

103
52

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y FABRICACION DE UN
ROBOT DE SEIS GRADOS DE
LIBERTAD PARA APLICACIONES
DIDACTICAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA MECANICA
P R E S E N T A

JOEL RAMIREZ SALAS

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. JOSE LUIS PEREZ
SILVA

MEXICO

1993



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

1. -Introducción

Desde el inicio de la humanidad se ha buscado mejorar las condiciones de vida empleando artefactos y herramientas que le permitan desarrollar sus tareas y actividades más fácilmente. Se han desarrollado muchos inventos desde entonces y unos de los más recientes son las máquinas automáticas y los Robots.

Estos instrumentos se han desarrollado a partir de otro de los más grandes inventos del hombre, la **Computadora**, debido a su gran diversidad de tareas y alcances técnicos que se pueden desarrollar. Uno de sus usos más importantes es como controladora de procesos (como en la fabricación de papel, control de mezclas, etc.), de movimientos (como en el maquinado de metales y herramientas, posicionamiento de telescopios, etc.), realización de cálculos difíciles, etc.

En la actualidad los Robots se utilizan en diversos campos de la actividad humana como en la exploración del espacio, en la exploración submarina, en los procesos de fabricación en la realización de tareas difíciles o peligrosas para el ser humano, en los sistemas educativos e incluso en el esparcimiento.

La idea de realizar un Robot de 6 grados de Libertad surge de un proyecto de la D.G.A.P.A. y el Centro de Instrumentos de la U.N.A.M. que contempla el desarrollo y fabricación de un modelo para uso didáctico en el nivel bachillerato.

Este convenio surge de la necesidad de modernizar los planes de estudio de dicho nivel educativo, debido a la integración de los Robots en las actividades cotidianas del ser humano. Se pensó en tener contacto con la Robótica desde la formación media superior para adentrar al alumno en dicho campo y después interesarlo y desarrollarlo posteriormente, para que pueda adaptar y aplicar así como crear y desarrollar Robots para la industria nacional.

Se tiene la existencia de Robots comerciales pero su desarrollo y fabricación son extranjeros y de costo muy elevado por lo que se buscó un modelo que se pudiera realizar con elementos del mercado nacional.

Este proyecto involucró varias disciplinas por lo cual para su creación se debió formar un grupo que juntara dichas disciplinas cuya participación fue indispensable para la terminación de éste proyecto.

Para dar una mejor comprensión del tema se dan a continuación las siguientes definiciones:

Robótica es una automatización de muchas de las actividades en diversos sectores de la actividad humana.

Manipulador es un sistema mecánico multifuncional, con un sistema de control, que permite guiar el movimiento de sus elementos con los siguientes modos:

- a) **Manual** que es cuando el operador controla directamente la tarea del manipulador.
- b) **Secuencia Fija** cuando el proceso de trabajo se repite de forma continua.

No hay una diferencia marcada entre manipulador y robot, se le denomina manipulador cuando sus funciones son sencillas y su sistema de control es muy sencillo.

Automatización es cuando una actividad realizada generalmente por seres humanos, se cambia a ser realizada por máquinas o Robots.

Grados de libertad de un sólido son las referencias de movimiento de ése sólido en el espacio. Se tienen movimientos traslacionales o rotacionales y dependiendo de

los que pueda realizar el sólido, se dice que tiene tantos grados de libertad como movimientos independientes pueda realizar.

Grados de libertad de un Robot son los movimientos que se necesita especificar para determinar la posición del Robot, teniendo en cuenta que son los movimientos independientes que puede realizar el Robot, para posicionar su elemento terminal.

Capacidad de Carga es el peso que puede manejar sin problemas un Robot o máquina automática.

Entorno es el espacio que ocupa el Robot en su trabajo, pasando de la configuración máxima a la mínima de cada uno de sus movimientos, es el espacio que define el paso por todas sus configuraciones posibles.

El uso de Robots se está generalizando en muchos sectores de la producción ya que se tienen, grandes ahorros en costos y tiempos de fabricación, se logra calidad uniforme en el producto final, se tiene mayor continuidad en el tren de producción, se evita en algunos casos poner en riesgo la salud de los trabajadores como en el proceso de pintado o el manejo de sustancias peligrosas, etc. pero se debe tener cuidado en cuando se puede utilizar un robot ya que se tienen costos altos de instalación que sólo se justifican en grandes trenes de producción con grandes cantidades de productos terminados.

2. -Generalidades

2.1 Introducción:

El hombre desde sus inicios ha tratado de librarse de la realización de tareas difíciles o peligrosas por lo que siempre ha inventado artefactos para ayudarse a realizar estas tareas. En la prehistoria, el hombre creó las puntas de piedra para sus lanzas, los cuchillos de obsidiana etc. y ha evolucionado a través del tiempo creando nuevas herramientas y teniendo conocimientos que le han permitido desarrollar tecnologías para su superación y bienestar. El desarrollo de estas nuevas tecnologías en las naciones industrializadas, precipita cambios drásticos en la estructura social de todos los países en el mundo.

Una de las actividades en donde mas se ve este fenómeno es en la agricultura, donde la automatización del campo y de las industrias de producción de alimentos en los países industrializados, cambiara de emplear al 80% de la población en 1890, a solo un 3% de ella en 1983.

Nadie puede predecir el efecto de la robótica, ni si creará mas trabajos de los que desplaza.

2.2 Origen de la palabra *Robot*.

La palabra *Robot* se utiliza en la mayoría de las lenguas, lo que implica su creación reciente.

El Término se empezó a utilizar entre los años '20s y '30s, a raíz de una obra de teatro de Karel Tschapek titulada *R.U.R (Rossums's Universal Robot)*.

Esta obra pone en juego pequeños seres artificiales antropomorfos, que responden perfectamente a las órdenes de sus amos y se pone de manifiesto el posible reemplazo de la raza humana por andróides, debido a su alto desarrollo.

2.3 Antecedentes históricos de *Robots.*

Se pueden citar muchos antecedentes de los Robots, en forma de máquinas automáticas, que realizaban diversas tareas, que se mencionan en fuentes muy antiguas, algunos ejemplos son:

En el siglo II a.C. Hero de Alejandría construyó unas *aves mecánicas* que semejaban a las aves naturales. Dejó también una descripción de una representación de la obra *La Iliada* por medio de figuras mecánicas, después de cada acto, las puertas cerraban solas y se cambiaba la decoración y después se abrían y las figuras empezaban la función.

En 410 a.C. Arquitas de Tarento construyó una paloma que volaba por elementos mecánicos.

En toda la mitología árabe se habla de máquinas voladoras y destructoras que manejaban los héroes humanos que los recibían de sus dioses.

A mediados del siglo XVIII se construyeron maniqués animados que se destinaban al entretenimiento en las ferias. Se tienen entre ellos animales como el pato del francés Vaucanson, osos, tigres, diferentes tocadores de instrumentos, pianistas, flautistas, arpistas; bailarinas y cantantes.

Después viene un interés diferente para este tipo de máquinas en la época de la revolución industrial y se pensó en su uso para producir bienes de capital, y aquí empieza la historia de los Robots industriales modernos.

2.4 Historia de la industria de Robots.

Para tener una visión histórica de los Robots hagamos un repaso de sus fechas mas importantes.

- 1801 Joshep jacquard inventa una máquina textil la cual es operada por medio de tarjetas perforadas. Esta máquina es llamada *telar programable* y va encaminada hacia la producción en masa.
- 1830 Christopher Spencer diseña un torno operado por leva.
- 1892 En Estados Unidos Seward Babbitt diseña una grúa motorizada con agarradera para remover los lingotes de un horno.

- 1921 Aparece por primera vez el término *Robot*.
- 1938 Los americanos Willard Pollard y Harold Roselund diseñan un mecanismo programable para pintar por aspersión para la compañía DeVilbiss.
- 1946 George Devol patenta un dispositivo de grabación para máquinas controladoras, de propósito general. En el mismo año surge la computadora. Los científicos americanos J.Presper Eckert y John Mauchly construyen la primera gran computadora electrónica llamada *Eniac* en la universidad de Pennsylvania. Una segunda computadora, la primera digital de propósito general resolvía su primer problema en el M.I.T.
- 1948 Norbert Wiener profesor del M.I.T. publica *Cibernética*, un libro que describe el concepto de comunicación y control en sistemas electrónicos, mecánicos y biológicos.
- 1951 Un brazo articulado teleoperado diseñado por Raymond Goertz para la comisión de Energía Atómica.

- 1954 El primer Robot programable es diseñado por George Devol, quien crea el término Automatización Universal , el cual fue el nombre de la primera fábrica de Robots (UNIMATION).
- 1959 La Planet Corporation pone en el mercado el primer Robot comercialmente disponible.
- 1960 Unimation es comprada por Condec Corporation y el desarrollo del Sistema Robot Unimation empieza. La American Machine and Foundry conocida como AMF Corporation, pone en el mercado un Robot llamado Versatran, diseñado por Harry Johnson y Velkjo Milenkovic.
- 1962 General Motors instala el primer Robot industrial una línea de producción. El Robot escogido es un Unimate.
- 1964 Se abren laboratorios de Inteligencia Artificial son abiertos en el M.I.T., Universidad de Stanford y en la Universidad de Edimburgo.
- 1968 Stanford construye y prueba un Robot móvil con capacidad de visión llamado Shakey.
- 1970 En Stanford se desarrolla un brazo Robot el cual se convierte en standard para proyectos de investigación. El brazo es movido eléctricamente y se conoce como el brazo Stanford.
- 1973 El primer Robot controlado por minicomputadora es desarrollado por Richard Hohn para la Cincinnati Milacron Corporation. El Robot es llamado las tres T's, The Tomorrow Tool (la herramienta del mañana)
- 1974 El profesor Scheinman, creador del brazo Stanford, forma la Vicarm Inc. para poner en el mercado una versión del brazo para aplicaciones industriales. El nuevo brazo es controlado por una computadora.
- 1976 Brazos Robots son usados en las sondas espaciales Vikingo 1 y 2.
- 1977 ASEA una fabrica de Robots europea ofrece dos

tamaños de Robots industriales eléctricos, ambos Robots usan una computadora como controlador para programar y operar. En el mismo año Unimation compra la Vicarm Inc.

1978 El PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), [Máquina Programable Universal para Ensamblar] es desarrollado por Unimation de técnicas de Vicarm Inc. y con apoyo de General Motors.

1980 La industria de Robots empieza un rápido crecimiento con un nuevo Robot o compañía entrando al mercado cada mes.

2.5 Definición de ROBOT

Se tienen diferentes definiciones de Robots:

1. Según el *Oxford English Dictionary*:

Es un aparato mecánico que se parece y hace el trabajo de un ser humano. Esta definición no puede ser correcta ya que ningún Robot existente y útil se parece a un hombre.

2. Según el *Robot Institute of America*:

Es un manipulador re programable y multifuncional concebido para transportar materiales, piezas, herramientas o sistemas especiales, con movimientos variados y programados, con la finalidad de ejecutar tareas diversas. Las palabras claves son *re programable* y *multifuncional*. Re programable significa que la máquina debe ser capaz de ser re programada y cambiar significativamente el movimiento del brazo o herramienta o cambiar totalmente de tarea.

3. Otra definición que proviene de la anterior, que explica mejor la inteligencia de los actuales Robots es:

Un Robot es un ente tonto, ciego de un solo brazo, con memoria muy limitada que no puede hablar, mirar u oír. Las dos propiedades características del Robot son:

a) La versatilidad que es la posibilidad de ejecutar tareas diversificadas y/o ejecutar una misma tarea de forma diversificada, que depende de una estructura mecánica de geometría variable.

b) La auto adaptabilidad al entorno, que implica que un Robot debe por sí solo ejecutar la tarea para la que fue programado a pesar de las perturbaciones del entorno, a lo largo de esta tarea.

2.6 Campos de la Robótica

En el campo de aplicación de la robótica se influye profundamente la forma y las propiedades de las máquinas y Robots, según el tipo de actividad que desarrollen. Hay tres campos de aplicación principales que son el campo de la producción, el de la exploración y el de la asistencia individual. Estos campos marcan en que se usará la máquina y sus características físicas y de control para lograrlo.

2.6.1 El campo de la producción

Los industriales ven en la utilización de Robots muchas ventajas, en primer lugar, la disminución de la mano de obra y además que la asociación de Robots con otras máquinas, aporta dos ventajas con relación a los modos de producción tradicionales:

- a) La automatización integral de la producción que da mejor calidad de producto con mayor fiabilidad para mantener esa calidad y mayor cantidad de producción.
- b) La rapidez de reconfiguración de la unidad de

producción, cuando se cambia de un tipo de producto a otro. Estas unidades se califican de *flexibles*.

2.6.2 El campo de la exploración

Aquí se trata de realizar trabajos en un lugar al que el hombre no puede ir porque el medio es hostil, por ejemplo:

- a) El medio submarino
- b) El medio espacial
- c) el medio de radiaciones de centrales nucleares

Para dar solución a estos problemas, se tienen dos soluciones:

a) Robots Autónomos. Son los que se van a mandar al medio peligroso, programándolos para su misión. Sin embargo las opciones actuales no permiten gran funcionalidad ya que los Robots no pueden reflexionar sobre su entorno.

b) Teleoperación. Consiste en enviar una máquina al medio hostil y poder controlarlo a distancia desde un puesto maestro al mando del cual está un hombre (Teleoperador).

2.6.3 El campo de la asistencia individual

Este campo se dedica principalmente a la Robótica médica, que permite mejorar las condiciones de vida de los paralíticos o de las personas amputadas.

Aquí se cubre el campo de:

- a) Prótesis (Manos y piernas artificiales)
- b) Ortesis (estructuras rígidas motorizadas, que se ponen alrededor del miembro paralizado y lo arrastran en sus movimientos.
- c) Télesis: están destinadas a los paralíticos de los cuatro miembros y son Robots que el afectado maneja a distancia, con los movimientos que

haya podido conservar (p. ej. La boca, la lengua, los músculos de los ojos, etc.)

2.7 Generaciones de Robots

Primera Generación

Es el Robot industrial que repite los gestos que se le han enseñado o programado. Funciona en modo de **autómata programable**. Desconoce su entorno e incluso lo que hace.

Segunda Generación

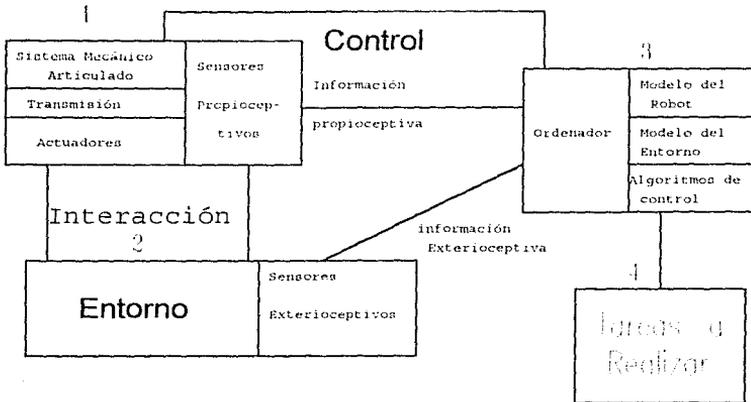
Está actualmente en el terreno industrial y son capaces de adquirir limitados datos sobre su entorno, p.ej. localizar piezas en una mesa por medio de dispositivos de visión o detectar la presencia de obstáculos gracias a detectores de proximidad.

Tercera Generación

Está todavía en fase de desarrollo y estos Robots serán muy avanzados, que tendrán comprensión de lenguaje oral muy similar al lenguaje natural y se reconocerá en una escena compleja representada en una imagen. Se denomina la generación de la inteligencia artificial.

2.8 Funcionamiento del Robot

Un Robot operacional puede representarse por cuatro entidades que interactúan, como se muestra en la siguiente figura:



1. El Sistema Mecánico Articulado dotado de sus motores, ya sean eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

Para conocer en todo momento su posición, se recurre a los captadores (Potenciómetros, codificadores ópticos etc.). Estos captadores se denominan *Propioceptivos* y significa que dan el valor de las articulaciones, es decir la configuración o el estado del Robot, con relación a un valor de referencia llamado **Configuración de Inicialización**.

2. El Entorno es el espacio en que se encuentra el sistema mecánico. Para los Robots fijos se limita a lo que está dentro de su alcance; el Robot encontrará obstáculos que debe evitar y objetos de interés, sobre los que debe actuar.

Para lograr esto se cuenta con los captadores exteroceptivos (Cámaras, detectores de fuerza, captadores de proximidad, captadores táctiles etc.).

3. *El Controlador del Robot* es el órgano de tratamiento de la información. Para los Robots menos evolucionados casi siempre es un autómata programable para los Robots avanzados es un miniordenador numérico o microprocesador.
4. *Las Tareas a Realizar* es el trabajo que tiene que hacer el Robot, se logra mediante lenguajes que pueden ser por gestos, orales o por escrito (En un lenguaje que entienda).

2.9 Clasificación de Robots.

Hay dos clasificaciones principales de Robots, la primera está relacionada con las características físicas. Esta clasificación tiene ventajas prácticas por que las necesidades del usuario son expresadas claramente.

La otra clasificación es de acuerdo a la generación del robot (explicadas anteriormente), aunque es muy imprecisa ya que se necesita tener mucho conocimiento de la relación entre la capacidad, diseño e inteligencia del Robot.

Hay dos tipos de Robots:

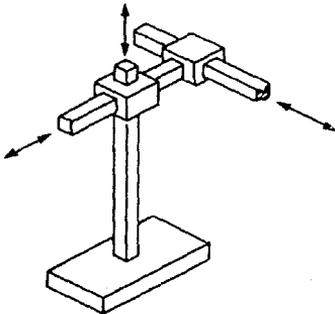
1. Robots Pre programados que no pueden entender lo que hacen y son controlados por programas que no son modificables en su modo de operación.

2. Robots Capaces de adaptar al menos parte de su comportamiento, en respuesta a la información de su entorno, captada por sus sensores.

