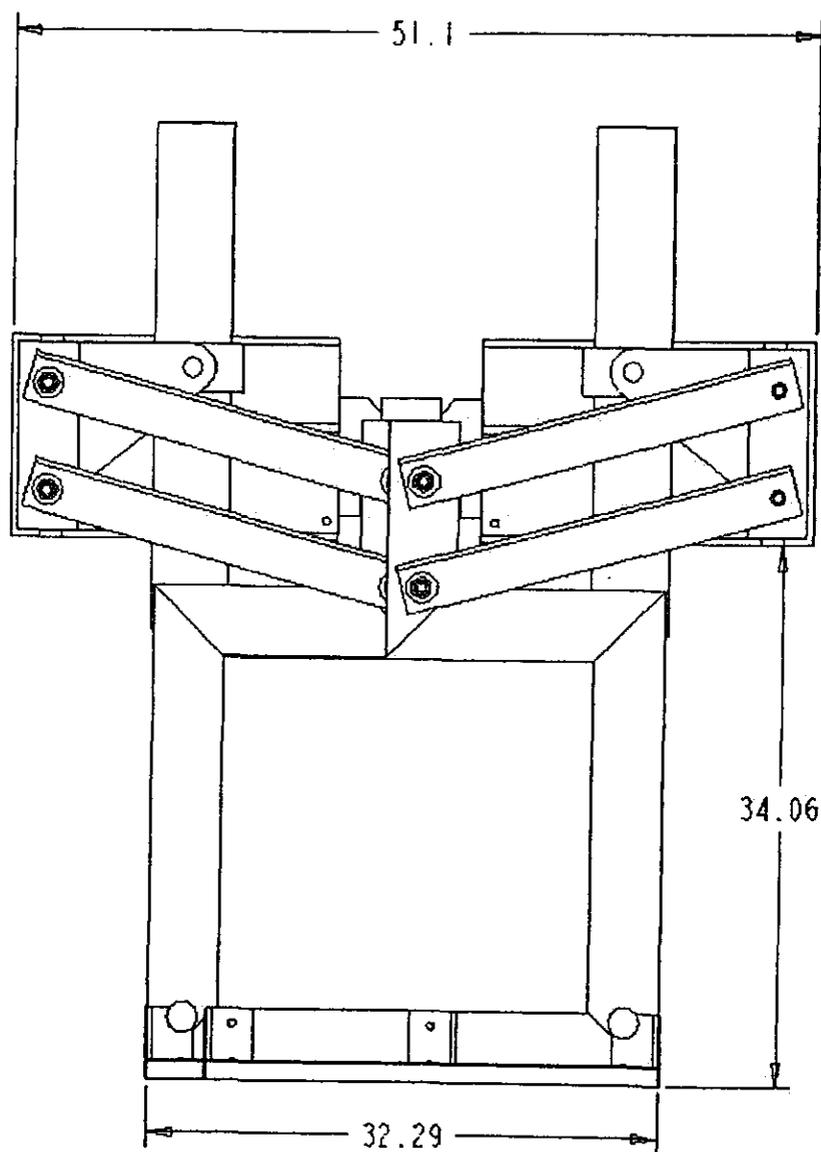
Vista General del Prototipo

A P E N D I C E A

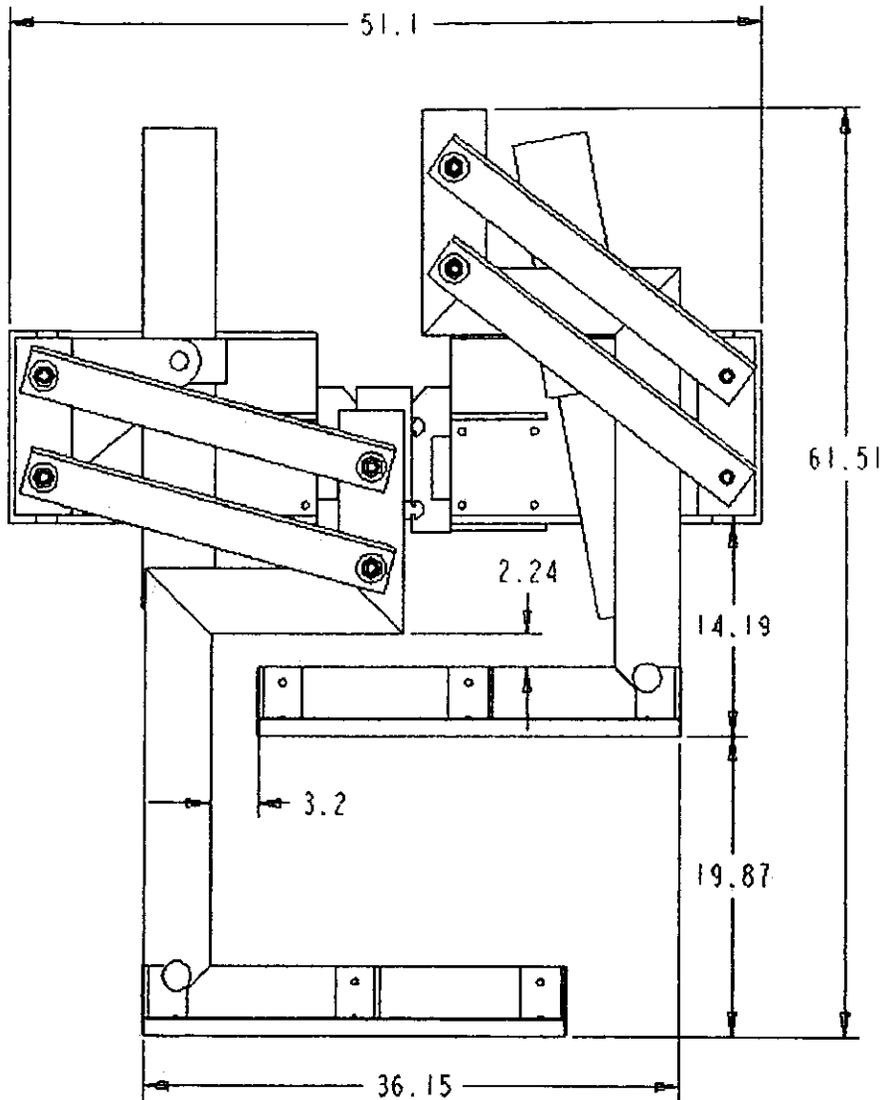
PLANOS DE ENSAMBLE

D E L R O B O T

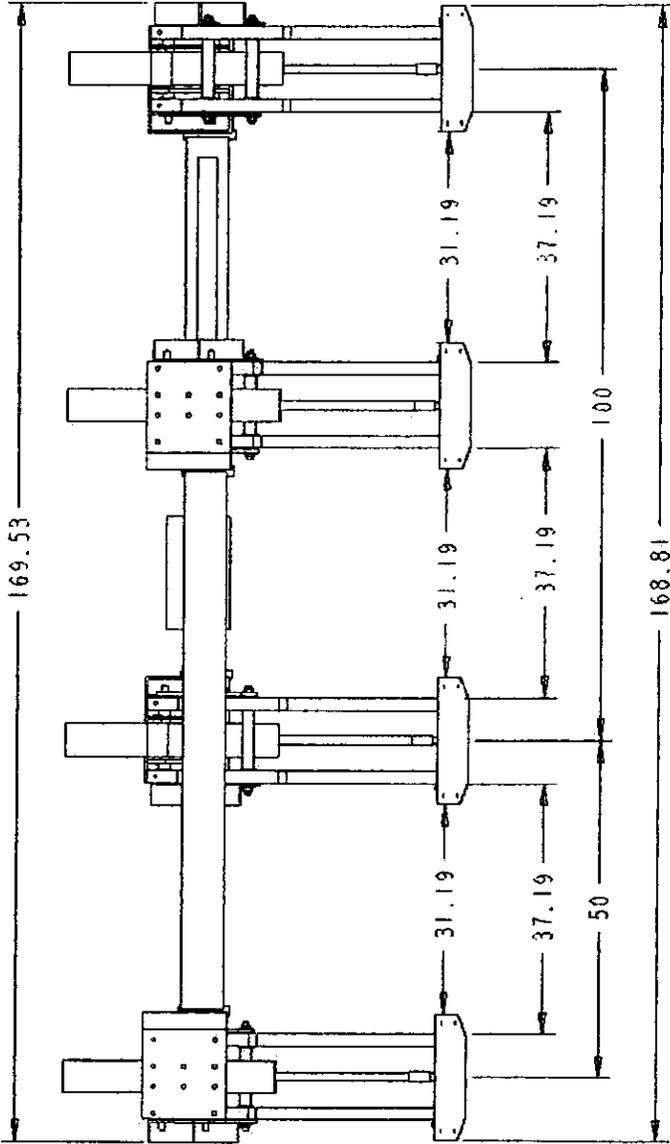
C I P A C T L I



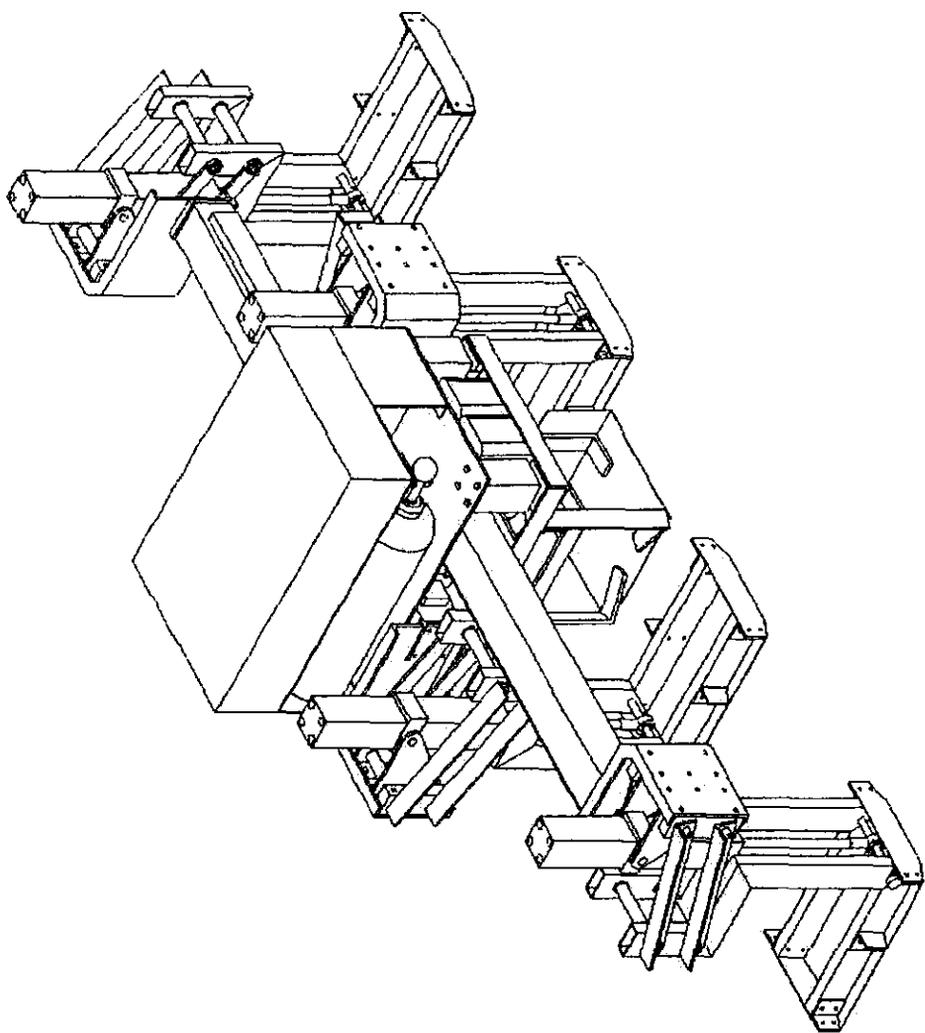
Frente del Prototipo, Robot en Reposo



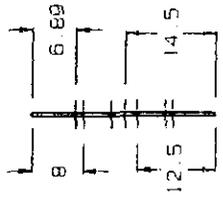
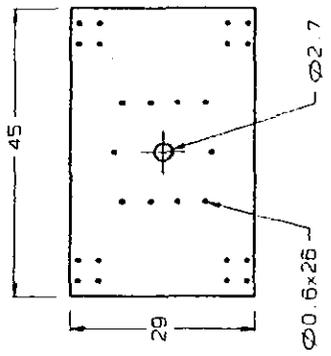
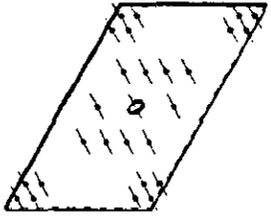
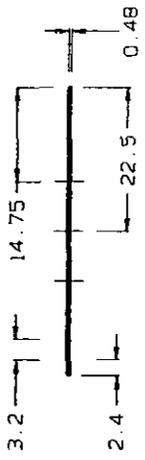
Frente del Prototipo, Pata Izquierda Levantada