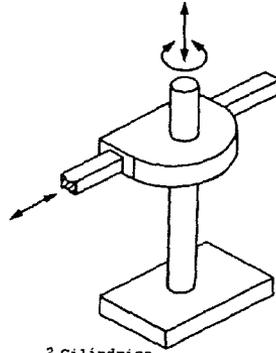
En la clasificación de características físicas, se tienen cuatro tipos principales de configuraciones que son:

1. Robots de Coordenadas Cartesianas
2. Robots de Coordenadas Cilíndricas
3. Robots de Coordenadas Polares
4. Robots de Coordenadas Angulares

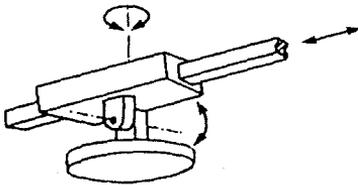
Cuyas representaciones se muestran en la siguientes figuras:



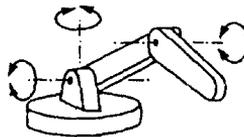
1 Cartesiano o XYZ



2 Cilíndrico



3 Esférico



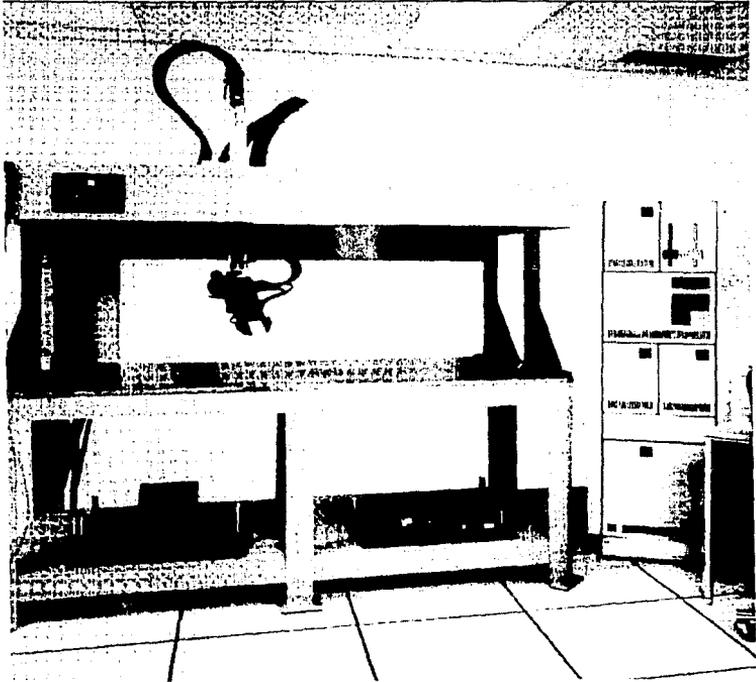
4 Angular

Se puede apreciar que se tienen diferentes movimientos posibles para cada configuración:

En el Cartesiano se tienen puros movimientos lineales.

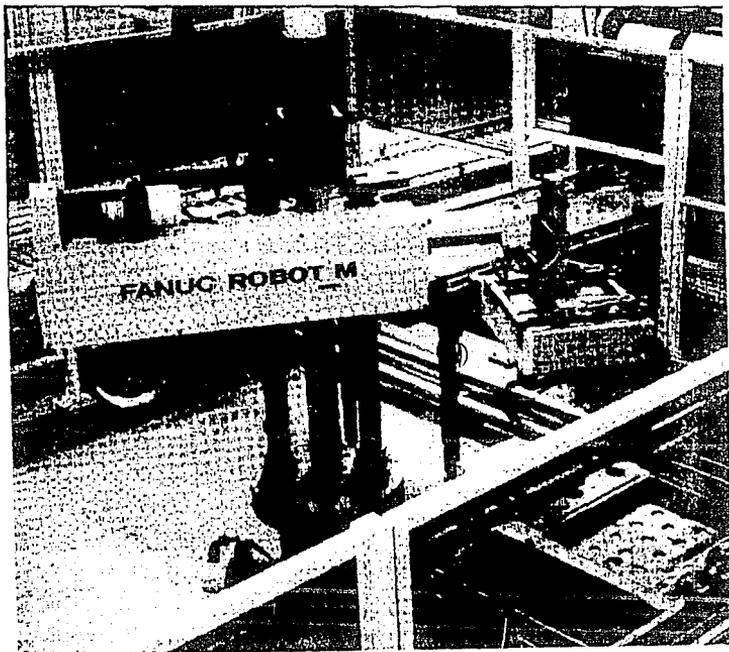
En el Cilíndrico se tienen dos movimientos lineales y uno

Fotografía Número 1



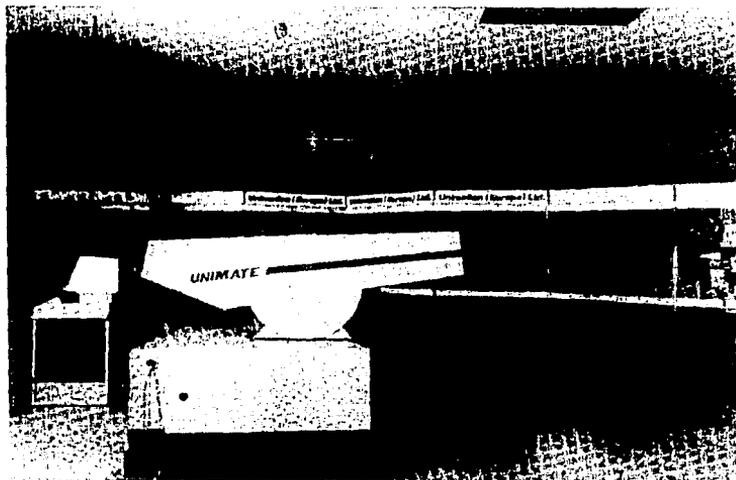
Robot Cartesiano IEM RS-7565

Fotografía Número 2



Robot Cilindrico FANUC M-1

Fotografía Número 3



Robot Esférico Unimate 4000b

Fotografía Número 4



Robot Angular PUMA-560

rotacional.

En el *Esférico* se tienen dos movimientos rotacionales y un lineal.

En el *Angular* se tienen puros movimientos rotacionales.

Esto nos permite 4 formas de llegar a un mismo punto de manera distinta, con recorridos diferentes. En las fotografías 1 a 4 se tienen ejemplos de cada una de las configuraciones con sus respectivos nombres de producto.

2.10 Representación de Articulaciones Mecánicas

Nombre de la unión	Movimiento Relativo	Grados de Libertad	Símbolos
Unión Empalmada	0 Rotación 2 Traducción	0	
Unión Pivote	1 Rotación 2 Traducción	1	
Unión Deslizante	0 Rotación 1 Traducción	1	
Unión Deslizante Helicoidal	0 Rotación 1 Rotación 0 Traducción	1	
Unión Pivote Deslizante	1 Rotación 1 Traducción	2	
Unión Pivote Plano	1 Rotación 2 Traducciones	2	
Unión Esfera	3 Rotación 0 Traducción	3	
Unión Lineal rectilínea	2 Rotación 2 Rotación	4	
Unión Lineal Angular	1 Rotación 1 Traducción	4	

2.11 Tipos de Actuadores

Los Motores que crean o permiten el movimiento de un robot se llaman **Actuadores**, hay tres tipos principales de actuadores cada uno relacionado con el tipo de energía que utiliza, son *Neumáticos, Hidráulicos o Eléctricos*.

2.11.1 Actuadores Neumáticos

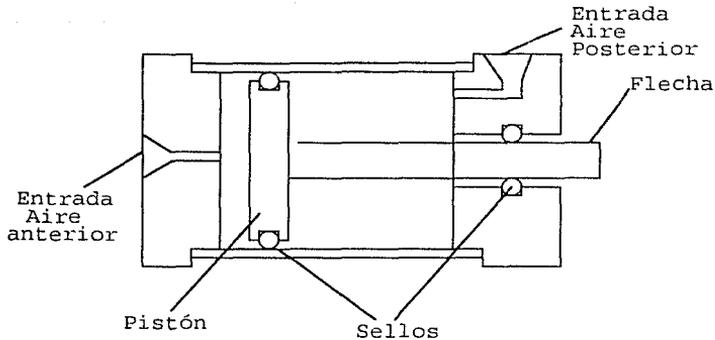
Los actuadores que usan un fluido a presión (Neumáticos o Hidráulicos) utilizan la energía potencial que está en el fluido.

Los Cilindros de aire son usados para muchos propósitos en la industria. Están formados de un pistón deslizando en una cámara cilíndrica.

Un sistema Neumático está constituido de las siguientes partes fundamentales:

- 1.El motor en sí mismo, normalmente un pistón cuando se usa en Robots
- 2.El distribuidor, el cual controla el motor en intervalos adecuados

Hay Pistones lineales en los cuales el pistón se mueve de un límite de su carrera al otro, dependiendo de la dirección del aire que lo mueva, se ajusta el flujo de aire para que la flecha del pistón llegue a su límite.



Cilindro Pneumático

Como aquí se ve se tienen 2 movimientos, uno cuando forzamos el aire por la entrada anterior y otro cuando lo forzamos por la entrada posterior.

El aire no es confiable para posicionamiento ya que el pistón se moverá cada vez que se tenga una fuerza en el Robot debido a la compresibilidad del aire.

Existen muchos tipos de distribuidores, los más usados son con válvulas y con bobinas.

En el *distribuidor con válvulas*, éstas son movidas por una membrana la cual está sujeta a la acción de una señal de control y se regresa a su posición original por medio de un resorte.

En el *distribuidor por bobinas*, la bobina se mueve a través de puertos, tapándolos y abriéndolos, haciendo posible que el aire corra por diferentes secciones.

2.11.2 Actuadores Hidráulicos

Los sistemas hidráulicos están constituidos del actuador (p. ej. Pistones lineales o rotatorios) y un distribuidor

que controla el motor en intervalos adecuados, este distribuidor puede ser de dos posiciones (on-off) o proporcionalmente controlado, pero la principal diferencia entre éstos actuadores está en los materiales de construcción y en la gran diferencia de presiones.

Las unidades standard de una bomba hidráulica producen presiones en el rango de 2000 libras/pulgada (PSI), mientras que en un cilindro Neumático las presiones son del orden de 100 PSI.

Los pistones aquí son de tres tipos, de simple efecto, doble efecto y diferencial.

El de simple efecto la fuerza del fluido se da en una sola dirección mientras que en el de doble efecto se tiene en dos direcciones con sus respectivas presiones en cada lado de las cámaras, que son diferentes, debido a la presencia de la flecha en una de las cámaras.

Para carreras largas se usa el pistón diferencial, el cual toma como patrón de referencia la presión atmosférica.

2.11.3 Actuadores eléctricos

Las unidades eléctricas de control no tienen las ventajas de las Pneumáticas o Hidráulicas, como son la relación peso-potencia, torque y transmisiones o uniones.

Cualquier motor se puede usar pero generalmente se utilizan dos tipos principalmente, los motores de D.C. y los motores de pasos; los motores Asíncronos no son recomendables para Robots trabajando a diferentes velocidades y los motores lineales no dan un trabajo satisfactorio.

2.11.3.1 Motores de Corriente Directa.

Estos motores tienen la ventaja de que producen torque independientemente de la posición y velocidad del motor. Constan de dos partes:

1. Un inductor fijo hecho de un alambre a través del cual circula una corriente de inducción, I_1 o de imanes.
2. Una armadura la cual es un alambre móvil por el que circula una corriente I_2 .

Los campos magnéticos creados por el inductor la armadura están en cuadratura, y por ello no tienen influencia una sobre otra. La Fuerza Electromotriz E es proporcional a la velocidad de rotación w y del flujo F creado por el inductor:

$$E = KwF$$

Siendo L las inductancias de los alambres

donde $K = \frac{M}{L_1 L_2}$ y M Las inductancia mútua de c/u

$$(L_{11} L_{22})^{(1/2)}$$

Este parámetro K se llama coeficiente Acoplamiento, cuando K es cero los circuitos no están acoplados y no hay flujo común

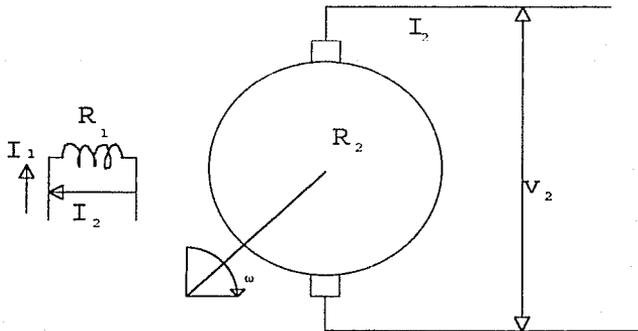
Durante la operación estable tenemos que

$$V_1 = R_1 I_1 \text{ y } V_2 = R_2 I_2 + E$$

El Torque electromagnético C_m será:

$$C_m w = EI_2$$

En la siguiente figura tenemos la operación estable



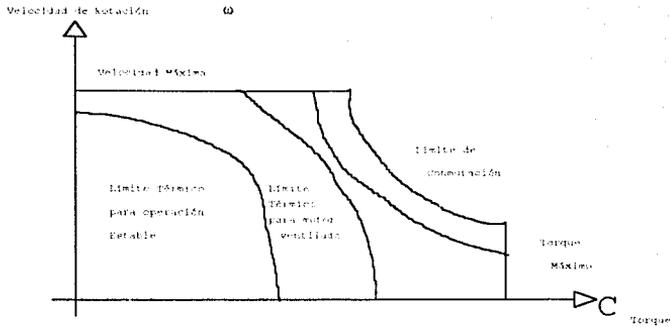
Los motores de D.C. usados en Robots, tienen generalmente imanes permanentes en el inductor, y son de tres tipos:

1. *Motores Estándares* en el cual la armadura está en un material magnético.
2. *Motores de Campana* en los cuales la armadura está pegada a un cilindro aislado.
3. *Motores de disco* en estos los conductores de la armadura están en un disco aislado.

Los tipos de imanes permanentes usados son:

1. Imanes Alnico cuya inducción es de 1 Tesla.
2. Imanes Ferríticos cuya inducción es de 0.5 Tesla
3. Imanes de Cobalto-metales raros p. ej. Samario-Cobalto, que son los que mejor resultado dan pero son caros.

En la siguiente figura se tiene graficada la velocidad angular w contra el Torque C , para el cual teóricamente no debe de haber límite, pero si existe, debido a ciertos fenómenos físicos, como el calentamiento del motor por el efecto Joule, pero como se ve en la figura esto se puede arreglar un poco al tener el motor ventilado adecuadamente; si se combate ese problema adecuadamente, el próximo paso será resolver la limitante de la conmutación (paso de los polos del rotor por el estator, que permiten la acción magnética), la cual indica que las corriente alimentada por los alambres cambia de dirección.

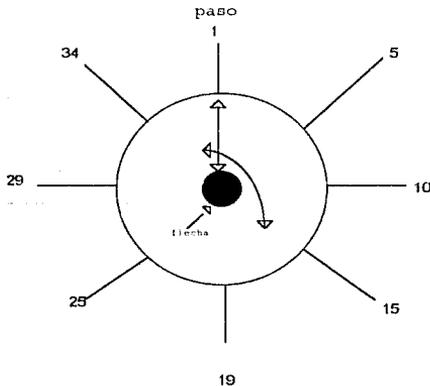


Areas de operación de un motor de D.C.

2.11.3.2 Motores de Pasos

Un motor de pasos es un tipo de motor eléctrico, y sus devanados están arreglados de manera que no giren constantemente una flecha sino que son unos electroimanes que van, alternadamente y en pares, moviendo a un engrane en pequeñas rotaciones.

En la siguiente figura se muestra el movimiento de la flecha de un motor de pasos:



El motor de pasos se mueve en pequeños giros de la flecha.

Los componentes básicos de un motor de pasos son:

a) Una serie de electroimanes cuyo número depende de las divisiones por revolución queramos en el motor.

b) Un engranaje el cual consiste de un engrane fijo en el estator y conectado a los electroimanes, el cual hace contacto con otro engrane circular para mover la flecha por los impulsos de los electroimanes.

c) Piezas necesarias para mantener estos elementos en su lugar como baleros, pernos etc.

El movimiento en la flecha del motor es producido por una diferencia en el número de dientes en el engrane fijo y el engrane circular, puestos en contacto y mediante los impulsos de los electroimanes a los dientes del engrane fijo obliga al engrane circular a moverse por pasos o fases magnéticas en los electroimanes. Es importante mencionar que los engranes no se acoplan normalmente, sino que se tocan los diámetros exteriores, permitiendo la interacción de las fuerzas magnéticas que forzan el movimiento.

Cuando se requiere movimiento en la flecha, los electroimanes se energizan por pares alternados y así no se pierde la fuerza de contacto entre los engranes y el movimiento se da en cualquier dirección.

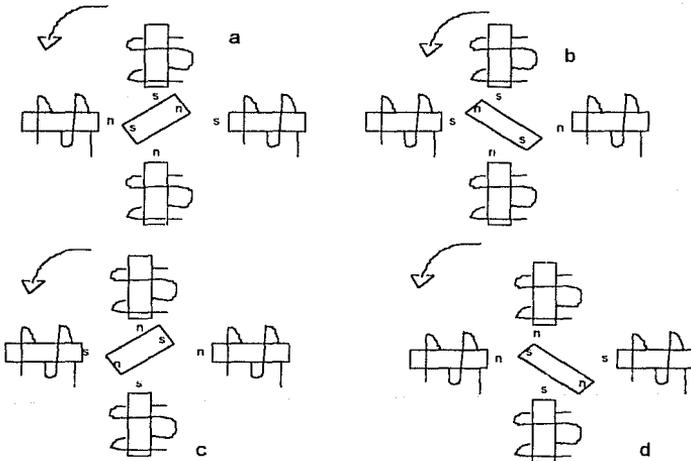
La selección adecuada del número de dientes y su relación, permiten un movimiento muy fino en la flecha, que incluso se tienen movimientos de un grado.

Una limitante de los motores de pasos es su bajo poder de salida, debido a que el movimiento se realiza por medio de los electroimanes en juegos, no todos, y además la energía es producida por la fuerza electromagnética que a su vez se produce por los devanados que son muy pequeños y por ende

la energía disponible es pequeña.

El motor de pasos es síncrono ya que la orden de entrada y la posición del motor están sincronizadas, además la estructura puede ser variada en especial si se necesita un gran número de pasos por revolución.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de un motor de pasos de imán permanente de dos fases:



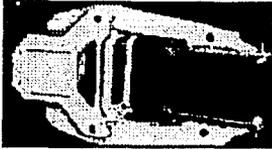
2.12 Tipos de elementos terminales.

Las partes terminales de los Robot son la parte más interesante de éstos ya que se pueden intercambiar y hacer diferentes tareas, como un humano cambiando de herramienta. Los elementos terminales son de varios tipos según la función a realizar, algunos tipos son, elementos de sujeción de piezas (mejor conocidos como *manos* o *grippers*), elementos de pistola de aire para pintar, elementos de soldadura por puntos, elementos para taladrar, elementos con cámaras integradas para inspecciones de lugares peligrosos, elementos para soldadura con arco eléctrico etc.

Los *grippers* se utilizan generalmente para transporte de piezas y para cambio de posición de herramientas o equipos, son de diversas formas y complejidades, pero por complejos que sean, su función es la misma, hay desde desplazamientos lineales, desplazamientos angulares, grippers magnéticos, grippers con campanas de vacío, grippers múltiples, para piezas de formas específicas, de forma humana con muchos grados de libertad, accionados hidráulica o eléctricamente etc.

Los elementos para soldar ya sea con puntos o con arco eléctrico, son necesarios ya que la soldadura es una tarea repetitiva y aburrida, por lo que los soldadores, llegan a considerarla una tarea pesada. La técnica en soldadura por puntos está bien desarrollada, la soldadura con arco todavía tiene un poco de problemas, por ser mas compleja y por no tener un sensor que trabaje perfectamente junto a una soldadura en operación, pero se tienen buenos resultados con los sensores desarrollados hasta el momento, e incluso hay Robots especializados en soldadura con arco como el W7000 de Westinghouse y el Linc-Man de GKN Lincoln Electric Limited.

Tipos de elementos terminales



En esta figura vemos en la parte superior dos grippers de apriete, uno angular y el otro lineal.

Enseguida vemos del lado derecho un elemento para taladrado y en el lado izquierdo vemos un elemento para soldadura.

En la parte baja apreciamos un gripper magnético de gran capacidad de carga.

Los Robots con pistolas de aire para pintar, no han tenido auge a pesar de que pintar es una tarea desagradable y potencialmente peligrosa; en estos elementos terminales se tienen varias cosas, por lo difícil de la operación, se tienen robots especializados para ello aunque para formas mas sencillas, se tienen elementos terminales, para Robots comerciales como serían el PUMA 560 o el Unimate 4000b etc. cuyo uso depende de la complejidad de las superficies a pintar o del acabado requerido en la pintura.

En los elementos para taladrado, inspección y algunos de supervisión de fugas, ya sean de tipo neumático o hidráulico, se necesita poner mucha atención con la posición final del elemento terminal ya que hay que corregir la posición si es que se utiliza un sólo Robot para ello y entonces ajustar la nueva herramienta para no sufrir problemas en la tarea a realizar.

2.13 Sensores Externos

Para los sensores externos se necesita definir bien la tarea a realizar para que la tarea si es complicada y que requiera de precisión, salga bien. Las funciones de los sensores externos en Robots, son similares a las realizadas por los sentidos en los seres humanos (p. ej. visión, tacto, oído, detección de presión, proximidad etc.).

2.13.1.1 Sensores táctiles

Su principal función es mantener alejado al Robot de obstáculos, posicionarse de mejor manera cerca de una pieza con la que vaya a trabajar cuando se le dan tareas de ensamble. Hay los siguientes tipos de sensores táctiles:

1.Sensores de contacto binarios aislados

Generalmente consisten en un interruptor de dos posiciones on-off. Su posición en el Robot, depende de lo que queramos de él, si lo dejamos en el cuerpo del Robot, su función principal será la de mantenerlo lejos de obstáculos pero si lo ponemos en el elemento terminal, nos dará información mas completa, como forma de entrada a la pieza con que se trabaja etc.

2.Sensores Analógicos individuales

Son un sistema flexible con salida proporcional a la presión local por lo que se pueden usar para detectar posición o presión.

2.13.1.2 Sensores de proximidad

Estos sensores se usan para detectar la presencia de un objeto en la zona de trabajo del Robot y tomar la distancia entre el Robot y el objeto. Los técnicas principales son la ultrasónica y la infrarroja.

a) Sensores Ultrasónicos

Pueden ser usados para detectar presencias y para medir distancias. Estos sensores miden el tiempo entre emisión y recepción de ondas ultrasónicas desde el objeto.

b) Sensores Infrarrojos

Utilizan un emisor (generalmente un diodo infrarrojo) que manda un haz infrarrojo hacia el objeto el cual lo refleja y lo regresa a un receptor (por lo general un foto transistor).

Para evitar interferencias del medio ambiente, se modula el haz cuando se manda y se filtra cuando se recibe. Una ventaja de éstos sensores es que son pequeños y pueden usarse en elementos terminales.

c) Sensores de *Efecto Hall*

Estos transductores se basan en éste principio que es

básicamente la intervención de un campo magnético en una placa metálica, cuya intervención afecta una corriente eléctrica que pasa por la placa. Estos sensores sólo sirven para detectar la presencia de un campo magnético, por lo que uso es limitado.

2.13.1.3 Sensores Acústicos

Los desarrollos de la tecnología de microprocesadores ha permitido el desarrollo de reconocimiento de voz en tiempo real (Se considera Tiempo Real al hecho de que la respuesta a una información captada, sea inmediata). Una computadora puede escuchar la voz humana, reconocer sus palabras y responder a ellas.

2.13.1.4 Sensores Visuales

La visión es compleja y para dar visión artificial a un robot se necesitan de dispositivos de gran sofisticación inclusive en el proceso de los datos.

Un sistema de visión artificial siempre cumple con los siguientes puntos a pesar del método que utilice:

- a) Uno o más emisores de señales
- b) Uno o mas sensores para recibir éstas señales modificadas (p. ej. Cámaras ópticas o ultrasónicas)
- c) Compilación y conversión de esas imágenes para que sean manejables por las máquinas que las procesarán
- d) Representación de imágenes, es decir cuando éstas imágenes son transformadas para dar la información necesaria
- e) Proceso de Reconocimiento cuando éstas imágenes ya transformadas son comparadas con imágenes pregrabadas.

Los sensores utilizados en sistemas de visión pueden ser diversos y están sujetos a investigación y pruebas en particular para los sistemas de tres dimensiones.

2.14 Sistemas de Control.

El primer trabajo sobre control fue el regulador centrífugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor en el siglo XVIII.

En 1922 Minorsky trabajó en controles para direcciones de barcos y determinar la estabilidad a partir de las ecuaciones que describen el sistema.

En 1932 Nyquist desarrolló un procedimiento simple para determinar la estabilidad de los sistemas de lazo cerrado sobre la base de la respuesta a lazo abierto en régimen permanente, con excitación sinusoidal.

En 1934 Hanzen que introdujo el término *Servomecanismo* para los sistemas de control de posición .

Desde 1940 se tienen los métodos de respuesta en frecuencia se posibilitó la realización de sistemas de control realimentado lineal.

A partir de 1960 se tiene una teoría de control moderna donde se ha dirigido hacia el control óptimo así como sistemas de control complejos con adaptación y aprendizaje.

Tenemos las siguientes definiciones:

Perturbaciones son unas señales que tienden a afectar el valor de salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se le considera interna y si lo hace afuera es externa.

Control de Realimentación Es una operación que en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida y la entrada de referencia de un sistema y lo hace en base a ésta referencia.

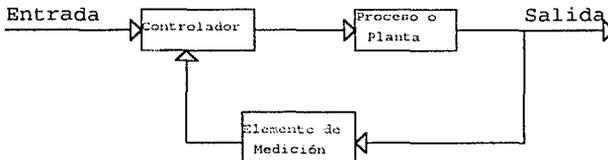
Sistemas de control realimentado son aquellos que tienden a mantener una relación preestablecida entre la entrada y la salida, comparando ambas y usando la diferencia como parámetro de control.

Servomecanismos es un sistema de control realimentado en el cual la salida es alguna posición, velocidad o aceleración mecánica.

Sistemas de regulación automática son sistemas de control realimentados en los que la entrada o la salida son constantes o varían en el tiempo y donde la tarea principal es mantener la salida en un valor deseado a pesar de las perturbaciones.

Sistemas de control de lazo cerrado son aquellos en los que la salida tiene efecto directo en la acción de control. Esto es que los sistemas de lazo cerrado son sistemas con realimentación. La señal de error actuante (la diferencia entre la señal de entrada y la de Realimentación), entra al control para reducir el error y llevar la salida a un valor deseado.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado:



Sistema de control de lazo abierto es aquel en el que la salida no tiene efecto en la acción de control, es decir un

sistema de lazo abierto no mide ni realimenta la salida para la comparación con la entrada.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto:



Una ventaja del sistema de lazo cerrado sobre el de lazo abierto es que el uso de la realimentación hace al sistema en su respuesta, casi insensible a perturbaciones externas y a variaciones internas de parámetros del sistema.

En los sistemas de lazo abierto la estabilidad no es ningún problema lo que en los sistemas de lazo cerrado es un problema importante ya que se puede sobre corregir errores que pueden producir oscilaciones de amplitud constante o variable.

Sistemas de control adaptados son aquellos que tienen la capacidad de adaptarse, o sea la capacidad de autoajustarse o automodificarse de acuerdo con variaciones no previsibles del medio.

Acciones de control Proporcionales, Integrales y Derivativas son las diferentes formas de actuar de un sistema de control y se clasifican así:

Acción Proporcional es aquella en la que la señal de salida actúa de manera proporcional a la señal de error.

Acción Integral es aquella en la que la señal de salida es el área bajo la curva de la señal de error en el tiempo.

Acción Derivativa es aquella en la que la señal de salida varía proporcionalmente a la velocidad de variación de la

señal de error.

3.- Parte Mccánica

3.1 Introducción

En el desarrollo del Proyecto se tomaron dos parámetros que rigieron el diseño del Robot, uno fue que el Robot debía ser cilíndrico con un giro de 360 grados en la columna de soporte y tener una mano que tuviera rotación y apriete que permitiera tomar piezas de diferentes geometrías.

Se contó con el sistema de control del Robot que es del tipo de lazo cerrado con retroalimentación y se lleva a cabo por medio de una computadora. Utiliza potenciómetros como sensores de posición y como los actuadores son motores de pasos se necesitó utilizar transformadores de movimiento rotacional a movimiento lineal lo cual se llevó a cabo con tornillos de potencia que permiten un desplazamiento lineal suave y sin mucha fricción ya que se utilizó la unión de acero y de latón, lo que permite altas resistencias en la forma de las roscas y cuyo coeficiente de fricción es bajo en relación a la resistencia de los materiales comprado con la unión de acero y acero.

Se tienen acoplados los potenciómetros por medio de engranes a los tornillos, lo que permite que a una vuelta del tornillo, se tenga una cantidad proporcional de giro en el potenciómetro, dada la relación de que por todo el recorrido del tornillo, se tengan 10 vueltas en el potenciómetro.

El sistema electrónico y el software para el control, se desarrollaron en el Centro de Instrumentos U.N.A.M., por el ingeniero José Castillo Hernández, apoyado por el laboratorio de electrónica de dicho centro.

En el proyecto se aumentó al Robot una bancada que lo desplace en un recorrido lineal y que fuera el soporte de toda la estructura y le permitiera aumentar sus grados de libertad. Se había pensado en poner sensores de presión en

la pinza pero debido a su aplicación y al requerimiento de ser barato, se eliminó esa idea.

En la pinza se tiene apriete lineal dado por la unión de engranes cónicos y por medio de un espárrago que es un tornillo con roscas izquierda y otra derecha una en cada extremo que permiten acercar y alejar las pinzas según el sentido de giro del motor.

3.2 Diseño de los elementos de Transmisión del Robot

3.2.1 Características

Se tienen diversos tipos de transmisiones de energía y movimiento mecánicas, entre las que tenemos los tornillos, los engranes, las poleas con bandas (planas, trapezoidales dentadas), las cadenas con catarinas y los cables metálicos (chicotes).

Para los movimientos del Robot tenemos motores de pasos, por lo que para obtener desplazamiento lineal necesitamos un convertidor mecánico de movimiento angular a movimiento lineal y se utiliza un tornillo de potencia; para los desplazamientos de rotación se utilizan engranes.

Para los movimientos rotacionales en el mismo plano utilizamos los engranes rectos ya que las velocidades de operación son bajas y su costo de fabricación es bajo y para los movimientos de rotación en ejes perpendiculares se utilizan engranes cónicos.

En la mano del Robot se utiliza un espárrago que es un tornillo con dos roscas, una en cada extremo de la flecha, siendo una izquierda y la otra derecha permitiendo un

movimiento encontrado de las roscas, teniendo que para un sentido de giro de la flecha las dos se juntan apretando y para el sentido contrario de giro, las dos se alejan aflojando.

3.3 Engranés

Los engranes se utilizan para transmitir movimiento rotacional de un eje a otro, también se aplican cuando se quieren tener diferentes velocidades de giro en las flechas y que también implica un mayor o menor torque. Este efecto es inversamente proporcional es decir a mayor velocidad menor torque y a mayor torque menor velocidad.

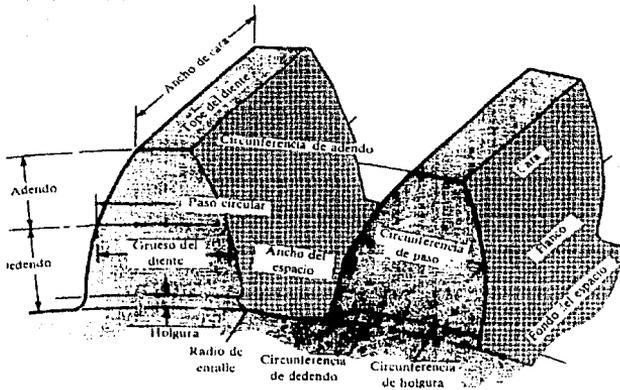
Como se comenta anteriormente, los engranes se utilizan en diferentes posiciones de los ejes, paralelos, perpendiculares, sesgados y cruzados.

En el Robot tenemos los engranes para la transmisión de movimiento angular y se usan engranes rectos y cónicos.

3.3.1 Engranés Cilíndricos Rectos

En estos engranes se tienen dientes rectos que van paralelos al eje de la flecha donde se colocan y sólo sirven para transmisión en ejes paralelos, lo que se consigue al girar uno de ellos el cual va a impulsar al otro ya que no hay deslizamiento entre dientes. Los dientes se tienen en contacto en un punto a cuya distancia se conoce como circunferencia de paso.

En la siguiente figura tenemos la nomenclatura utilizada en los engranes rectos:



Nomenclatura de los engranes rectos

Circunferencia de paso es un círculo teórico donde se basan todos los cálculos y es donde se tiene el contacto entre los dientes.

Paso circular es la distancia, medida sobre la circunferencia de paso, entre un punto de un diente y el mismo punto del diente siguiente.

Módulo Es la relación del diámetro de paso al número de dientes, es el índice del tamaño de los dientes en el sistema internacional. La unidad de longitud es el milímetro.

Paso diametral es la relación del número de dientes al diámetro de paso; es el recíproco del módulo y se utiliza cuando se usan unidades inglesas.

Adendo es la distancia radial entre el tope del diente (circunferencia de adendo) y la circunferencia de paso.

Dedendo es la distancia radial entre el fondo del espacio (circunferencia de dedendo) y la circunferencia de paso.

Altura es la suma del adendo y del dedendo.

Holgura es la diferencia entre el dedendo de un engrane que excede al adendo del engrano con el que se conecta.

En los engranes se tienen las siguientes relaciones que son las que se utilizan para el cálculo de c/u de los engranes que tenemos en el Robot, teniendo que el paso diametral es un dato, que se obtiene de los cortadores con los que se van a tallar los engranes y entonces tenemos:

$$P = \frac{N}{d} \quad \text{donde } P = \text{paso diametral}$$

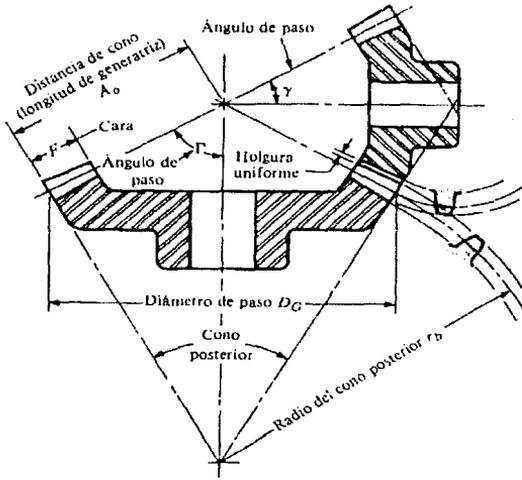
N = número de dientes
d = diámetro de paso (in)

$$m = \frac{d}{N} \quad \text{donde } m = \text{módulo (mm)} \\ d = \text{diámetro de paso (mm)}$$

$$M = \frac{D_2 N_1}{D_1 N_2} \quad \begin{array}{l} m = \text{relación de vel angular del engrane} \\ \text{motor y del engrane conducido} \\ D = \text{diámetro de paso de c/u} \\ N = \text{número de dientes de c/u} \end{array}$$

3.3.2 Engranes Cónicos Rectos

Estos engranes se usan para transmitir movimiento entre flechas que se cortan. En la siguiente figura tenemos la nomenclatura que se tiene para un par de engranes cónicos:



Formulario de los engranes cónicos rectos

El paso de los engranes cónicos se mide en el extremo grande del diente y el paso circular y el diámetro de paso se calculan de la misma forma que en los engranes cilíndricos.

Los ángulos de paso están definidos por los conos de paso que se enlazan en el ápice como se ve en la figura anterior. Estos ángulos se encuentran relacionados con los números de dientes de la siguiente forma:

$$\tan \gamma = \frac{N_1}{N_2} \quad \tan \Gamma = \frac{N_2}{N_1}$$

Los engranes cónicos se tallan con un ángulo de presión y con adendos y dedendos que permiten un aumento en la relación de contacto y se aumenta la resistencia del engrane motor. Los valores de los adendos, dedendos y ángulos de presión, se toman de la tabla 1 que se muestra mas adelante.