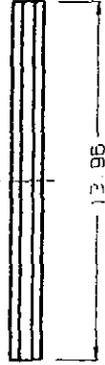
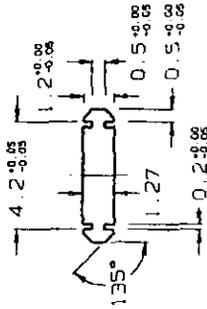
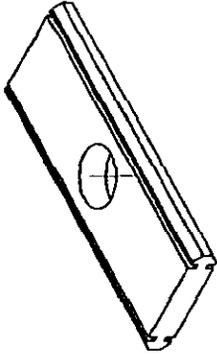
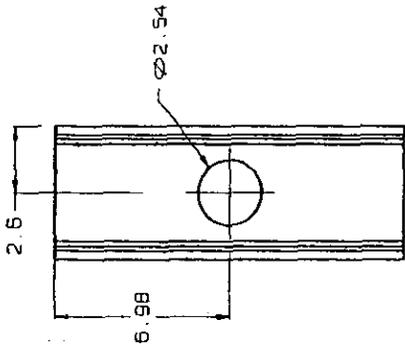
Costado del Prototipo, Robot en Reposo



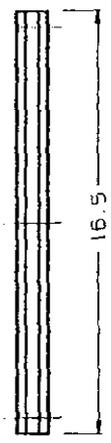
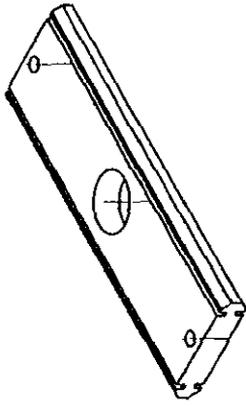
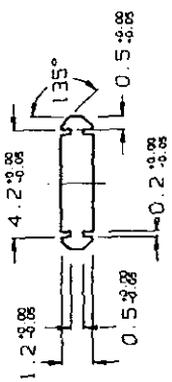
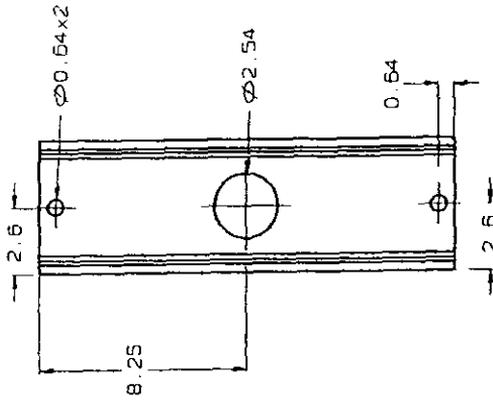
Vista General del Prototipo



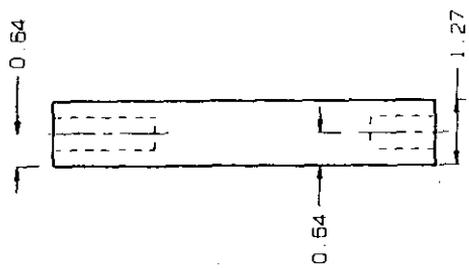
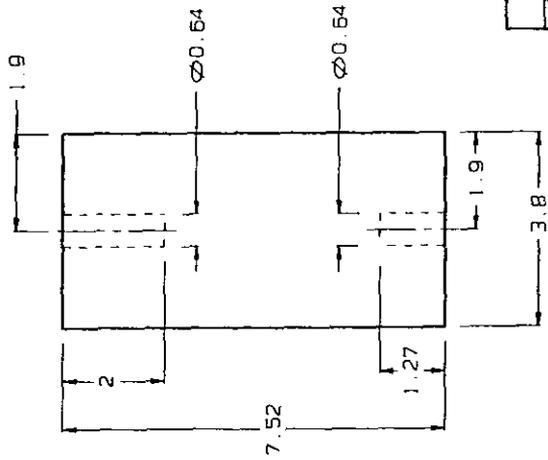
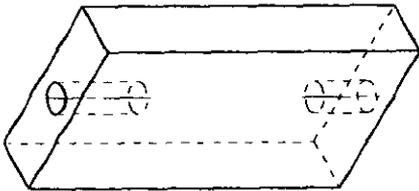
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont: 1	Act: cn	Piezo
Mat: Placa: Aluminio 3/16"		Placa Base	
			Esc: 1/8
			Plano: 3



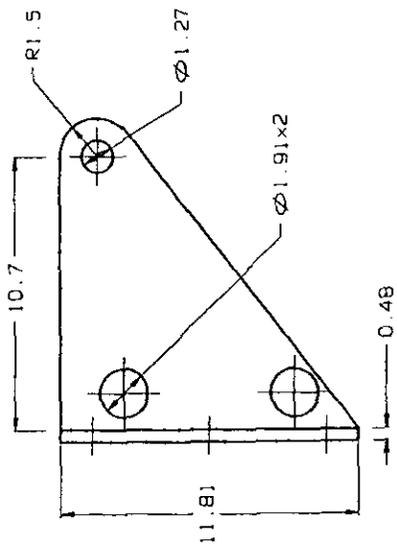
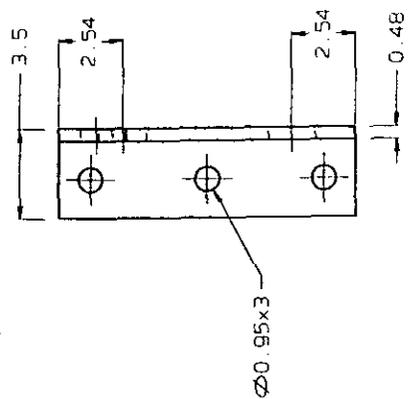
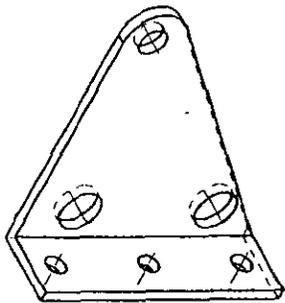
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont. 1	Act. CN	Esc. 1:2
Mat. Salero Aluminio	Pieza Sujetador Superior		Plano 4



OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont: 1	Act: cn	Pieza
Mat: Solero Aluminio		Sujetador Inferior	
			Esc: 1:2
			Plano 5

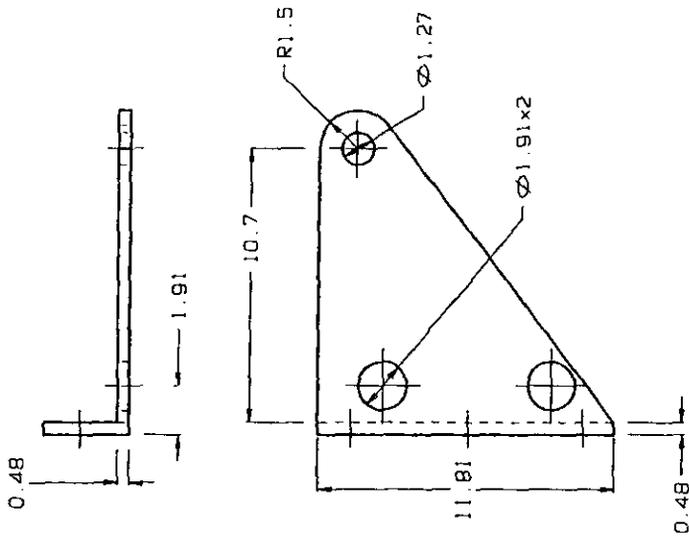
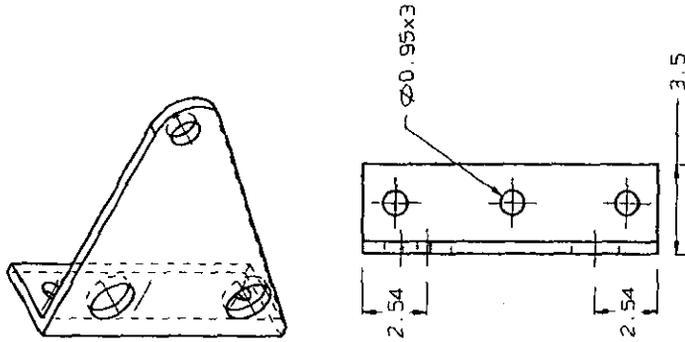


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			Esc. 1.º
	Cont. 2	Act. cn	Pieza Separador
Mat. Solera Aluminio			Plano 6

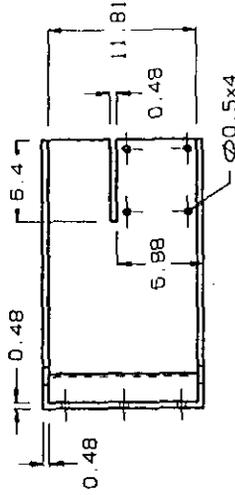
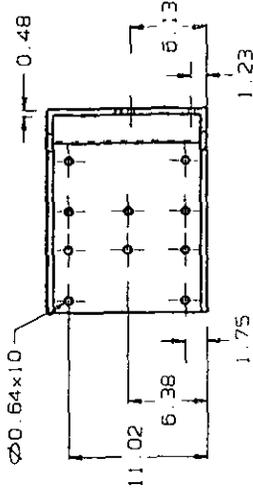
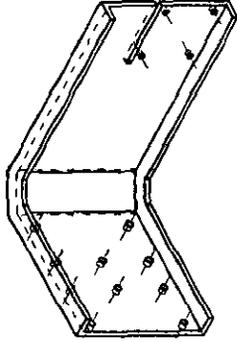
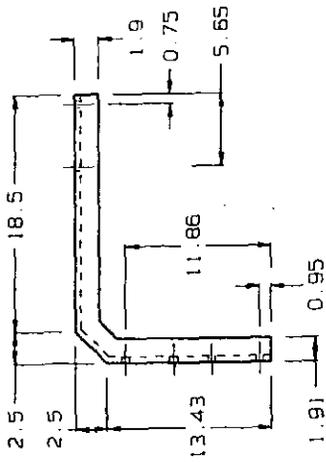


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont. 4	Act. cn	Pieza	ESC. : 2
	Mat. Placa Al. 3/16"		Cortabon Izquierdo	Plano 7

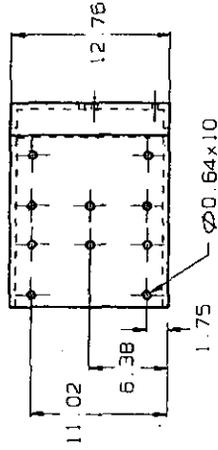
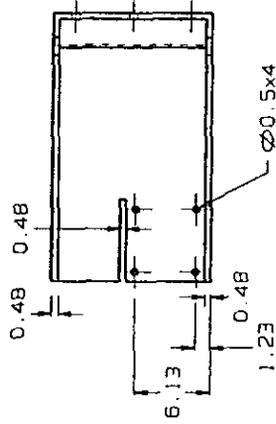
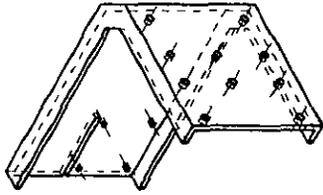
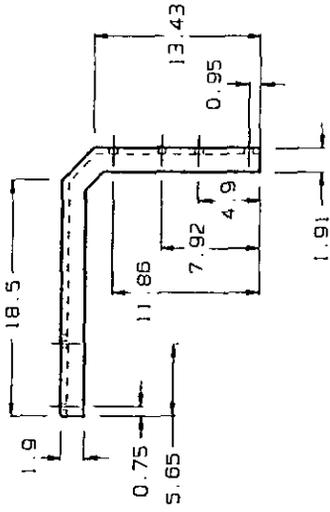


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont. 4	Act. cn	Piezo
Mat. Placa Al. 3/16"		Cantaban Derecho	
			Esc 1:2
			Plano B