Tabla 1 Características de engranes

	14°1/2 Prof Completa	14°1/2 compuest o	20° prof Completa	20° Cort o	20° Paso Grues o	20° Paso Fino	20°prof comple ta
Adendo	1/p	1/p	1/p	0.8/ p	1/p	1/p	1/p
Dedend o	1.157/p	1.157/p	1.25/p	1/p	1.25/ p	1.2/ p	1.25/p
Huelgo	0.157/p	0.157/p	0.25/p	0.2/ p	0.25/ p	1.2/ p	0.25/p
Prof Trabaj o	2/p	2/p	2/p	1.6/ p	2/p	2/p	2/p
Prof Total	2.157/p	2.157/p	2.25/p	1.8/ p	2.25/ p	2.2/ p	2.25/p

3.4 Tornillos de potencia

Un tornillo de potencia es un dispositivo en la maquinaria para convertir un giro en desplazamiento lineal y transmitir, generalmente, la acción de una fuerza o potencia mecánica. Sus usos generalmente son en los desplazamientos donde se necesita fuerza.

La rosca de estos tornillos es muy diferente a la de los tornillos de fijación. Se usan generalmente las roscas Cuadradas y ACME que son las más comunes, aunque se utilizan

El ángulo λ es el ángulo de la hélice de la rosca. La fuerza F es la suma de todas las fuerzas axiales que actúan sobre el área normal de la rosca.

Se tiene una carga P que va a la derecha o a la izquierda según si se baja la carga o se sube.

Debido a la aplicación del Robot, se tiene la limitante en el tamaño ya que debe ocupar poco espacio. En el diseño de los elementos de transmisión se tienen que tomar los valores estándares, tanto en roscas y diámetros en tornillos, como en los ángulos de presión, adendos y dedendos en engranes.

En la página siguiente se tiene la tabla 2 que muestra los valores de diámetros, pasos y ángulos de Hélices para la rosca ACME y sus derivadas.

En el diseño del Robot se manejaron las medidas de 40 cms de largo en la carrera del brazo, 45 centímetros en la carrera de la columna, 60 cms en la carrera de la bancada y toma piezas de 10 cms en la mano, ocupando el menor espacio alrededor. Tomando las longitudes determinadas para el diseño, se revisó en tablas todas las características de los tornillos y las que mejor se adaptaron a lo propuesto fueron los tornillos ACME de diámetro exterior $\phi = \frac{1}{2}$ pulgada (12.7mm), con 10 hilos por pulgada, diámetro menor (Raíz) de 10.6 mm (0.4 pul), como los tornillos para los movimientos lineales tanto del brazo, de la columna y de la bancada.

Estos valores son obtenidos, pensando que además de transmitir movimiento, cargarán el peso de algunos componentes lo que implica que si se hacen muy delgados, se podría tener el riesgo de pandeo o incluso fractura, lo que impediría su funcionamiento.

Para el movimiento de las pinzas de la mano se tiene un espárrago de 5/16 pul, con 14 hilos por pulgada, que solo va a transmitir movimiento a los engranes rectos, por lo que se

dió un diámetro que se maquina fácilmente y que cumple bien su función.

Tabla 2 Características de las roscas ACME

Tamaño nominal	Hilos/pulgada	Altura básica de la rosca h	Propósito	General	Clases	5 y 6C
			todas las y clases	clases 2 3 y4C		
			Diámetro Básico Mayor D	Angulo de la Hélice α	Diámetro Básico menor B	Angulo de la Hélice α
1/4	16	0.03125	0.2500	5 12'	-----	-----
5/16	14	0.03571	0.3125	4 42'	-----	-----
3/8	12	0.04167	0.3750	4 33'	-----	-----
7/16	12	0.04167	0.4375	3 50'	-----	-----
1/2	10	0.05000	0.5000	4 33'	.4823	4 13'
5/8	8	0.06250	0.6250	4 33'	.6052	4 12'
3/4	6	0.08333	0.7500	4 33'	.7284	4 42'
7/8	6	0.08333	0.8750	3 50'	.8516	3 57'
1	5	0.10000	1.0000	4 33'	.9750	4 10'
1 1/8	5	0.10000	1.1250	3 33'	1.0985	3 39'
1 1/4	5	0.10000	1.2500	3 10'	1.2220	3 15'
1 3/8	4	0.12500	1.3750	3 39'	1.3457	3 44'
1 1/2	4	0.12500	1.5000	3 19'	1.4694	3 23'
1 3/4	4	0.12500	1.7500	2 48'	1.7169	2 52'
2	4	0.12500	2.0000	2 26'	1.9646	2 29'
2 1/4	3	0.16667	2.2500	2 55'	2.2125	2 58'
2 1/2	3	0.16667	2.5000	2 36'	2.4605	2 39'
2 3/4	3	0.16667	2.7500	2 21'	2.7085	2 23'
3	2	0.25000	3.0000	3 19'	2.9567	3 22'
3 1/2	2	0.25000	3.5000	2 48'	3.4532	2 51'
4	2	0.25000	4.0000	2 26'	3.9500	2 28'
4 1/2	2	0.25000	4.5000	2 8'	4.4470	2 10'
5	2	0.25000	5.0000	1 55'	4.9441	1 56'

3.5 Análisis estático del Robot

3.5.1 Introducción

Cuando un cuerpo rígido (un cuerpo rígido es un grupo de partículas que permanecen constantes a una distancia fija, unas de otras, antes de aplicarle una carga) está sujeto a un sistema de fuerzas y momentos, es más fácil estudiar los efectos externos en el cuerpo usando la fuerza y momento resultante que el sistema de fuerzas y momentos.

Cuando se habla de equilibrio se tiene que la suma de fuerzas y la suma de momentos que actúan sobre el cuerpo, son nulas o sea que se tiene la misma cantidad de fuerza actuando en una dirección en un sentido como en el sentido contrario y los momentos en cada eje se tienen de igual magnitud para los dos sentidos.

En esta parte del diseño se obtienen las fuerzas resultantes que actúan sobre las piezas del Robot y que permite saber si las piezas son del diseño adecuado en cuanto a dimensiones y materiales para el propósito que fueron hechas.

Para un cuerpo rígido siempre es factible la reducción de un sistema de fuerzas y momentos a una fuerza y un momento resultante que se aplica en un punto, determinado arbitrariamente, ya que como se afectan los vectores de posición de las fuerzas existentes al punto de análisis, se puede poner dicho punto en cualquier parte del cuerpo.

Los sistemas de fuerzas concurrentes no consideran un momento resultante debido a que actúan sobre el punto de

origen por lo que su brazo de palanca es nulo y el producto cruz $r \times F$ da cero. Se reducen a una sola fuerza.

Los sistemas de fuerzas coplanares se tienen actuando en un solo plano y crean momentos que son perpendiculares al plano de acción de las fuerzas y pueden ser reducidas a una sola fuerza, ya que cuando se mueve una fuerza actuante a cualquier punto en un plano, se produce un momento perpendicular a ese plano.

Los sistemas de fuerzas paralelas producen momentos perpendiculares a la dirección de ellas y pueden reducirse a una sola fuerza resultante que produce un momento perpendicular a la dirección de la fuerza resultante.

Se tienen cuatro casos de sistemas reducidos:

- Equilibrio cuando la suma de momentos y de fuerzas es igual a cero.
- Par cuando la suma de fuerzas es 0 y la suma de momentos $\neq 0$.
- Fuerza cuando la suma de fuerzas es $\neq 0$ y actúa sobre el eje de referencia y por ello no causa momento.
- Fuerza y par no coplanos cuando la suma de fuerzas $\neq 0$ y la suma de momentos en el punto de referencia $\neq 0$.

3.5.2 Análisis estático del Robot

Se tiene en este diseño de Robot cuatro partes en que se puede dividir el sistema completo, que son Mano, Brazo, Cuerpo y Bancada. En las ecuaciones de fuerzas y momentos se denominarán los pesos de las piezas como $Peso_x$, donde x es el número de pieza de los planos que se encuentran al final de ésta tesis:

3.5.2.1 Sistema Mano

Para el sistema Mano, tenemos las siguientes consideraciones el punto de origen de los ejes de referencia coincide con el centro de la Mano, este plano se presenta en la parte final de esta tesis.

El sistema Mano está formado por las piezas 27, 28, 29, 30, 26, 25, 24, 27c, 27b, un motor, 2 baleros y 2 portabaleros. Haciendo suma de fuerza para cada uno de los ejes tenemos:

$\Sigma f_x=0$ No hay fuerzas que actúen en ese eje.

$\Sigma f_y=0$ No hay fuerzas que actúen en ese eje.

$\Sigma f_z=0$ tenemos puros efectos de los pesos de las piezas que componen la mano y el efecto de la carga:

Consideraremos una carga de 500 gramos ya que por su aplicación es difícil que el robot levante pesos mayores.

Tomando el sentido de la aceleración de la gravedad negativo tenemos:

$$\begin{aligned} & -2\text{Peso}_{\text{bujas}} - 2\text{Peso}_{\text{caja buje}} - 2\text{Peso}_{27} - 2\text{Peso}_{28} - \text{Peso}_{22} - \text{Peso}_{29} \\ & - \text{Peso}_{30} - \text{Peso}_{\text{mot}} - \text{Peso}_{26} - \text{Peso}_{25} - \text{Peso}_{24} - 2\text{Peso}_{27c} - \\ & 2\text{Peso}_{27b} - \text{Carga} + F_{\text{rog}} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_{\text{rog}} &= 86.6 + 192 + 16 + 91.11 + 6.38 + 13.02 + 500 + 31 \\ &+ 56 + 91 + 5.2 + 4 + 500 + 500 \end{aligned}$$

$$F_{\text{res1}} = -1594.29 \text{ g [k]}$$

Para la suma de momentos tenemos :

↻ Sentido Positivo de giro

$\Sigma M_z = 0$ No tenemos ningún momento sobre este eje.

$$\Sigma M_x \Rightarrow \{ \text{Peso}_{1.51} (75) + \text{Peso}_{27} (54) + \text{Peso}_{28} (0) + \text{Peso}_{26} (0) + \text{Peso}_{22} (0) + \text{Peso}_{24} (0) + \text{Peso}_{25} (0) - \text{Peso}_{27} (54) + 2\text{Peso}_{27b} (54) - 2\text{Peso}_{27b} (54) + \text{Peso}_{27c} (50) - \text{Peso}_{27c} (50) - \text{Peso}_{1.51} (75) + \text{Peso}_{29} (0) + \text{Peso}_{30} (20) + \text{Peso}_{\text{mol}} (0) + \text{Carga} (0) \} \cdot \cos \Theta - M_{\text{res}} = 0$$

$$\therefore M_{\text{res } x} = 301.14 \cos \Theta \text{ g*mm}$$

↷ Sentido Positivo de giro

$$\Sigma M_y \Rightarrow -2\text{Peso}_{1.51} (7.5) - \text{Peso}_{26} (7.5) - \text{Peso}_{30} (7.5) - \text{Peso}_{28} (7.5) - \text{Peso}_{\text{mol}} (7.5) + \text{Peso}_{25} (0) - \text{Peso}_{24} (25) - \text{Peso}_{22} (35.2) - \text{Peso}_{36} (38) + 2\text{Peso}_{28} (15) - 2\text{Peso}_{27} (6) + 6(8.5) + 2\text{Peso}_{27c} (40) + \text{Carga} (45) - M_{\text{res}} = 0$$

$$M_{\text{res}} = 9040.7$$

$$\therefore M_{\text{res } y} = 9040.7 \text{ g*mm}$$

Procediendo con estos resultados tenemos que :

$$\Sigma F_{\text{res}} = -1592.31 \text{ g [K]}$$

$$\Sigma M = \Sigma M_x + \Sigma M_y = 301.14 \cos \Theta [i] + 9040.7 [j]$$

y como $\Sigma M = r \times F$ tenemos que:

$$r \times F = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ 0 & 0 & -1592 \end{bmatrix} = i(-1592y - 0) - (-1592x - 0)j + 0k$$

$$\text{y por ello } \Sigma M = -1592y [i] + 1592x [j]$$

igualando para [i] tenemos:

$$1592y = 301.14 \cos \Theta \Rightarrow y = -0.1892 \cos \Theta \text{ mm}$$

igualando para [j] tenemos:

$$1592x = 9040.7 \Rightarrow x = 5.68 \text{ mm}$$

con estas dos coordenadas tenemos el punto de aplicación r y procedemos a realizar el producto cruz para la obtención del momento equivalente:

$$M_{eq_1} = r \times F = (5.68 [i] - .1892 \cos \Theta [j]) \times -1592 [k]$$

$$M_{eq_1} = 301.2 \cos \Theta [i] + 9042.56 [j]$$

3.5.2.2 Sistema Brazo

El sistema de referencia será el centro de la pieza 12 con el eje X positivo hacia la mano.

La fuerza de la mano se encuentra en las coordenadas (120,0,-33) respecto al sistema de referencia del brazo.

Se considera que el sistema lo forman la pieza 36 en coordenadas (50,0,0), la pieza 35 en (50,0,-33), la pieza 35 en (50,0,62.3), la pieza 21 en (70,0,68), el motor₁ en (95,0,72), la pieza 20 en (70,-1.08,-15), las piezas 13 en (-90,-50,25) y (-90,50,25), las piezas 14 en (-90,-50,-25) y en (-90,50,-25), las piezas 32 están en (-220,-50,25) y en (-220,50,25), la pieza 19 está en (-245,-1.61,-15), el motor₂ en (-290,0,3)

Haciendo suma de fuerzas para cada uno de los ejes tenemos:

$\Sigma F_x = 0$ No tenemos fuerzas que actúen sobre el eje X

$\Sigma F_y = 0$ No tenemos fuerzas que actúen sobre el eje Y

$\Sigma F_z=0$ Tenemos solamente la acción de los pesos de las piezas que componen el brazo y la fuerza resultante del sistema Mano.

$$\Rightarrow -\text{Peso}_{36} - \text{Peso}_{33} - \text{Peso}_{35} - \text{Peso}_{21} - \text{Peso}_{\text{mot}_1} - \text{Peso}_{19} - \text{Peso}_{13a} - \text{Peso}_{11b} - \text{Peso}_{14a} - \text{Peso}_{14b} - \text{Peso}_{12a} - \text{Peso}_{12b} - \text{Peso}_{12} - \text{Peso}_{19} - \text{Peso}_{\text{mot}_2} - F_{\text{mano}} + 0$$

$$F_{\text{res2}} = 151.95 + 173.88 + 266.24 + 113.46 + 500 + 263.74 + 2(326.1) + 2(326.1) + 91.11 + 2(78.15) + 244.21 + 500 + 1592.05$$

$$F_{\text{res2}} = -6635.22 \text{ g [k]}$$

Para la Suma de Momentos tenemos:

La posición de referencia del sistema Brazo está dado en el centro de la pieza 12, manteniéndolo fijo (sin giro), pegada a la pieza 36 por lo que los análisis de momentos variarán al variar la longitud de elongación del brazo, ya que los centroides de algunas piezas pueden cambiar del lado positivo al lado negativo y esto crea un cambio de signo en el análisis de momentos.

Las mediciones positivas serán cuando longitud del brazo sea de 0 a 90 y las negativas serán en las longitudes de 90 a 175 mm; lo que se afectan son las barras y los tornillos.

Además se tiene el giro respecto al centro de la pieza 12 (sin giro) denominado α cuyo cero corresponde a la parte de la bancada que tiene el motor acoplado y la distancia que se va a mover el brazo va a ser λ .

↺ Sentido Positivo de giro.

$\Sigma M_z=0$ No tenemos ningún momento actuando sobre éste eje.

$$\Sigma M_x \Rightarrow \text{Sen}\alpha \{ \text{Peso}_{36}(0) + \text{Peso}_{33}(0) + \text{Peso}_{35}(0) + \text{Peso}_{21}(0) + \text{Peso}_{\text{Mot}_1}(0) - \text{Peso}_{20}(1.08) - \text{Peso}_{13}(50) + \text{Peso}_{11}(50) - \text{Peso}_{14}(50) + \text{Peso}_{14}(50) + \text{Peso}_{12}(50) - \text{Peso}_{12}(50) - \text{Peso}_{19}(1.11) - \text{Peso}_{\text{Mot}_2}(0) + F_{\text{roa}_1}(0) \} + M_{\text{roa}} = 0$$

$$\therefore M_{\text{res } x} = 556.5 \text{ Sen}\alpha \text{ g*mm}$$

⇒ Sentido Positivo de giro

ΣM_y Aquí se debe considerar el factor de la distancia λ

$$\Sigma M_y \Rightarrow \text{Cos}\alpha [F_{\text{roa}_1}(120 + \lambda) + \text{Peso}_{36}(50 + \lambda) + \text{Peso}_{35}(50 + \lambda) + \text{Peso}_{21}(70 + \lambda) + \text{Peso}_{\text{Mot}_1}(95 + \lambda) + \text{Peso}_{20}(70 + \lambda) \pm 2\text{Peso}_{13}(-90 + \lambda) \pm 2\text{Peso}_{14}(-90 + \lambda) - 2\text{Peso}_{12}(220 - \lambda) - \text{Peso}_{19}(245 - \lambda) - \text{Peso}_{\text{Mot}_2}(290 - \lambda)] + M_{\text{roa}} = 0$$

Tomando para λ de 0 a 90 tenemos que tomar los signos positivos de los signos \pm dando como resultado el valor necesario en el sentido de giro que ocasiona.

Tenemos ΣM_y Para $0 < \lambda < 90$ Sustituyendo:

$$M_{\text{res}_y} = [67321.9 + (5192.1)\lambda] \text{Cos}\alpha \text{ g*mm}$$

Tenemos ΣM_y Para $90 < \lambda < 175$ Sustituyendo

$$M_{\text{res}_y} = [167615.4 + 2505.3\lambda] \text{Cos}\alpha \text{ g*mm}$$

Ahora haciendo la suma de momentos respecto al punto de referencia tenemos:

$$\Sigma M = M_{\text{res}_x} [i] + M_{\text{res}_y} [j] + M_{\text{eq}_1}$$

Para $0 < \lambda < 90$ tenemos

$$\Sigma M = 556.5 \text{Sen} \alpha [i] - (67321.9) \text{Cos} \alpha + 9042.6 + (5192.1 \lambda) \text{cos } \alpha [j] + 301.2 \text{Cos} \Theta [i] + 9042.6 [j]$$

simplificando

$$\Sigma M = [556.5 \text{sen} \alpha + 301.2 \text{Cos} \Theta] i + [9042.6 + \text{Cos} \alpha (-67321.9 + 5192.1 \lambda)] j$$

Para $90 < \lambda < 175$ tenemos

simplificando directamente tenemos

$$\Sigma M = 556.5 \text{sen} \alpha + 301.2 \text{Cos} \Theta [i] + [9042.51 + \text{Cos} \alpha (167615.4 + 42505.3 \lambda)] j$$

Procediendo a la simplificación tenemos:

$$r \times F = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ 0 & 0 & -6635.22 \end{bmatrix} = -6635.22 y i + 6635.22 x j$$

tenemos que $\Sigma M = r \times F = -6635.22 y i + 6635.22 x j$

Para $0 < \lambda < 90$

igualando para i tenemos

$$-6635.22 y = 556.5 \text{Sen} \alpha + 301.2 \text{Cos} \Theta \Rightarrow y = -0.08 \text{Sen} \alpha - 0.045 \text{Cos} \Theta$$

igualando para j tenemos

$$8227.22 x = 9042.6 + \text{Cos} \alpha (67321.9 + 5192.1 \lambda)$$

$$\Rightarrow x = 1.36 + \text{Cos} \alpha (-10.14 + 7.825 \lambda)$$

Con estas coordenadas tenemos el punto r y haciendo el producto cruz obtenemos el momento equivalente:

$$M_{eq_2} = [1.36 + \text{Cos} \alpha (10.14 + 7.825 \lambda)] i - [0.084 \text{Sen} \alpha + 0.045 \text{Cos} \Theta] j - 6635.22 k$$

$$M_{eq_2} = [557.22 \text{Sen} \alpha + 298.6 \text{Cos} \Theta] i + [9023.9 + \text{Cos} \alpha (-67281.1 + 5192.1 \lambda)] j$$

Para $90 < \lambda < 175$ tenemos

Igualando para i tenemos:

$$-6635.22y = 556.5\text{Sen}\alpha + 301.3 \text{Cos}\theta \Rightarrow y = -.084\text{Sen}\alpha - .055\text{Cos}\theta$$

Igualando para j tenemos:

$$-6635.22x = 9042.5 + \text{Cosa}(2505.3\lambda + 167615.4)$$

$$\Rightarrow x = \text{Cosa}(25.26 + .37\lambda) + 1.36$$

$$\text{Meq}_{2b} = [1.36 + \text{Cosa}(25.26 + .37\lambda)] i - [.084\text{Sen}\alpha + .045\text{Cos}\theta] j \quad X \\ -6635.22$$

$$\text{Meq}_{2b} = [557.36\text{sen}\alpha + 301.2\text{Cos}\theta] i + [9023.9 + \text{Cosa} \\ (167605.7 + 2455\lambda)] j$$

3.5.2.3 Sistema Cuerpo

El punto de referencia está en el centro de la pieza 1 con el eje X hacia el motor en la bancada.

Se tienen la fuerza del sistema brazo + los pesos de las piezas 1, 2, 3, 6, motor₁, 4 piezas 11, 23, 37 y motor₂.

Como el brazo se mueve hacia arriba se tomará el punto de referencia hasta la posición mas abajo y la distancia que se desplaza varía de 140 la mínima a 405 la máxima y se denominará a esta h.

La pieza 1 está en (0,0,0), la 2 en (0,0,13), la 3 en (0,0,31.5), la 6 en (0,85,10), el mot1 en (35,85,-10), las piezas 11 están en a(45cos45, 45sen45, 220), b(45cos135, 45sen135, 220), c(45cos225, 45sen225, 220), d(45cos315, 45sen315, 220), la pieza 10 está en (0,0,220), la pieza 23 está en (0,0,355), la pieza 37 en (0,0,375), el motor₂ en (0,0,490), las piezas 4 en (45,0,20) y (-45,0,20).

Haciendo la suma de fuerzas para cada eje tenemos:

$\Sigma F_x = 0$ No tenemos ninguna fuerza actuando en ese eje

$\Sigma F_y = 0$ No tenemos ninguna fuerza actuando en ese eje

$\Sigma F_z = 0$ Solo tenemos los efectos de los pesos de las piezas y del sistema Brazo.

$$\Sigma F_z \Rightarrow -\text{Peso1} - \text{Peso2} - \text{Peso3} - \text{Peso6} - \text{Pesomot}_1 - 4\text{Peso11} - \text{Peso10} - \text{Peso23} - \text{Peso37} - \text{Pesomot}_2 - 2\text{Peso14} + \text{Fres}_3 = 0$$

Sustituyendo valores tenemos

$$F_{res_3} = -12755.52 \text{ g}[k]$$

Haciendo la Suma de Momentos en cada Eje:

↻ Sentido positivo de giro

$$\Sigma M_x = 0 \Rightarrow \text{Peso1}(0) + \text{Peso2}(0) + \text{Peso3}(0) + \text{Peso6}(85) + \text{Pesomot}_1(85) + \text{Peso11}(45\text{Sen}(45+\alpha)) + \text{Peso11}(45\text{Sen}(135+\alpha)) - \text{Peso11}(225\text{Sen}(45+\alpha)) - \text{Peso11}(45\text{Sen}(315+\alpha)) + \text{Peso10}(0) + \text{Peso23}(0) + \text{Peso37}(0) + 2\text{Peso4}(0) + \text{Mot}(0) - \text{Mres}_x = 0$$

$$\Sigma M_x \Rightarrow \text{Mres}_x = 68000 + 16890[\text{Sen}(45+\alpha) + \text{Sen}(135+\alpha) - \text{Sen}(225+\alpha) - \text{Sen}(315+\alpha)]$$

↻ Sentido positivo de giro

$$\Sigma M_y = 0 \Rightarrow \text{Peso1}(0) + \text{Peso2}(0) + \text{Peso3}(0) + \text{Peso6}(0) + 45\text{Peso11}[-\text{Cos}(45+\alpha) + \text{Cos}(135+\alpha) + \text{Cos}(225+\alpha) - \text{Cos}(315+\alpha)] + \text{Peso10}(0) + \text{Peso23}(0) + \text{Peso37}(20) + \text{Peso4}(45) - \text{Peso4}(45) - \text{Mres}_y = 0$$

$$\Sigma M_y \Rightarrow \text{Mres}_y = 3818.4 + 16890.75[-\text{Cos}(45+\alpha) + \text{Cos}(135+\alpha) + \text{Cos}(225+\alpha) - \text{Cos}(315+\alpha)]$$

Haciendo suma de Momentos

$$\Sigma M = M_{res_y} + M_{res_x} + M_{eq_2}$$

En este caso no hay que olvidar que hay 2 momentos equivalentes según la distancia λ .

$$\Sigma M = 3818.4 + 16890.75[-\cos(45+\alpha) + \cos(135+\alpha) + \cos(225+\alpha) - \cos(315+\alpha)]i + 68000 + 16890[\sin(45+\alpha) + \sin(135+\alpha) - \sin(225+\alpha) - \sin(315+\alpha)]j + M_{eq_2}$$

Sustituyendo los diferentes valores tenemos que :

Para $0 < \lambda < 90$

$$\Sigma M = \{68000 + 16890[\sin(45+\alpha) + \sin(135+\alpha) - \sin(225+\alpha) - \sin(315+\alpha)] + 298.6\cos\Theta + 557.36\sin\alpha\} i + \{12841 + 16890.75[-\cos(45+\alpha) + \cos(135+\alpha) + \cos(225+\alpha) - \cos(315+\alpha)] + (67281.13 + 5192.06\lambda)\cos\alpha\} j$$

Para $90 < \lambda < 175$

$$\Sigma M = \{68000 + 16890[\sin(45+\alpha) + \sin(135+\alpha) - \sin(225+\alpha) - \sin(315+\alpha)] + 298.6\cos\Theta + 557.22\sin\alpha\} i + \{12841 + 16890.75[-\cos(45 + \alpha) + \cos(135 + \alpha) + \cos(225 + \alpha) - \cos(315 + \alpha)] + (167.605 + 2455 \lambda)\cos\alpha\} j$$

Procediendo a encontrar el vector de aplicación tenemos:

$$\begin{bmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ 0 & 0 & -12755.52 \end{bmatrix} - 12755.52yi + 12755.52xj = \Sigma M$$

Igualando para i y sustituyendo tenemos:

$$y = 5.33 + 0.023\cos\Theta + 0.03\sin\alpha + 1.3[\sin(45 + \alpha) + \sin(135 + \alpha) - \sin(225 + \alpha) - \sin(315 + \alpha)]$$

Igualando para j y sustituyendo tenemos

$$x = (13.14 + .19\lambda)\text{Cosa} + 1.1 + 1.3[-\text{Cos}(45 + \alpha) + \text{Cos}(135 + \alpha) + \text{Cos}(225 + \alpha) - \text{Cos}(315 + \alpha)]$$

Para encontrar el Momento equivalente tenemos que
 $r \times F = \Sigma M$

\therefore Para $0 < \lambda < 90$ tenemos

$$(x+y) \times \text{Fres}_3 = \text{Mres}_{3a} = (x+y) \times -12755.52 \text{ k}$$

sustituyendo tenemos

$$\text{Mres}_{3a} = \{68000 + 548.5\text{Sen}\alpha + 293.38\text{Cos}\theta + 16837.75[\text{Sen}(45 + \alpha) + \text{Sen}(135 + \alpha) - \text{Sen}(225 + \alpha) - \text{Sen}(315 + \alpha)]\} i + \{12832.1 + 16837.3[-\text{Cos}(45 + \alpha) + \text{Cos}(135 + \alpha) + \text{Cos}(225 + \alpha) - \text{Cos}(315 + \alpha)] + (67221.6 + 5229.8\lambda)\text{Cosa}\} j$$

\therefore Para $90 < \lambda < 175$ tenemos

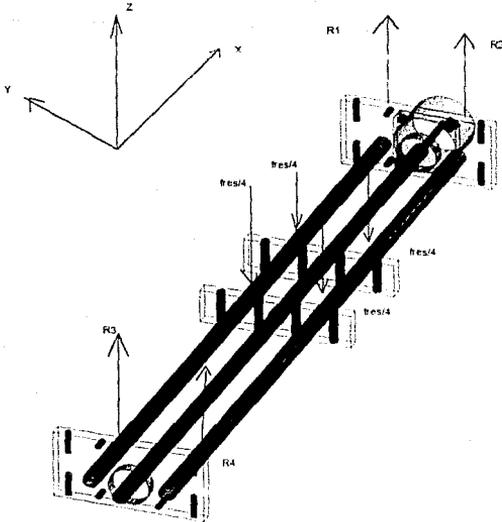
$$(x+y) \times \text{Fres}_3 = \text{Mres}_{3b} = (x+y) \times -12755.52 \text{ k}$$

sustituyendo tenemos

$$\text{Mres}_{3b} = \{68000 + 551.22\text{Sen}\alpha + 293.4\text{Cos}\theta + 16837.3[\text{Sen}(45 + \alpha) + \text{Sen}(135 + \alpha) - \text{Sen}(225 + \alpha) - \text{Sen}(315 + \alpha)]\} i + \{12841 + 16837.3[-\text{Cos}(45 + \alpha) + \text{Cos}(135 + \alpha) + \text{Cos}(225 + \alpha) - \text{Cos}(315 + \alpha)] + (167607.5 + 2423.55\lambda)\text{Cosa}\} j$$

3.5.2.4 Sistema Bancada

Para este sistema consideramos las piezas 8,9,1 motor. Considerando el sistema de referencia como se muestra en la siguiente figura tomaremos el eje de las X en dirección positiva hacia el motor, el eje y hacia la derecha y el eje Z hacia arriba, tomando la aceleración de la gravedad negativa.



Piano que muestra el sistema mecanico

En este sistema consideramos que el tornillo no causa reacción en las piezas de soporte y se considera que el peso total del robot se distribuye en forma homogénea en los puntos de contacto con las barras como se muestra.

Haciendo suma de fuerzas para cada uno de los ejes tenemos:

$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow$ No hay fuerzas que actúen en ese eje

$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow$ No hay fuerzas que actúen en ese eje

$\Sigma F_z = 0 \Rightarrow$ Solo tenemos los pesos de las piezas y las reacciones ocasionadas en las piezas de soporte como se muestra en la figura anterior.

$$\Sigma F_z = 0 \Rightarrow -F_{res3} - \text{Peso}_{\text{mot}} - 2\text{Peso}_9 - \text{Peso}_8 = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 15622.3 \quad \text{Ecuación 1}$$

Haciendo suma de momentos para todos los ejes en el punto 1 tenemos:

$\Sigma M_z = 0$ No tenemos momentos que actúen en ese eje.

↷ Tomando este sentido de giro positivo.

$$\Sigma M_x = 0 \Rightarrow Meq_3 [i] + R_2 (60) - 2(Fres_3/4) (60) - Peso9 (60) - peso8 (60) - Pesomot (30) + R_4 (60) = 0$$

Despejando las reacciones y sustituyendo tenemos:

$$(R_2 + R_4) = 7811.2 - Meq_3/60 \quad \underline{\text{Ecuación 2}}$$

$$\Sigma M_y = 0 \Rightarrow Mot (105) + 590 (R_4 + R_3) - (Fres_3/2) (15 + c) - (Fres_3/) (105 + c) - 295 (2Peso9 + Peso8) + Meq_3 [j] = 0$$

Despejando las reacciones y sustituyendo tenemos:

$$R_4 + R_3 = 21.62C + 1746.6 - Meq_3 [j]/590 \quad \underline{\text{Ecuación 3}}$$

↷ Sentido de giro positivo

Haciendo Suma de momentos en el punto 2

$$\Sigma M_x = 0 \Rightarrow -R_1 (60) - R_3 (60) + (Fres_3/2) (60) + Peso9 (60) + Peso8 (30) + Pesomot (30) + Meq_3 [i] = 0$$

Despejando las reacciones y sustituyendo tenemos:

$$(R_1 + R_3) = 7811.2 + (Meq_3 [i])/60 \quad \underline{\text{Ecuación 4}}$$

↷ Sentido de giro positivo

Haciendo Suma de momentos en el punto 5

$$\Sigma M_x = 0 \Rightarrow -Peso9 (30) + Peso9 (30) + R_1 + R_4 - R_2 - R_3 + Peso8 (0) + Pesomot (0) = 0$$

Despejando tenemos $R_4 = R_3 + R_2 - R_1 + Meq_3 [i]$ Ecuación 5

Tomando las ecuaciones 2,3,4 y5 y resolviendo este sistema tenemos:

Sustituyendo 5 en 2

$$R3 + R2 + R3 - R1 = 21.62C + 1746.6 - \text{Meq}_3 i - \text{Meq}_3 j / 590$$

Despejando R3

$$R3 = 10.81C + 873.3 - \text{Meq}_3 j / 1180 - \text{Meq}_3 i / 2 + (R1 - R2) / 2 \dots \mathbf{a}$$

Usando **a** en 3 tenemos

$$R1 + 10.81C + 873.3 - \text{Meq}_3 j / 1180 + (R1 - R2) / 2 = 7811.3 + (\text{Meq}_3 i) / 60 - \text{Meq}_3 i / 2$$

$$(3R1) / 2 + 10.81C - 6938 - (R2) / 2 - \text{Meq}_3 j / 1180 - \text{Meq}_3 i / 2 = 0$$

$$R2 = 3R1 + 21.62C - 13876 - \text{Meq}_3 j / 590 - \text{Meq}_3 i \dots \mathbf{b}$$

Sustituyendo 5 en 1

$$R2 + R2 + R3 - R1 = 7811.3 - \text{Meq}_3 i / 60 - \text{Meq}_3 i / 2$$

Sustituyendo aquí **a** tenemos

$$2R2 + 10.81C + 873.3 - \text{Meq}_3 j / 1180 + (R1 - R2) / 2 - R1 = 6938 - \text{Meq}_3 i / 2$$

$$3R2 + 21.62C + 1746.6 + \text{Meq}_3 j / 590 + \text{Meq}_3 i - 15622.6 - R1 = 0$$

... **c**

Sustituyendo **b** en **c** tenemos

$$3(3R1 + 21.62C - 13876 - \text{Meq}_3 j / 590 - \text{Meq}_3 i) + 21.62C + 1746.6 + \text{Meq}_3 j / 590 - R1 - 15622.6 + \text{Meq}_3 i = 0$$

$$8R1 + 86.5C - 55504 - 2(\text{Meq}_3 j / 590) - 2\text{Meq}_3 i = 0$$

Despejando R1 tenemos

$$R1 = 6938 + (\text{Meq}_3 [i]) / 4 + (\text{Meq}_3 [j]) / 2360 - 10.81C$$

Sustituyendo R1 en 4 tenemos

$$6938 + \text{Meq}_3 j / 2360 + \text{Meq}_3 i / 4 - 10.81C + R3 = 7811.2 + \text{Meq}_3 i / 60$$

Despejando R3 tenemos

$$R3 = 873.2 - (\text{Meq}_3 [j]) / 2360 - (\text{Meq}_3 [i]) / 2 + 10.8C$$

Sustituyendo R3 en 3 tenemos

$$873.2 - (\text{Meq}_3 [i]) / 2 - \text{Meq}_3 j / 2360 + 10.8C + R4 = 21.6C + 1746.6 - \text{Meq}_3 j / 590$$

Despejando R4 tenemos

$$R4 = 10.8C + 873.4 + 3(\text{Meq}_3 [j]) / 590 + (\text{Meq}_3 [i]) / 2$$

Sustituyendo R4 en 2 tenemos:

$$10.81C + 873.4 + 3(\text{Meq}_3 [j]) / 590 + (\text{Meq}_3 [i]) / 2 + R2 = 7811.3 - (\text{Meq}_3 [i]) / 60$$

Despejando R2 tenemos:

$$R2 = 6938 - (\text{Meq}_3 [i]) / 2 - 10.8C - 3(\text{Meq}_3 [j]) / 590$$

Para los resultados de las reacciones así como de los momentos equivalentes, se tienen programas de computadora para su solución y los resultados se muestran en la parte final de éste capítulo.

3.6 Análisis Dinámico

3.6.1 Introducción

Cuando un cuerpo se mueve en el espacio, generalmente tiene translación y rotación en un instante dado. Los aspectos

cinéticos de la translación determinan que la suma de fuerzas es igual a la masa por la aceleración del cuerpo.

$$\Sigma F = Ma$$

Las ecuaciones de movimiento rotacional, relacionan las componentes del movimiento rotacional del cuerpo, creadas por fuerzas externas sobre un punto, ya sea dentro o fuera del cuerpo.