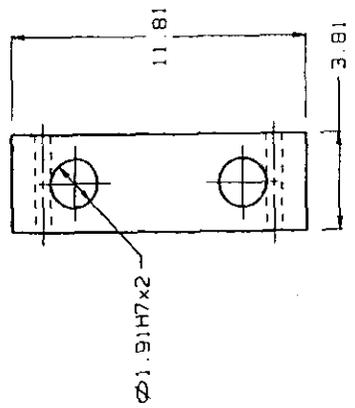
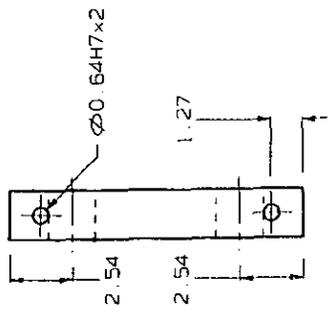
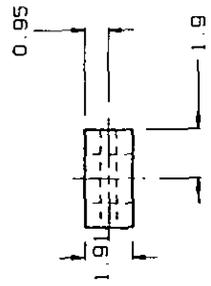
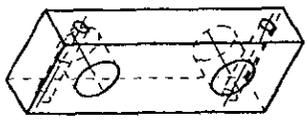
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont: 2	Act: cn	Piezo	Esc: 1:4
	Mat: Placa Al. 3/16"			Soporte Delantero

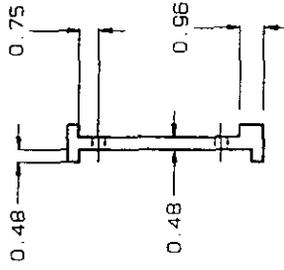
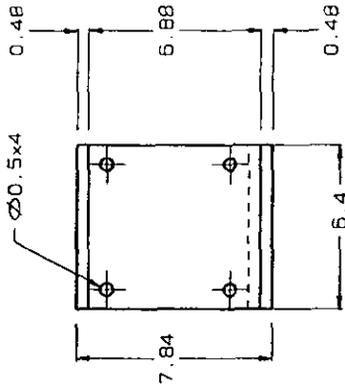
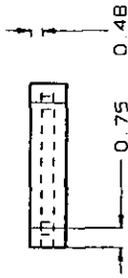
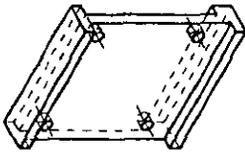


OSCAR IVAN JIMENEZ VILASENOR

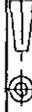
	Cont: 2	Act. cn	pieza	Esc. 1:4
	Mat. Placa Al. 3/16"		Soporte Posterior	Plano 10



OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			Esc : 12
	Cont: 8	Act. cn	Piezo : 1
Mat. Solera Aluminio			Piezo : 1
			Bisagra



OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR



Cont. 4

Act. cm

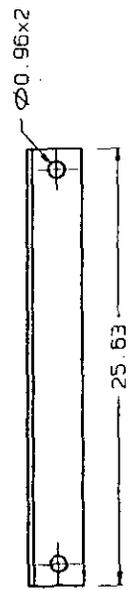
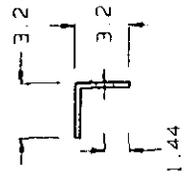
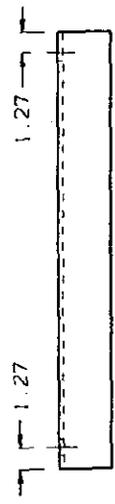
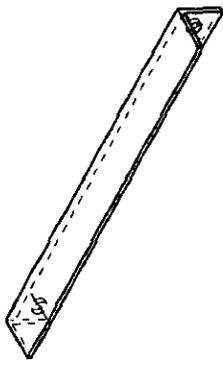
Piezo

Antigiro

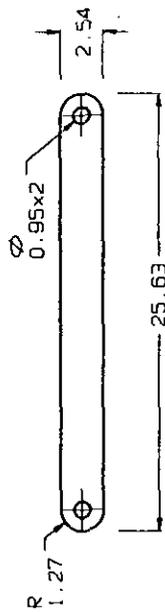
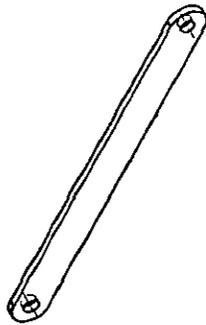
Esc. 1:2

Plano 12

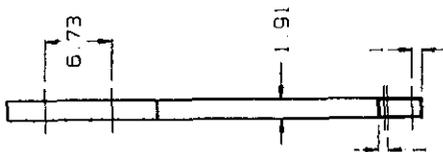
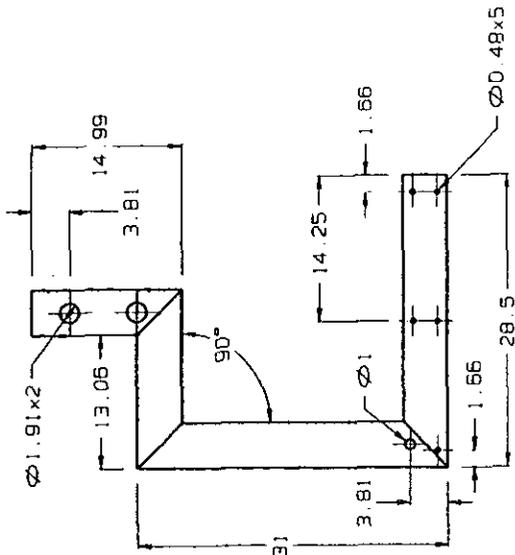
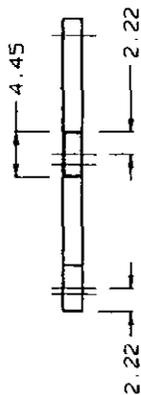
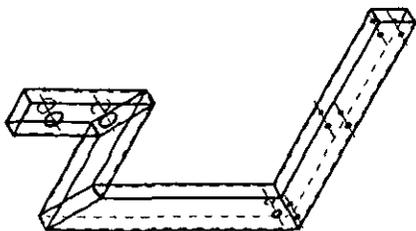
Mat. Solera Al 1/2"



OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont. 4	Act. cn	Piezo
Mat. Angulo 32x32mm		Barro Delonera	
			Esc. 1:3
			Plano 13

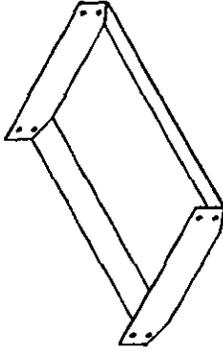
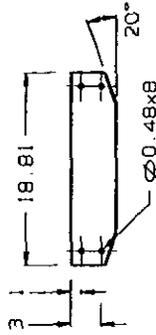
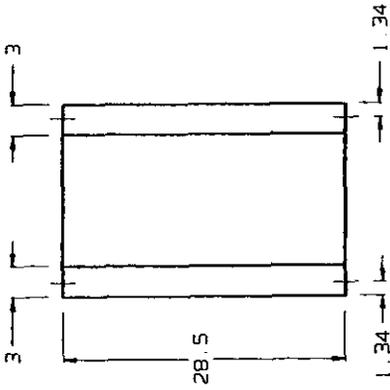


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR		
	Cont: 4	Act. en
Piezo		Barra Posterior
Esc. 1:3		Plano 14

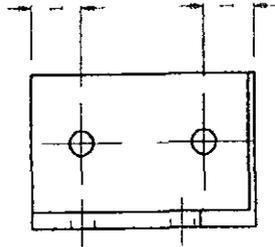
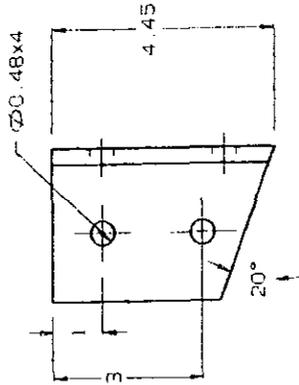
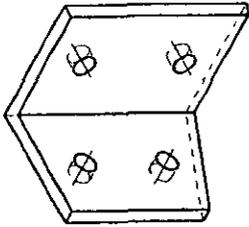
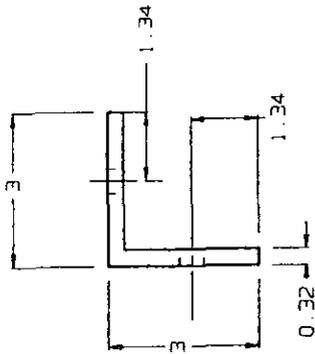


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont: 8	Act. CN	Pieza	Esc. 1:5
	Mot. Tubular Acero			Plano 15

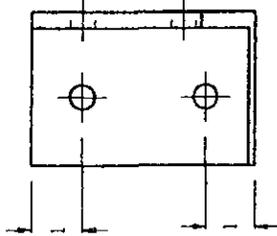
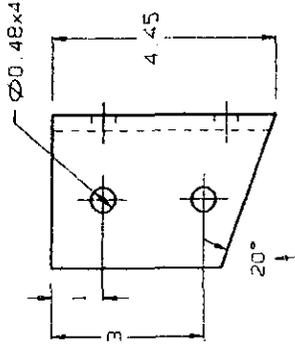
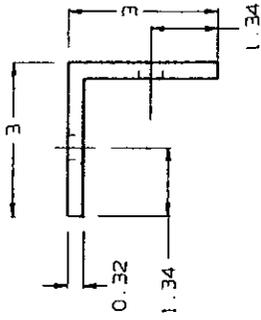
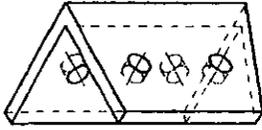


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont. 4	Act. CN	Pieza
Mat. Lámina Galva. Cal. 22		Soporte de la Suela Pivote	
			Esc. 1:5



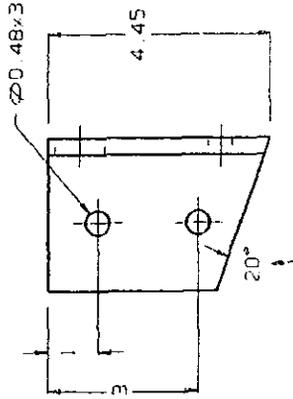
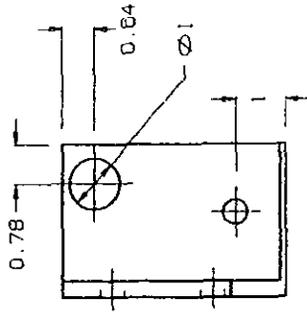
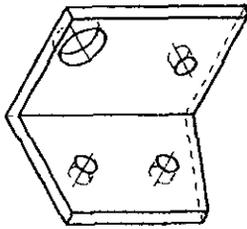
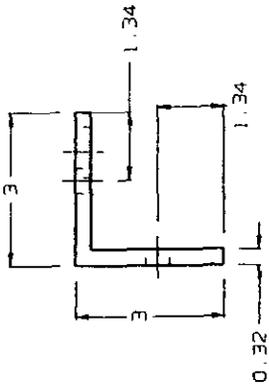
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont: 4	Act: cn	Piezo	Esc: 1:1
	Mot. Angulo 32x32mm		Angulo 1	Piezo: 1:1

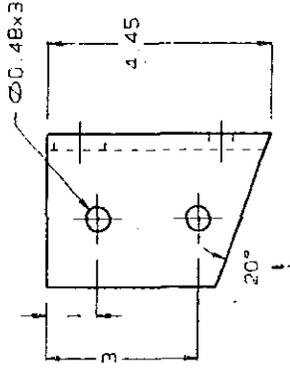
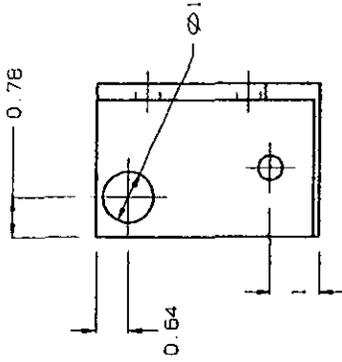
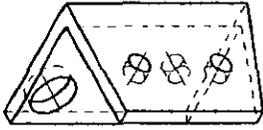
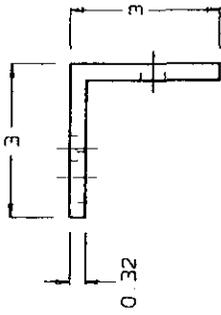