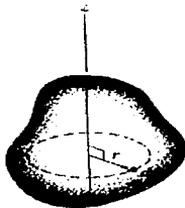
Las ecuaciones que se utilizan para el estudio dinámico se conocen como ecuaciones de movimiento del cuerpo rígido o ecuaciones de Euler, debido a que el matemático suizo Leonhard Euler fue el primero en desarrollarlas. En esta parte se darán los lineamientos que interesan para el análisis de las reacciones soportadas en el robot y determinar si los elementos de que está constituido resistirán de manera adecuada, los momentos y fuerzas a que estarán sometidos.

Para la mejor comprensión de esta sección se tendrán las siguientes definiciones:

Momentos de Inercia Un cuerpo al que se le aplica una fuerza no concurrente puede causarle rotación y translación al cuerpo. La translación se rige por la ecuación $\Sigma F = Ma$ y la rotación se rige por la ecuación $\Sigma M = I\alpha$, donde I es el momento de inercia, que se puede ver como la resistencia de un cuerpo a una aceleración angular, así como la masa es la medida de la resistencia de un cuerpo a la aceleración.

El momento de inercia se define como la integral del segundo momento respecto a un eje, de todos sus elementos de masa dm que componen al cuerpo.

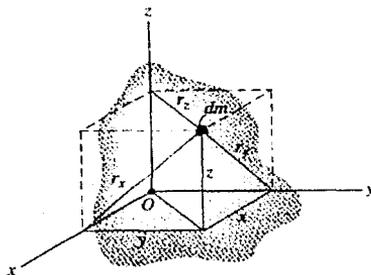
Ejemplificando, tomemos el cuerpo de la siguiente figura:



momento de inercia de un cuerpo respecto al eje Z

el momento en el eje Z de este cuerpo es $I_z = \int r^2 dm$. Como el valor de r está elevado al cuadrado, se tiene siempre un valor de I positivo. Para un cuerpo rígido se tiene que el momento de inercia para un elemento dm del cuerpo respecto a cualquiera de los ejes coordenados, se define como el producto de la masa del elemento y el cuadrado de la distancia más corta desde el eje al elemento.

En la siguiente figura se tiene un cuerpo rígido donde se ven las distancias para el cálculo del momento de inercia:



Cuerpo rígido que muestra las distancias para el cálculo del momento de inercia y de los productos de inercia

Como se puede ver $r_x = \sqrt{y^2 + z^2}$ y entonces los momentos de inercia para cada eje quedan:

$$I_{xx} = \int_m (y^2 + z^2) dm$$

$$I_{yy} = \int_m (x^2 + z^2) dm$$

$$I_{zz} = \int_m (x^2 + y^2) dm$$

El Producto de Inercia de un elemento diferencial dm se define respecto a 2 planos ortogonales como el producto de la masa del elemento y las distancias perpendiculares, desde los planos al elemento.

En la figura anterior vemos que respecto a los planos $y-z$ y $x-z$ el producto de inercia $dI_{xy} = xy dm$ y por lo tanto las expresiones para los momentos de inercia quedan:

$$\begin{aligned} I_{xy} &= \int (xy) dm \\ I_{yx} &= \int (xy) dm \\ I_{xy} &= \int (xy) dm \end{aligned}$$

Los productos de inercia pueden ser positivos, negativos o cero, en cambio de los momentos de inercia que solo pueden ser positivos. Cuando se tienen planos de simetría se tiene que los productos de inercia con respecto a dicho plano, serán cero, ya que la masa es constante y solo cambia el signo algebraico y la suma de positivos y negativos se anula.

Momentum angular es el momento creado por la cantidad de movimiento lineal de una partícula en un instante dado (la cantidad de movimiento lineal es el producto de mv donde m es la masa del cuerpo y v es la velocidad) con respecto a un punto O y se determina como $H = r \times mv$ y lo podemos poner en forma de determinante de la siguiente manera:

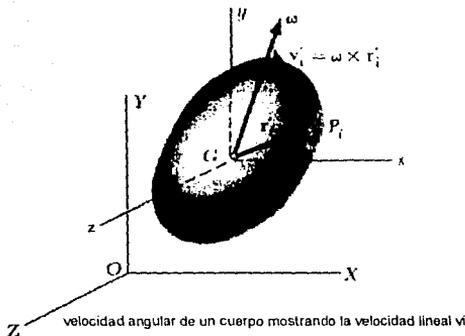
$$H_0 = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ mv_x & mv_y & mv_z \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} H_x &= m(yV_z - zV_y) \\ H_y &= m(zV_x - xV_z) \\ H_z &= m(xV_y - yV_x) \end{aligned}$$

Al calcular la derivada de H_0 tenemos

$$\begin{aligned} H &= r \times mv + r \times m \dot{v} \text{ y como } \dot{r} = v \text{ y } \dot{v} = a \text{ tenemos :} \\ &= v \times mv + r \times ma \text{ pero } v \times mv = 0 \text{ ya que son terminos colineales} \\ &\text{ y nos queda } = r \times ma \text{ pero } ma = \Sigma f \text{ y } r \times \Sigma f = \Sigma M_0 \\ \therefore \Sigma M_0 &= H_0 \end{aligned}$$

Podemos determinar H de un cuerpo a partir de la velocidad

angular: $\sum_{i=1}^n (r_i \times v_i \Delta m)$ donde r_i y v_i son el vector de posición y la velocidad de la partícula P_i relativa al sist. centroidal, como se ve en la siguiente figura:



y sustituyendo $v = \omega \times r$ tenemos:

$$H_G = \sum_{i=1}^n F_i \times (r_i \times v_i \Delta m_i)$$

y realizando los productos vectoriales tenemos para H_x :

$$H_x = \sum_{i=1}^n [y_i (\omega x r_i)_z - z_i (\omega x r_i)_y] \Delta m_i = \sum [y_i (\omega_x y_i - \omega_y x_i) - z_i (\omega_x x_i) - (\omega_y z_i)] \Delta m_i$$

y al sustituir por integrales las sumatorias nos da:

$$\begin{aligned}
 H_G \Rightarrow \quad H_x &= \omega_x \int (y^2 + z^2) dm - \omega_y \int (xy) dm - \omega_z \int (zx) dm \\
 H_y &= \omega_y \int (z^2 + x^2) dm - \omega_x \int (xy) dm - \omega_z \int (yz) dm \\
 H_z &= \omega_z \int (x^2 + y^2) dm - \omega_x \int (yz) dm - \omega_y \int (zx) dm
 \end{aligned}$$

pero sabemos que los momentos de inercia centroidal y los productos de inercia son:

$$\begin{aligned}
 I_x &= \int (y^2 + z^2) dm, \quad I_y = \int (x^2 + z^2) dm \quad \text{e} \quad I_z = \int (x^2 + y^2) dm \quad \text{y} \quad \text{que} \quad \text{los} \\
 \text{productos de inercia son:} \quad I_{xy} &= \int (xy) dm, \quad I_{yz} = \int (yz) dm \quad \text{e} \quad I_{xz} = \int (xz) dm
 \end{aligned}$$

nos queda que

$$\begin{aligned}
 H_x &= I_x \omega_x - I_{xy} \omega_y - I_{xz} \omega_z \\
 H_y &= I_y \omega_y - I_{xy} \omega_x - I_{yz} \omega_z \\
 H_z &= I_z \omega_z - I_{xz} \omega_x - I_{yz} \omega_y
 \end{aligned}$$

Para calcular H_0 tenemos $H_0 = r \times v + H_G$ donde H_0 es respecto a un eje de referencia fijo.

Para calcular la derivada de H_G tenemos:

$$(\dot{H}_G)_{Gxyz} = \dot{H}_x i + \dot{H}_y j + \dot{H}_z k,$$

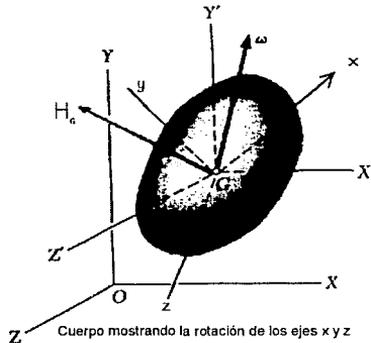
donde $(H_G)_{Gxyz}$ es respecto a los ejes giratorios e i , j y k son los vectores unitarios de los ejes giratorios, y para tenerlo conforme a los ejes centroidales

tenemos:
$$\dot{H}_G = (\dot{H}_G)_{Gxyz} + \Omega \times H_G$$

donde H_G es la cantidad de movimiento angular del cuerpo respecto a los ejes centroidales fijos.

Ω es la velocidad angular del sistema giratorio $Gxyz$.

Esto se esquematiza en la siguiente figura:



∴ si $H_G = \Sigma M_G$ tenemos que $\Sigma M_G = (H_G)_{Gxyz} + \Omega \times H_G$

Si los ejes giratorios se hacen coincidir con los ejes principales de inercia del cuerpo, se tendrá:

$$\begin{aligned} \Sigma M_x &= I_x \alpha_x - (I_y - I_z) \omega_y \omega_z, \\ \Sigma M_y &= I_y \alpha_y - (I_z - I_x) \omega_z \omega_x, \\ \Sigma M_z &= I_z \alpha_z - (I_x - I_y) \omega_x \omega_y, \end{aligned}$$

que son las denominadas ecuaciones de Euler de movimiento que junto con las ecuaciones de la segunda ley de Newton ($\Sigma F_x = m a_x$, $\Sigma F_y = m a_y$ y $\Sigma F_z = m a_z$) son las que se utilizan para el análisis de movimiento del cuerpo rígido.

3.6.2 Consideraciones en el Robot

Debido al sistema de control que tenemos en el Robot, solo se tendrá el movimiento de un motor cada vez es decir no se podrán tener desplazamientos simultáneos de dos o mas motores, por lo que el análisis lo podemos realizar sistema por sistema ya que se tienen movimientos independientes.

Se tienen dos movimientos rotacionales que se conservan como tal y que se pueden hacer coincidir los ejes principales con los ejes de rotación y por ello podemos utilizar las ecuaciones de Euler en su forma mas simple.

Los demás movimientos en el Robot, se tienen lineales ya que se utiliza un tornillo de potencia para convertir el movimiento angular del motor a movimiento lineal.

Los motores que se utilizan son motores de pasos cuyo funcionamiento se explico en el capítulo de sistema electrónico, no tienen aceleración angular, se tiene un tiempo de transición que se da del reposo hasta alcanzar la velocidad constante, pero es tan pequeño que su magnitud no merece un análisis por separado par estos efectos transitorios por lo que la α de los motores se considera 0.

3.6.3 Justificación de consideraciones

En el robot se tiene una simetría lo que permite que los productos de inercia sean cero, al considerar las estructuras que componen cada sistema como una unidad ya que así es como se comportan al funcionar.

Por lo tanto al establecer que no tenemos aceleración angular y que los movimientos lineales se tienen con velocidad constante, se tiene que $\Sigma F = m a$ siendo $a=0$ entonces tenemos un caso que semeja al análisis estático, para lo que requerimos de calcular las reacciones. Al establecer que $\alpha=0$ tenemos entonces:

$$\sum M_x = -(I_y - I_z) \omega_y \omega_z,$$

$$\sum M_y = -(I_x - I_z) \omega_x \omega_z,$$

$$\sum M_z = -(I_x - I_y) \omega_x \omega_y,$$

En este Robot tenemos giros en un solo eje por lo que cuando tenemos giros en X tenemos que $\omega_y = \omega_z = 0$, cuando tenemos giros en Y $\omega_x = \omega_z = 0$ y cuando los tenemos en z $\omega_x = \omega_y = 0$ por lo que todas las sumas de momentos quedan igual a cero por lo que el caso semeja los efectos estáticos.

Esto ocurre en todos los sistemas ya que las ω son en un solo eje por lo que todos los productos se anulan y los resultados de las sumas de momentos dan cero.

Dadas las consideraciones anteriores se tienen los datos del análisis estático del Robot para determinar las reacciones y se utilizarán también para la justificación de materiales de construcción y elementos constitutivos.

3.7 Justificación de materiales

Consideraciones de Esfuerzo y deformación:

La *resistencia* es una propiedad de un material y depende de sus características, tratamientos y procesados.

El *esfuerzo* se origina por las fuerzas externas que actúan en el elemento del cuerpo.

Factor de Seguridad

Un método para relacionar el esfuerzo y la resistencia es el del Factor de Seguridad se define en general por el término

$$Nd = \text{resistencia/esfuerzo}$$

Se cambia según sea normal o cortante el esfuerzo que se esté calculando.

El esfuerzo cortante se denomina τ y la resistencia se denomina S_y por lo que el factor de seguridad queda como :

$$Nd = S_y / \tau$$

Debido a la baja velocidad de operación se tiene que las piezas que se justificarán son las piezas que soportan c/u de los sistemas, ya que las demás piezas no sufren de esfuerzos considerables, mas que su propio peso.

Para los cálculos de la justificación de materiales se utilizará un método para cálculo de esfuerzos para carga constante que es la *Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo* que indica que un material empieza a ceder siempre que en cualquier elemento, el esfuerzo cortante se vuelva igual al esfuerzo cortante máximo en una probeta a tensión.

Las ecuaciones que se utilizan son:

$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} \quad , \quad \tau_{xy} = \frac{T}{J/c} \quad , \quad \begin{array}{l} I/c \text{ es el módulo de sección respecto al momento de inercia} \\ J/c \text{ es el módulo de sección respecto al momento polar de inercia} \end{array}$$

como las piezas que sostienen las estructuras son de sección transversal redonda tenemos que $I/c = \pi d^3 / 32$ y que $J/c = 2I/c$. Los valores de M y T son los que se obtienen del análisis estático para cada sistema.

La ecuación que se utiliza para esfuerzo combinado para determinar el factor de seguridad es la siguiente:

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(S/S_y)^2 + (S_x/S_{xy})^2}$$

donde $S = \sigma_x$, $SS = \tau_{xy}$ y $S_{xy} = S_y/2$

Para T se toma el valor de M ya que es radial a la pieza

Se considera en todas las piezas de soporte que no existe pandeo.

Tomando los resultados de los programas de cálculo y analizando las piezas por sistemas tenemos:

3.7.1 Sistema Mano

La carga de la mano y su peso se sostienen en la pieza # 22 se tiene un diámetro de 12 mm y un material acero cold rolled de resistencia S_y de 3374 kg/cm² y tenemos una fuerza de 1.59 kg y un momento de .91 kg*cm .

Se tiene la aplicación de la fuerza a una distancia de 3 cm del punto de apoyo de la pieza # 22

$$\text{Calculando } I/c = \pi(d^3)/32 = \pi(1.2)^3/32 = 0.169 \text{ cm}^3$$

$$J/c = 2(I/c) = 0.338 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} S &= M/(I/c) = \{(f*d) + M\}/(I/c) \\ &= \{(1.59*3) + .91\}/.169 \\ S &= 33.61 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$Ss = T/(J/c) = M(2I/c) = 33.61/2$$

$$Ss = 16.81 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sy = 3374 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad Sys = Sy/2 = 1687 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(s/s_y)^2 + (s_x/s_{yx})^2} = \sqrt{(33.61/3374)^2 + (16.81/1687)^2}$$

$$N = 70.97 \text{ Para carga Máxima}$$

Al obtener un valor mayor que uno se comprueba que el material y la dimensi3n de la pieza es suficiente para esto.

3.7.2 Sistema Brazo

La fuerza aplicada resultante de este sistema es de 6.64 kg y se considera que se sostiene en las piezas 14 que tienen un diámetro de 1.27 cm. Se tiene un momento resultante de 60.63 kg*cm . El material de estas piezas es el mismo cold rolled anterior cuya resistencia es de 3374 kg/cm² y estn a 5 cm de distancia de la aplicaci3n de la fuerza.

$$\text{Calculando } I/c = \pi(d^3)/32 = \pi(1.27)^3/32 = 0.2011 \text{ cm}^3$$

$$J/c = 2(I/c) = 0.4022 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} S &= M/(I/c) = \{(f*d) + M\}/(I/c) \\ &= \{(6.64*5) + 60.63\}/.2011 \end{aligned}$$

$$S = 466.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ por las 2 piezas y en cada una tenemos la mitad o sea } 233.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ss = T/(J/c) = M(2I/c) = 233.3/2 = 116.65 \text{ kg/cm}^2 \text{ en cada una}$$

$$Ss = 116.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sy = 3374 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad Sys = Sy/2 = 1687 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(s/s_y)^2 + (s_x/s_{yx})^2} = \sqrt{(233.3/3374)^2 + (116.65/1687)^2}$$

N = 10.22 Para carga Máxima

Al obtener un valor mayor que uno se comprueba que el material y la dimensión de la pieza es suficiente para esto.

3.7.3 Sistema Cuerpo

La fuerza aplicada resultante de este sistema es de 12.8 kg ya que se tomará la fuerza que resulta de todo el sistema lo que asegura un exceso de carga sobre la pieza 10 que se sostiene en las piezas 10 que tienen un diámetro de 1.27 cm, pero es rosca y su diámetro menor es de 1.01cm. Se tiene un momento resultante nulo ya que se tiene sobre el eje de aplicación de la fuerza y el momento resultante de ese sistema es respecto a otro punto de referencia. El material de esta pieza es el mismo cold rolled anterior cuya resistencia es de 3374 kg/cm².

El hecho de que la carga se sostiene en el tornillo, obliga a que se trate de otra manera el análisis del esfuerzo cortante máximo. Se tomará la forma descrita en el libro de **Diseño de Máquinas** escrito por Aaron D. Deutschman publicado por Ed. CECSA en la sección tornillos de potencia.

Considerando el esfuerzo de flexión en el tornillo de potencia tenemos que la ecuación de $S = (3Wh)/(\pi d_m^3 n b^2)$ donde

W es la carga

d_m es el diámetro medio de la rosca que se considerara el diámetro menor por mayor seguridad,

h es la altura de la rosca, cuyo dato se obtiene de la tabla 2 siendo 0.05 in o .127 cm

n es el número de hilos del tornillo en contacto

b es el avance de la rosca o sea p en este caso .1 in o .254 cm

sustituyendo valores queda:

$$S = [3(12.8)(.127)] / [\pi(1.01)^3(5)(.254)^2]$$

$$S = 4.76 \text{ kg/cm}^2$$

Para el esfuerzo cortante debido al par tenemos que

$S_s = 3(W) / [2(\pi)(d_r)(n)(b)]$ siendo d_r el diámetro de raíz del tornillo

$$S_s = 3(12.8) / [2(\pi)(1.01)(5)(.254)]$$

$$S_s = 4.6 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma para el factor de seguridad, por esfuerzos combinados, la ecuación que se ha manejado anteriormente, ya que la mostrada en esa sección es cuando el tornillo tiene poca longitud sin apoyo.

Calculando entonces el factor de seguridad tenemos

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(s/s_y)^2 + (s_x/s_{yx})^2} = \sqrt{(4.76/3374)^2 + (4.6/1687)^2}$$

$$N = 305$$

Al obtener un valor mayor fue uno se comprueba que el material y la dimensión de la pieza es suficiente para esto.

3.7.4 Sistema Bancada

Recordando como se supuso en el análisis estático del Robot que el tornillo no carga la fuerza se tendrá en las dos piezas # 8.

Los datos que tenemos para este sistema de los programas son La fuerza aplicada resultante de este sistema es de 15.6 kg y se considera que se sostiene en las piezas 8 que tienen un diámetro de 1.27 cm. Se tiene un momento resultante de 64.34 kg*cm . El material de estas piezas es el mismo cold rolled anterior cuya resistencia es de 3374 kg/cm² y están a 3 cm de distancia de la aplicación de la fuerza.

$$\text{Calculando } I/c = \pi(d^3)/32 = \pi(1.27)^3/32 = 0.2011 \text{ cm}^3$$
$$J/c = 2(I/c) = 0.4022 \text{ cm}^3$$

$$S = M/(I/c) = \{(f*d) + M\}/(I/c)$$
$$= \{(15.6*3) + 64.34\}/.2011$$

$S = 552.7 \text{ kg/cm}^2$ en las 2 piezas y en cada una tenemos la mitad o sea 276.35 kg/cm^2

$S_s = T/(J/c) = M(2I/c) = 552.7/2 = 276.35 \text{ kg/cm}^2$ por las 2 piezas y en cada una tenemos la mitad o sea 138.18 kg/cm^2

$$S_s = 138.18 \text{ kg/cm}^2$$

$S_y = 3374 \text{ kg/cm}^2$ y $S_{ys} = S_y/2 = 1687 \text{ kg/cm}^2$

$$\frac{1}{N} = \sqrt{(s/s_y)^2 + (s_s/s_{ys})^2} = \sqrt{(276.35/3374)^2 + (138.18/1687)^2}$$

$N = 74$ Para carga Máxima

Al obtener un valor mayor que uno se comprueba que el material y la dimensión de la pieza es suficiente para esto.

Como se aprecia en todas las piezas se obtuvieron factores de seguridad elevados lo que permite mantener en operación al robot sin ningún problema en cuanto a lo esfuerzos sobre las piezas de soporte.

3.8 Selección de rodamientos

3.8.1 Características

Para este inciso se tienen las siguientes definiciones:

Carga Estática Equivalente es la carga máxima que soporta el balero evitando deformaciones excesivas que dejen al balero fuera de servicio. Esta carga es cuando el balero se encuentra detenido y se utiliza también para el caso de baleros que giran lentamente.

La carga estática equivalente de un balero, se calcula de la siguiente manera:

$$F_s = X_s(F_r) + Y_s(F_a) \quad \text{donde}$$

F_r es la fuerza radial

F_a es la fuerza axial

X_s y Y_s son valores que se toman de tablas y dependen del tipo de baleros y del tipo de carga aplicada, si la carga es puramente radial, entonces Y_s vale 0 y X_s

vale 1 y viceversa cuando hay pura carga axial.

Cuando se quiere seleccionar un rodamiento, se utiliza el factor de seguridad estático que nos indica si el balero el balero seleccionado soportará los esfuerzos a los que estará sometido según el siguiente criterio:

Fac. Seg. ≥ 0.5 operación suave sin choques

Fac. Seg. ≥ 1.0 servicio normal

Fac. Seg. ≥ 2.0 operación con choques repentinos y requerimientos elevados para operación suave

Se calcula de la siguiente manera:

Fac. Seg. = C_s/F_s donde

C_s es la capacidad de carga estática del balero seleccionado cuyo valor es dado por el fabricante

F_s es la carga estática equivalente

Los valores de X_s y Y_s son menores de 1 generalmente lo que nosotros tomaremos como 1 las dos, para tener mas seguridad en la selección del balero.

También tomaremos el valor de $F_a = F_r$ para el caso de los baleros radiales, lo que nos dará el valor de $F_s = 2F_r$ y para el caso del balero axial tomaremos $F_r = F_a$ que nos da un valor de $F_s = 2 F_a$.

3.8.1 Baleros Radiales

Para los cálculos de los baleros radiales, al ser el mismo modelo, se procede a justificar el que está sometido a una carga mayor justificándose así los demás en caso de ser mayor de 2 el factor de Seguridad estático.

Tenemos baleros SKF 6200-2R51 con diámetro interior 10 mm y el diámetro exterior de 30 mm.

Su capacidad de carga estática es de 400 lb o 1.783 KN y para los cálculos tenemos:

El balero que tiene la mayor carga son los baleros que están en la bancada, cambiando el criterio, supondremos que el tornillo soporta todo el peso de la estructura y además que

se recarga en un sólo balero, para tener una seguridad absoluta en la selección.

La fuerza que se tiene en la bancada es de 15.62 kg y como estamos tomando $F_s = 2F_r$ tenemos que $F_s = 31.24$ kg o 306.5 N.

Fac. Seg. = $1783/(306.5) = 5.81$

El balero sometido a estas cargas sobrepasadas (que jamás se llegarán a alcanzar debido a los criterios expuestos), soportará adecuadamente su función.

3.8.2 Balero Axial

Se tiene un balero axial FAG 51205 con una capacidad de carga estática de 50 KN con diámetro interior de 30 mm y diámetro exterior de 48 mm.

Se tiene una carga axial de 17 kg pero como tomamos $F_s = 2F_a$ tenemos 32.64 kg o 306.5 N

Para los cálculos tenemos:

Fac. Seg. = $50000/306.5 = 163.13$

En ambos casos se tienen factores de seguridad muy elevados lo que permite una operación suave aún si se tuvieran choques sobre todo en el balero axial.

La vida de los baleros se calcula en revoluciones, y depende de la velocidad de operación; los baleros elegidos tienen una velocidad máxima de operación de alrededor de 3000 r.p.m. y nosotros los utilizaremos a menos de 60 r.p.m. por lo que su vida es muy larga, del orden de 10^{12} revoluciones.

3.9 Programas de Cálculo de los Momentos y

Reacciones de los sistemas del Robot

Estos programas son para el cálculo de las ecuaciones y momentos resultantes, que se dan en el análisis estático del Robot; a continuación se ponen los listados de cada uno de

ellos y al final se da una corrida de ellos, ya que están eslabonados.

3.9.1 Programa que calcula los momentos máximos en i para el brazo

```
1 CLS
10 LPRINT "Programa que calcula los momentos máximos en i para el brazo" :LPRINT
11 LPRINT "Oprima C para continuar":LPRINT
13 IF INKEY$="" THEN GOTO 13
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT"haciendo los cálculos aguarde un momento" :LPRINT
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 0 TO 6.2832 STEP .1
50 MEQ=551.22*SIN(I) + 451*COS(J)
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON:":PRINT
120 LPRINT "1)      "; "ANGULO brazo =";A1*57.2958;"      angulo mano =";B1*57.2958
:LPRINT
130 LPRINT "Momento= ";R1:LPRINT
140 LPRINT "2)      "; "ANGULO brazo =";A2*57.2958;"      angulo mano
=";B2*57.2958:LPRINT
150 LPRINT "Momento= ";R2:LPRINT
160 LPRINT "3)      "; "ANGULO brazo =";A3*57.2958;"      angulo mano
=";B3*57.2958:LPRINT
170 LPRINT "Momento=";R:LPRINT
180 LPRINT "4)      "; "ANGULO brazo =";A4*57.2958;"      angulo mano
=";B4*57.2958:LPRINT
190 LPRINT "Momento= ";R4:LPRINT
200 LPRINT"
"
201 LPRINT"
"
220 LPRINT"Quieres continuar con el cálculo del brazo en j para 0 <= á <
307:lprint
221 LPRINT"Si o No?" :LPRINT
222 INPUT "oprima S o N";A$
225 IF A$="s" THEN RUN "brazo1j"
226 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
```

```

1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.2 Programa para calcular el momento en j para el brazo
con $0 < \lambda < 90$

```

2 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento en j para el brazo con 0< λ
<90":LPRINT
11 LPRINT"oprime C para continuar":LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 12
15 λ=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento"
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 0 TO 90 STEP 1
50 MEQ=261872! + (233570.8 + 7554*J)*COS(I)
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
101 LPRINT" "
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON:":LPRINT
120 LPRINT "1) "; "ANGULO =" ;A1*57.2958;" L=" ;B1:LPRINT
130 LPRINT "FUERZA=" ;R1:LPRINT
140 LPRINT "2) "; "ANGULO =" ;A2*57.2958;" L=" ;B2:LPRINT
150 LPRINT "FUERZA=" ;R2:LPRINT
160 LPRINT "3) "; "ANGULO =" ;A3*57.2958;" L=" ;B3:LPRINT
170 LPRINT "FUERZA=" ;R3:LPRINT
180 LPRINT "4) "; "ANGULO =" ;A4*57.2958;" L=" ;B4:LPRINT
190 LPRINT "FUERZA=" ;R4
200 LPRINT" "
210 LPRINT" "
220 LPRINT"Quieres conocer los momentos máximos en j para 90 < λ < 175 ?":LPRINT
221 LPRINT"Sí o No?"
222 INPUT "Oprime S o N ";A$
223 IF A$="s" THEN RUN "brazo2j"
224 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70

```

```

1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.3 Programa para calcular el momento máximo en j para el
brazo con $90 < \lambda < 175$

```

1 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento máximo en j para el brazo con 90< λ
<175"PRINT:LPRINT
11 LPRINT"oprime C para continuar ":LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 13
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento"
30 FOR I=0 TO 0.2632 STEP .1
40 FOR J= 90 TO 175 STEP 1
50 MEQ=261872.4 + (468293.4 + 4936.3*J)*COS(I)
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
86 LPRINT" "
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON":LPRINT
120 LPRINT "1) "; "ANGULO =";A1*57.2958;" L=";B1:LPRINT
130 LPRINT "FUERZA= ";R1:LPRINT
140 LPRINT "2) "; "ANGULO =";A2*57.2958;" L=";B2:LPRINT
150 LPRINT "FUERZA= ";R2:LPRINT
160 LPRINT "3) "; "ANGULO =";A3*57.2958;" L=";B3:LPRINT
170 LPRINT "FUERZA= ";R3:LPRINT
180 LPRINT "4) "; "ANGULO =";A4*57.2958;" L=";B4:LPRINT
190 LPRINT "FUERZA= ";R4:LPRINT
200 LPRINT" "
202 LPRINT" "
210 LPRINT"Quiere Continuar con los cálculos del momento máximo para el cuerpo en
i para  $0 < \lambda < 90$ " :LPRINT
220 LPRINT"Si o No"
222 INPUT "oprime S o N ";A$
225 IF A$="s" THEN RUN "cuerpoli"

```

```

226 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.4 Programa para calcular el momento máximo para el cuerpo con $0 < \lambda < 90$ en i

```

1 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento máximo para el cuerpo con 0< λ <90 en i":LPRINT
11 LPRINT"Oprima C para continuar":LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 12
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento "
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 0 TO 6.2832 STEP .1
50 MEQ=68000!+ 551.22*SIN(I) +451* $\cos(J)$ +168909.75#*( $\sin(.7854+I)$ + $\sin(2.3562+I)$ - $\sin(3.927+I)$ - $\sin(5.498+I)$ )
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
101 LPRINT " "
110 LPRINT "Los resultados son:"
120 LPRINT "1) "; "ANGULO brazo =" ;A1*57.2958;" angulo mano=" ;B1*57.2958:LPRINT
130 LPRINT "Momento=" ;R1 :LPRINT
140 LPRINT "2) "; "ANGULO brazo =" ;A2*57.2958;" angulo mano=" ;B2*57.2958:LPRINT
150 LPRINT "Momento=" ;R2 :LPRINT
160 LPRINT "3) "; "ANGULO brazo =" ;A3*57.2958;" angulo mano=" ;B3*57.2958:LPRINT
170 LPRINT "Momento=" ;R3 :LPRINT
180 LPRINT "4) "; "ANGULO brazo =" ;A4*57.2958;" angulo mano=" ;B4*57.2958:LPRINT
190 LPRINT "Momento=" ;R4
200 LPRINT " "
202 LPRINT " "

```

```

205 LPRINT"Quieres continuar con los cálculos del momento máximo en i para el
cuerpo":LPRINT
207 LPRINT"Sí o No"
210 INPUT "Oprima S o N";A$
220 IF A$="s" THEN RUN "cuerpo2i"
225 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.5 Programa para calcular el momento máximo en i para el
cuerpo con $90 < \lambda < 175$

```

1 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento máximo en i para el cuerpo con 90< λ
<175":LPRINT
11 LPRINT"Oprima C para continuar":LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 12
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento "
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 0 TO 6.2832 STEP .1
50 MEQ=68000I+ 551.22*SIN(I) + 451*COS(J) +168909.75# * (SIN(.7854+I) +
SIN(2.3562+I)-SIN(3.927+I)-SIN(5.498+I))
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
101 LPRINT " "
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON:":LPRINT
120 LPRINT "1) "; "ANGULO brazo =";A1*57.2958;" angulo mano=";B1*57.2958:LPRINT
130 LPRINT "Momento=" ;R1:LPRINT
140 LPRINT "2) "; "ANGULO brazo =";A2*57.2958;" angulo mano=";B2*57.2958:LPRINT

```

```

150 LPRINT "Momento= ";R2 :LPRINT
160 LPRINT "3) "; "ANGULO brazo =";A3*57.2958;" angulo mano=";B3*57.2958:LPRINT
170 LPRINT "Momento= ";R3:LPRINT
180 LPRINT "4) "; "ANGULO brazo =";A4*57.2958;" angulo mano=";B4*57.2958:LPRINT
190 LPRINT "Momento= ";P4
200 LPRINT "
201 LPRINT"
205 LPRINT"Quiere continuar con los cálculos para el cuerpo en J con  $0 < \lambda < 90$ ?"
206 LPRINT"Sí o No"
210 INPUT "Oprima S o N";A$
215 IF A$="s" THEN RUN "cuerpolj"
220 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.6 Programa para calcular el momento máximo en j para el cuerpo con $0 < \lambda < 90$

```

1 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento máximo en j para el cuerpo con  $0 < \lambda < 90$ ":LPRINT
11 LPRINT"Presione C para continuar" :LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 12
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los calculos espere un momento"
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 0 TO 90 STEP 1
50 MEQ=265690! +(233570.8 + 7554*J)*COS(I)+16890.75*(-
COS(.7854+I)+COS(2.3562+I)+COS(3.927+I)-COS(5.498+I))
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I

```

ESTA TERCERA NO DEBE
SER DE LA BIBLIOTECA

```

85 CLS
94 IF ABS(MEQ) > ABS(R4) AND ABS(MEQ) < ABS(R3) THEN GOTO 1300
100 BEEP;BEEP;BEEP;BEEP
101 LPRINT " "
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON:":LPRINT
120 LPRINT "1) "; "ANGULO =" ; A1*57.2958; " L=" ; B1:LPRINT
130 LPRINT "FUERZA=" ; R1:LPRINT
140 LPRINT "2) "; "ANGULO =" ; A2*57.2958; " L=" ; B2:LPRINT
150 LPRINT "FUERZA=" ; R2:LPRINT
160 LPRINT "3) "; "ANGULO =" ; A3*57.2958; " L=" ; B3:LPRINT
170 LPRINT "FUERZA=" ; R3:LPRINT
180 LPRINT "4) "; "ANGULO =" ; A4*57.2958; " L=" ; B4:LPRINT
190 LPRINT "FUERZA=" ; R4
200 LPRINT" "
205 LPRINT" "
210 LPRINT"Desea continuar con los cálculos del momento máximo en j para el
cuerpo con  $90 < \lambda < 175$ ":LPRINT
212 LPRINT"Sí o No"
213 INPUT "Presione S o N";A$
220 IF A$="s" THEN RUN "cuerpo2j"
225 IF A$="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.7 Programa para calcular el momento máximo en j para el
cuerpo con $90 < \lambda < 175$

```

1 CLS
10 LPRINT"Programa para calcular el momento máximo en j para el cuerpo con  $90 < \lambda$ 
< 175":LPRINT
11 LPRINT "Oprima C para continuar":LPRINT
12 IF INKEY$="" THEN GOTO 12
15 A=0
25 CLS
26 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento"
30 FOR I=0 TO 6.2832 STEP .1
40 FOR J= 90 TO 175 STEP 1