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cant: 4	Act: ch	Piezo	Esc 1:1
	Mat: Angulo 32x32mm		Angulo 2	Plano 19

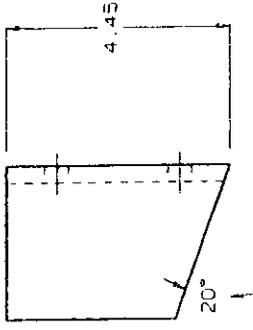
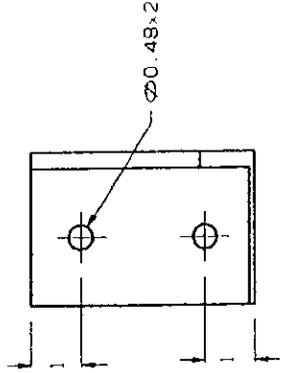
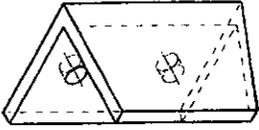
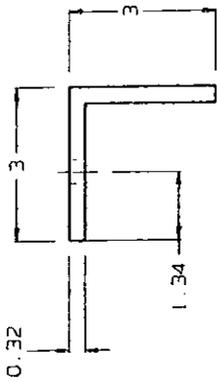


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASEDOR			
	Cont: 4	Act. cm	Pieza
	Mat. Angulo 32x32mm		Angulo 3
			Esc. 1:1
			Plano: 19



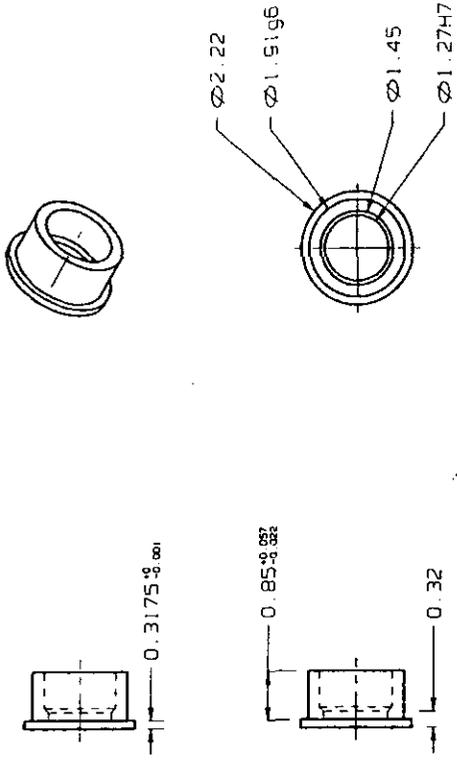
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont: 4	Act. cn	Pieza	Esc. 1:1
	Mat. Angulo 32x32mm		Angulo 4	Plano 20

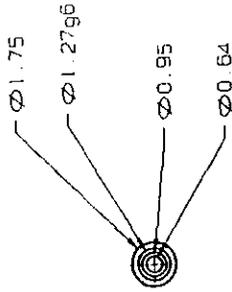
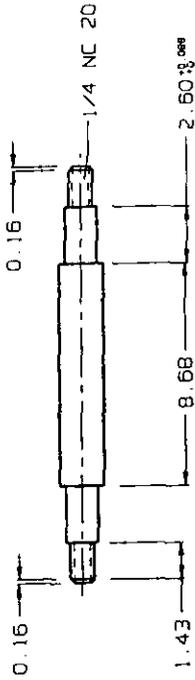
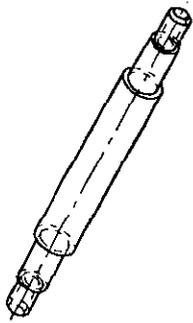


OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont: 4	Act. cm	Pieza	Esc: 1:1
	Mat. Angulo 32x32mm		Angulo 5	Plano: 21

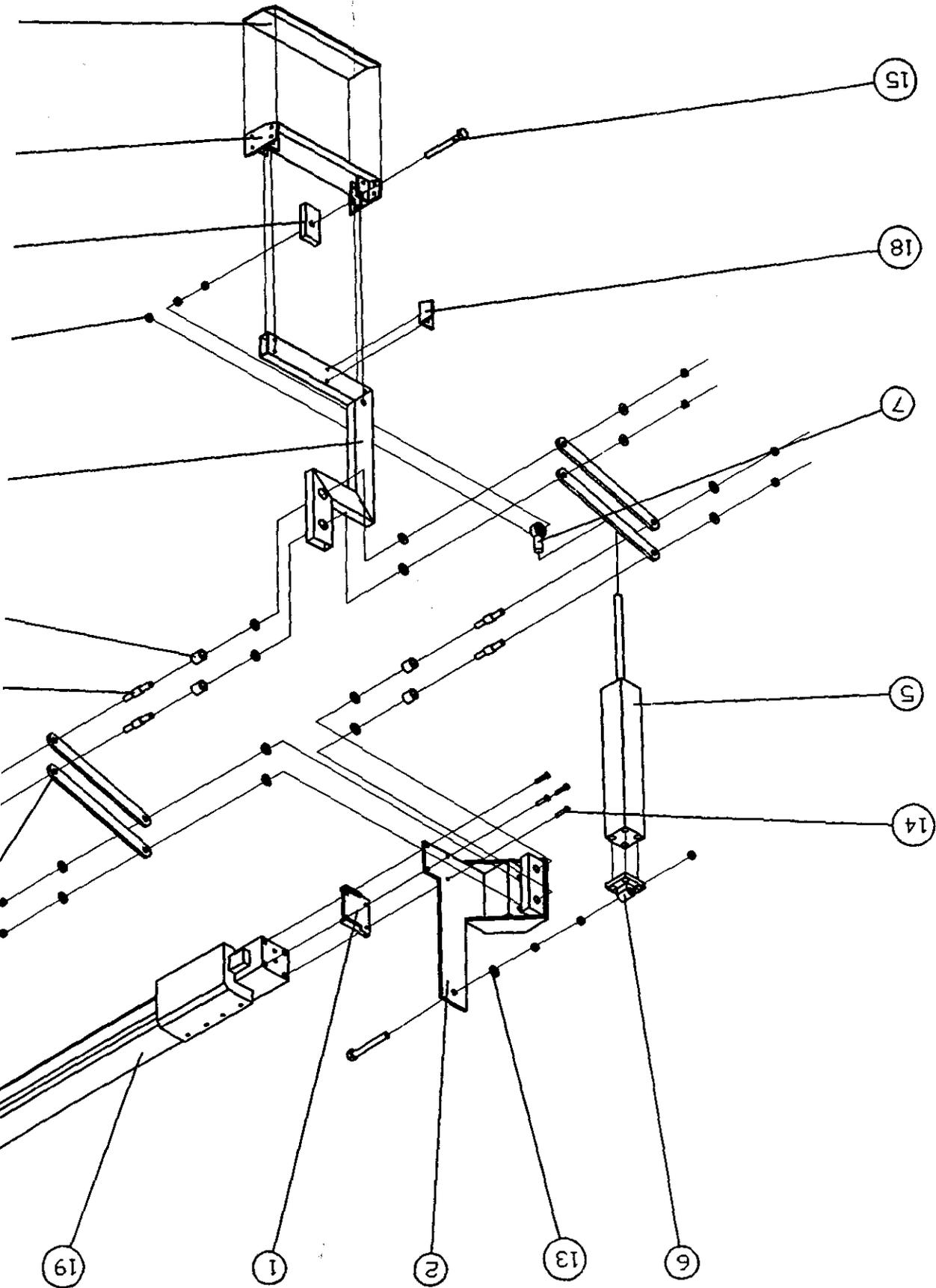


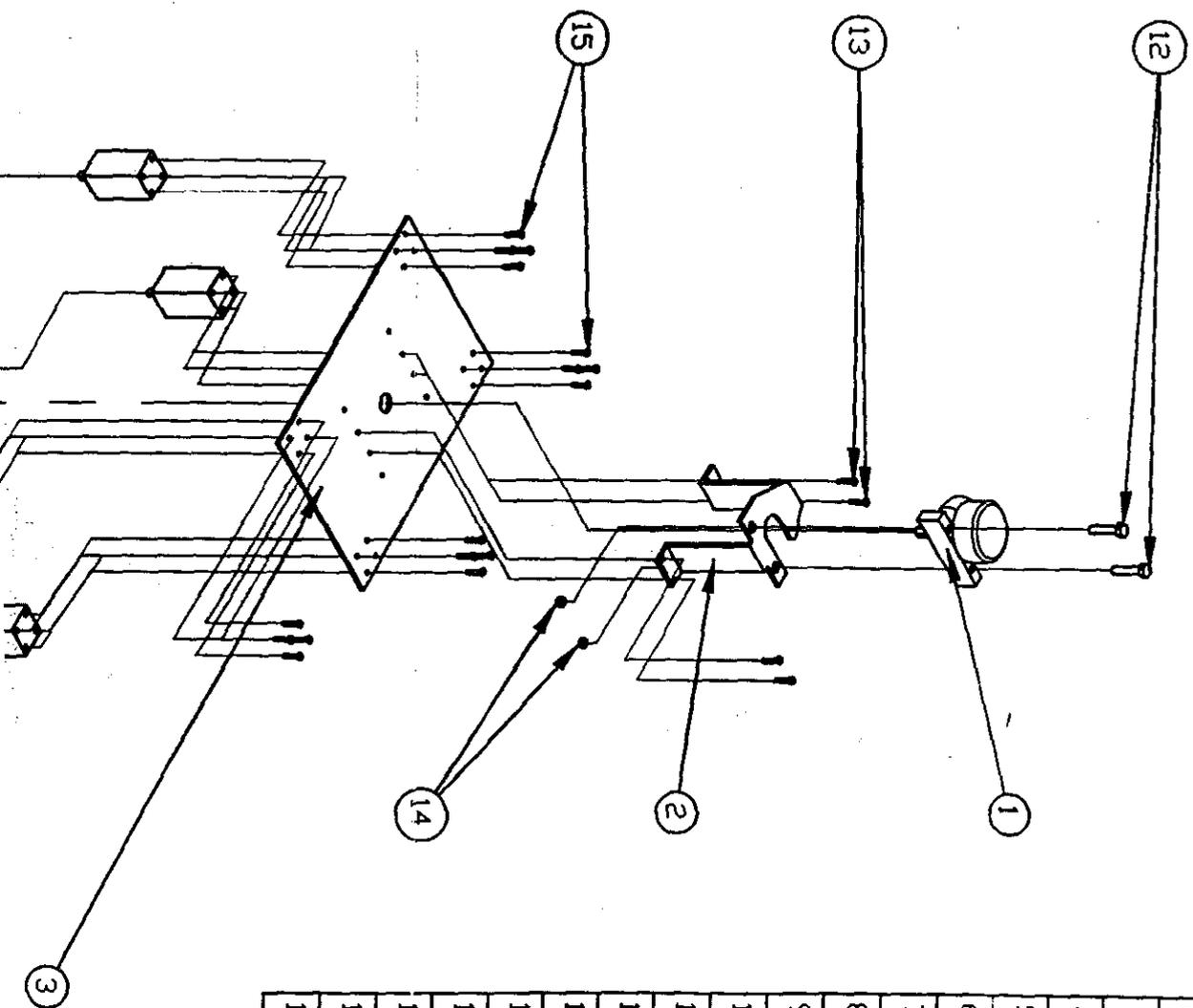
OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR			
	Cont: 8	Act: cm	Piezo
Mat Barro		Bronce 1"	
		Esc: 1:1	Plano 22



OSCAR IVAN JIMENEZ VILLASENOR

	Cont. 8	Act. cn	Pieza	Esc. 1:2
	Mat. Coldroll 3/4"		Eje	





Nº	Descripción	Cant
1	Cilindro Giratorio o Rotric	1
2	Bancada del Rotric	1
3	Placa base	1
4	Cilindros de elevación	4
5	Estructura porta pistones	1
6	Tubo ranurado	1
7	Buje del giro	1
8	Perno pasador	1
9	Flecha	1
10	Balero axial	1
11	Canastilla	1
12	Pernos del Rotric	2
13	Tornillos de la bancada	4
14	Tuercas del Rotric	2
15	Tornillos de los cilindros	16
16	Tuerca de los vástagos	4
17	Tornillos del balero axial	8
18	Tuercas del balero axial	8