```

```

50      MEQ=265690!      +{468293.8      +      4936*J}*COS(I)+16890.75*(-
COS(.7854+I)+COS(2.3562+I)+COS(3.927+I)-COS(5.498+I))
51 IF ABS(MEQ)>R1 THEN GOTO 1000
52 IF ABS(MEQ)>ABS(R2) AND ABS(MEQ)<ABS(R1) THEN GOTO 1100
53 IF ABS(MEQ)>ABS(R3) AND ABS(MEQ)<ABS(R2) THEN GOTO 1200
54 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
70 NEXT J
80 NEXT I
85 CLS
94 IF ABS(MEQ)>ABS(R4) AND ABS(MEQ)<ABS(R3) THEN GOTO 1300
100 BEEP:BEEP:BEEP:BEEP
101 LPRINT "
110 LPRINT "LOS RESULTADOS SON:";LPRINT
120 LPRINT "1) ";"ANGULO =" ;A1*57.2958;"      L=" ;B1:LPRINT
130 LPRINT "FUERZA= ";R1:LPRINT
140 LPRINT "2) ";"ANGULO =" ;A2*57.2958;"      L=" ;B2:LPRINT
150 LPRINT "FUERZA= ";R2:LPRINT
160 LPRINT "3) ";"ANGULO =" ;A3*57.2958;"      L=" ;B3:LPRINT
170 LPRINT "FUERZA= ";R3:LPRINT
180 LPRINT "4) ";"ANGULO =" ;A4*57.2958;"      L=" ;B4:LPRINT
190 LPRINT "FUERZA= ";R4
200 LPRINT"
210 LPRINT"
211 LPRINT"Desee continuar con los cálculos de las resultantes para todas las
longitudes del Robot?":LPRINT
212 LPRINT"Si o No":LPRINT
215 INPUT "Presione S o N"; AS
220 IF AS="s" THEN RUN "result1"
224 IF AS="n" THEN END
1000 A4=A3:A3=A2:A2=A1:A1=I
1010 B4=B3:B3=B2:B2=B1:B1=J
1020 R4=R3:R3=R2:R2=R1:R1=MEQ
1030 GOTO 70
1100 A4=A3:A3=A2:A2=I
1110 B4=B3:B3=B2:B2=J
1120 R4=R3:R3=R2:R2=MEQ
1130 GOTO 70
1200 A4=A3:A3=I
1210 B4=B3:B3=J
1220 R4=R3:R3=MEQ
1230 GOTO 70
1300 A4=I
1310 B4=J
1320 R4=MEQ
1330 GOTO 70

```

3.9.8 Programa para calcular las resultantes del Robot

```

1 CLS
3 CLEAR
6 Q1 = Q2 = Q3 = Q4 = R1 = R2 = R3 = R4 = S1 = S2 = S3 = S4 = P1 = P2 = P3 = P4 =
0
10 LPRINT "Este programa es para calcular las resultantes del Robot"

```

```

12 LPRINT "
15 LPRINT " Lo har tomando los valores mayores de Mx y My"
20 LPRINT "
21 LPRINT "ESTE PROGRAMA ES PARA 3. 2. 175"
22 LPRINT "
23 LPRINT "Se le alimentarán los valores máximos para cada iteración"
24 LPRINT "
25 PRINT "Oprima C para continuar":LPRINT
26 IF INKEY$ = " " THEN GOTO 26
27 CLS
28 LPRINT "Haciendo los cálculos espere un momento":LPRINT
29 CLEAR
30 LPRINT "DA 5 VALORES MAXIMOS DE Mx Y My":LPRINT
40 FOR I = 1 TO 5 STEP 1
41 BEEP
50 INPUT "Mx"; MX#
60 INPUT "My"; MY#
65 FOR C = 0 TO 175 STEP .1
80 MEQ1 = 7402.13 + (MX#) / 2 + (MY#) / 2360 - 11.98 * C
90 MEQ3 = 1096.17 - (MY#) / 2360 - (MX#) / 2 + 11.98 * C
100 MEQ4 = 11.98 * C + 1096.17 + (MX#) / 2 + (3 * MY#) / 590
110 MEQ2 = 7402.13 - (MX#) / 2 - 11.98 * C - (3 * MY#) / 590
120 IF ABS(MEQ1) > R1 THEN GOTO 1000
130 IF ABS(MEQ1) > ABS(R2) AND ABS(MEQ1) < ABS(R1) THEN GOTO 1100
140 IF ABS(MEQ1) > ABS(R3) AND ABS(MEQ1) < ABS(R2) THEN GOTO 1200
150 IF ABS(MEQ1) > ABS(R4) AND ABS(MEQ1) < ABS(R3) THEN GOTO 1300
160 IF ABS(MEQ3) > P1 THEN GOTO 2000
170 IF ABS(MEQ3) > ABS(P2) AND ABS(MEQ3) < ABS(P1) THEN GOTO 2100
180 IF ABS(MEQ3) > ABS(P3) AND ABS(MEQ3) < ABS(P2) THEN GOTO 2200
190 IF ABS(MEQ3) > ABS(P4) AND ABS(MEQ1) < ABS(P3) THEN GOTO 2300
200 IF ABS(MEQ4) > Q1 THEN GOTO 3000
210 IF ABS(MEQ4) > ABS(Q2) AND ABS(MEQ4) < ABS(Q1) THEN GOTO 3100
220 IF ABS(MEQ4) > ABS(Q3) AND ABS(MEQ4) < ABS(Q2) THEN GOTO 3200
230 IF ABS(MEQ4) > ABS(Q4) AND ABS(MEQ4) < ABS(Q3) THEN GOTO 3300
240 IF ABS(MEQ2) > S1 THEN GOTO 4000
250 IF ABS(MEQ2) > ABS(S2) AND ABS(MEQ2) < ABS(S1) THEN GOTO 4100
260 IF ABS(MEQ2) > ABS(S3) AND ABS(MEQ2) < ABS(S2) THEN GOTO 4200
270 IF ABS(MEQ2) > ABS(S4) AND ABS(MEQ2) < ABS(S3) THEN GOTO 4300
400 NEXT C
410 NEXT I
420 CLS
430 BEEP: BEEP: BEEP: BEEP
450 CLS
500 LPRINT :LPRINT "los resultados mayores para R1 son: ":LPRINT
510 LPRINT "1) momentos dados="; B1; "distancia="; A1; " "; R1:LPRINT
520 LPRINT "2) momentos dados="; B2; "distancia="; A2; " "; R2:LPRINT
530 LPRINT "3) momentos dados="; B3; "distancia="; A3; " "; R3:LPRINT
540 LPRINT "4) momentos dados="; B4; "distancia="; A4; " "; R4:LPRINT
600 LPRINT "los resultados mayores para R3 son: ":LPRINT
610 LPRINT "1) momentos dados="; E1; "distancia="; D1; " "; P1:LPRINT
620 LPRINT "2) momentos dados="; E2; "distancia="; D2; " "; P2:LPRINT
630 LPRINT "3) momentos dados="; E3; "distancia="; D3; " "; P3:LPRINT
640 LPRINT "4) momentos dados="; E4; "distancia="; D4; " "; P4:LPRINT

```

```

700 LPRINT "los resultados mayores para R1 son: ":LPRINT
710 LPRINT "1) momentos dados="; G1; "distancia="; F1; " "; Q1:LPRINT
720 LPRINT "2) momentos dados="; G2; "distancia="; F2; " "; Q2:LPRINT
730 LPRINT "3) momentos dados="; G3; "distancia="; F3; " "; Q3:LPRINT
740 LPRINT "4) momentos dados="; G4; "distancia="; F4; " "; Q4:LPRINT
800 LPRINT "los resultados mayores para R2 son: ":LPRINT
810 LPRINT "1) momentos dados="; K1; "distancia="; H1; " "; S1:LPRINT
820 LPRINT "2) momentos dados="; K2; "distancia="; H2; " "; S2:LPRINT
830 LPRINT "3) momentos dados="; K3; "distancia="; H3; " "; S3:LPRINT
840 LPRINT "4) momentos dados="; K4; "distancia="; H4; " "; S4:LPRINT
999 END

1000 R4 = R3: R3 = R2: R2 = R1: R1 = MEQ1
1010 A4 = A3: A3 = A2: A2 = A1: A1 = C
1020 B4 = B3: B3 = B2: B2 = B1: B1 = I
1090 GOTO 160

1100 R4 = R3: R3 = R2: R2 = MEQ1
1110 A4 = A3: A3 = A2: A2 = C
1120 B4 = B3: B3 = B2: B2 = I
1190 GOTO 160

1200 R4 = R3: R3 = MEQ1
1210 A4 = A3: A3 = C
1220 B4 = B3: B3 = I
1290 GOTO 160

1300 R4 = MEQ1
1310 A4 = C
1320 B4 = I
1390 GOTO 160

2000 P4 = P3: P3 = P2: P2 = P1: P1 = MEQ3
2010 D4 = D3: D3 = D2: D2 = D1: D1 = C
2020 E4 = E3: E3 = E2: E2 = E1: E1 = I
2090 GOTO 200

2100 P4 = P3: P3 = P2: P2 = MEQ3
2110 D4 = D3: D3 = D2: D2 = C
2120 E4 = E3: E3 = E2: E2 = I
2190 GOTO 200

2200 P4 = P3: P3 = MEQ3
2210 D4 = D3: D3 = C
2220 E4 = E3: E3 = I
2290 GOTO 200

2300 P4 = MEQ3
2310 D4 = C
2320 E4 = I
2390 GOTO 200

3000 Q4 = Q3: Q3 = Q2: Q2 = Q1: Q1 = MEQ4
3010 F4 = F3: F3 = F2: F2 = F1: F1 = C
3020 G4 = G3: G3 = G2: G2 = G1: G1 = I
3090 GOTO 240

3100 Q4 = Q3: Q3 = Q2: Q2 = MEQ4
3110 F4 = F3: F3 = F2: F2 = C
3120 G4 = G3: G3 = G2: G2 = I
3190 GOTO 240

3200 Q4 = Q3: Q3 = MEQ4
3210 F4 = F3: F3 = C
3220 G4 = G3: G3 = I

```

```
3290 GOTO 240
3300 Q4 = MEQ4
3310 P4 = C
3320 G4 = I
3390 GOTO 240
4000 S4 = S3: S3 = S2: S2 = S1: S1 = MEQ2
4010 H4 = H3: H3 = H2: H2 = H1: H1 = C
4020 K4 = K3: K3 = K2: K2 = K1: K1 = I
4090 GOTO 400
4100 S4 = S3: S3 = S2: S2 = MEQ2
4110 H4 = H3: H3 = H2: H2 = C
4120 K4 = K3: K3 = K2: K2 = I
4190 GOTO 400
4200 S4 = S3: S3 = MEQ2
4210 H4 = H3: H3 = C
4220 K4 = K3: K3 = I
4290 GOTO 400
4300 S4 = MEQ2
4310 H4 = C
4320 K4 = I
4390 GOTO 400
```

Programa que calcula los momentos máximos en i para el brazo

Oprima C para continuar

haciendo los cálculos aquarde un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO brazo = 91.67329 angulo mano = 0

Momento= 854.9824

2) ANGULO brazo = 269.2901 angulo mano = 177.6169

Momento= -854.9196

3) ANGULO brazo = 269.2901 angulo mano = 183.3465

Momento= 0

4) ANGULO brazo = 269.2901 angulo mano = 183.3465

Momento= -854.6691

Quieres continuar con el cálculo del brazo en j para $0 < r < 90$? :lprint
Si o No?

Programa para calcular el momento en j para el brazo con $0 < r < 90$

oprime C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO = 0 L= 90

FUERZA= 409022.8

2) ANGULO = 355.2338 L= 90

FUERZA= 407639.6

3) ANGULO = 5.72958 L= 90

FUERZA= 407024.5

4) ANGULO = 0 L= 89

FUERZA= 403330.3

Quieres conocer los momentos máximos en j para $90 < r < 175$?

Si o No?

Programa para calcular el momento máximo en j para el brazo con $90 < r < 175$

Oprima C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO = 0 L= 175

FUERZA= 606254.6

2) ANGULO = 355.2338 L= 175

FUERZA= 604189.3

3) ANGULO = 0 L= 174

FUERZA= 603799.6

4) ANGULO = 5.72958 L= 175

FUERZA= 603270.9

Quiere continuar con los cálculos del momento máximo para el cuerpo en i para $0 < \alpha < 90$

Si o No

Programa para calcular el momento máximo para el cuerpo con $0 < \alpha < 90$ en i

Oprima C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 0

Momento= 115914

2) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 355.2338

Momento= 115913

3) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 5.72958

Momento= 115912.6

4) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 349.5042

Momento= 115909.1

Quieres continuar con los cálculos del momento máximo en i para el cuerpo

Si o No

Programa para calcular el momento máximo para el cuerpo con $0 < i < 90$ en i

Oprima C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 0

Momento= 115914

2) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 355.2338

Momento= 115913

3) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 5.72958

Momento= 115912.6

4) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 349.5042

Momento= 115909.1

Quieres continuar con los cálculos del momento máximo en i para el cuerpo

Si o No

Programa para calcular el momento máximo en i para el cuerpo con $90 < r < 175$

Oprima C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

1) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 0

Momento= 115914

2) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 355.2338

Momento= 115913

3) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 5.72958

Momento= 115912.6

4) ANGULO brazo = 0 angulo mano= 349.5042

Momento= 115909.1

Quiere continuar con los cálculos para el cuerpo en J con $0 < r < 90$?

Si o No

Programa para calcular el momento máximo en j para el cuerpo con $0 < r < 90$

Presione C para continuar

LOS RESULTADOS SON:

- 1) ANGULO = 0 L= 90
FUERZA= 503118.3
- 2) ANGULO = 355.2338 L= 90
FUERZA= 501422.7
- 3) ANGULO = 5.72958 L= 90
FUERZA= 500669.2
- 4) ANGULO = 0 L= 89
FUERZA= 497888.4

Desea continuar con los cálculos del momento máximo en j para $90 < r < 175$

Si o No

Programa para calcular el momento máximo en j para el cuerpo con $90 < r < 175$

Oprima C para continuar

Haciendo los cálculos espere un momento

LOS RESULTADOS SON:

- 1) ANGULO = 0 L= 175
FUERZA= 556935.3
- 2) ANGULO = 355.2338 L= 175
FUERZA= 555053.5
- 3) ANGULO = 0 L= 174
FUERZA= 554511.8
- 4) ANGULO = 5.72958 L= 175
FUERZA= 554217.4

Desea continuar con los cálculos de las resultantes para todas las longitudes d
1 Robot?

Si o No

Este programa es para calcular las resultantes del Robot

Lo hará tomando los valores mayores de M_x y M_y

ESTE PROGRAMA ES PARA $0 < r < 175$

Se le alimentarán los valores máximos para cada iteración

Haciendo los cálculos espere un momento

DA 5 VALORES MÁXIMOS DE Mx Y My

Este programa es para calcular los resultantes del Robot

Lo hará tomando los valores mayores de Mx y My

ESTE PROGRAMA ES PARA $0 < r < 175$

Se le alimentarán los valores máximos para cada iteración

Haciendo los cálculos espere un momento

DA 5 VALORES MÁXIMOS DE Mx Y My

los resultados mayores para R1 son:

1)	momentos dados= 1	distancia= 0	36152.49
2)	momentos dados= 5	distancia= 0	36152.14
3)	momentos dados= 2	distancia= 0	36151.69
4)	momentos dados= 1	distancia= .1	36151.41

los resultados mayores para R3 son:

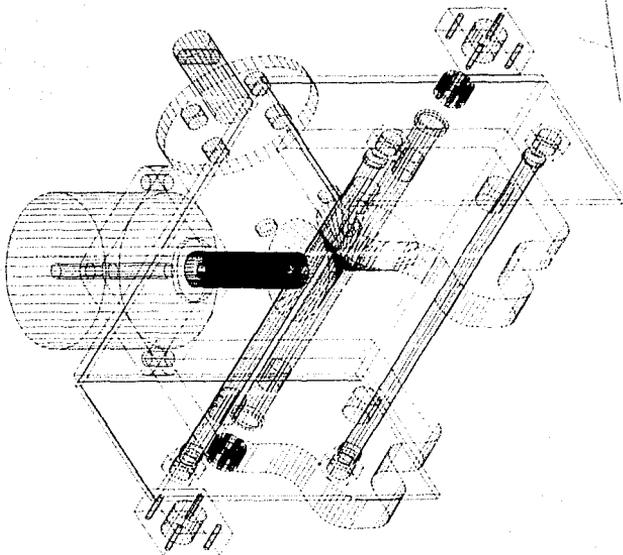
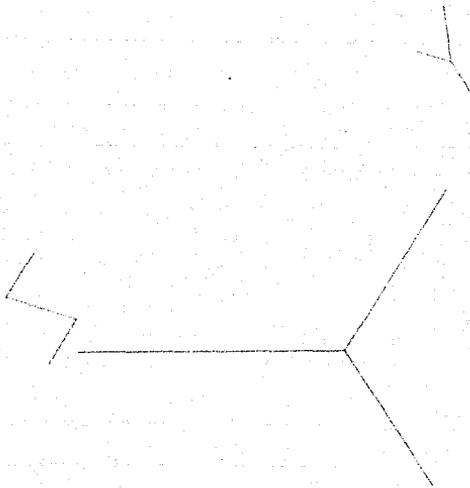
1)	momentos dados= 5	distancia= 174.9015	-55428.4
2)	momentos dados= 5	distancia= 174.8015	-55429.49
3)	momentos dados= 5	distancia= 174.7015	-55430.57
4)	momentos dados= 5	distancia= 174.6015	-55431.65

los resultados mayores para R4 son:

1)	momentos dados= 1	distancia= 174.9015	63552.96
2)	momentos dados= 5	distancia= 174.9015	63552.26
3)	momentos dados= 1	distancia= 174.8015	63551.33
4)	momentos dados= 5	distancia= 174.8015	63551.17

los resultados mayores para R2 son:

1)	momentos dados= 5	distancia= 174.9015	-55740.85
2)	momentos dados= 5	distancia= 174.8015	-55739.78
3)	momentos dados= 5	distancia= 174.7015	-55738.69
4)	momentos dados= 5	distancia= 174.6015	-55737.61



4. -PARTE ELETTRONICA

4.1 Características y componentes

El sistema electrónico del Robot, nos permite lograr que éste actúe y se controle, teniendo los siguientes tres objetivos principales:

- 1.- Controlar al sistema mecánico por medio de la computadora que es la que permite todos los movimientos del Robot.
- 2.- Operar al Robot al suministrar a los actuadores (*Motores de Pasos*) la energía necesaria para llevarlo a la posición deseada.
- 3.- Controla la posición del Robot al sensar cada uno de sus motores y corregir, en caso de ser necesario o cambiar su posición actual.

El sistema electrónico nos va a permitir:

- a) El control a partir de la computadora, vía puerto paralelo.
- b) Manejar seis motores de pasos (*esto incluye las etapas de potencia para cada motor*).
- c) La existencia de una etapa que aisle a la computadora de la electrónica externa.
- e) Manejar seis sensores de posición (*cada uno corresponde a un motor*).
- f) Su construcción con elementos fáciles de conseguir en el mercado nacional.

El sistema consta de un controlador (*Computadora*), una interfase de conexión para proteger al controlador, circuito de entrega de energía, un sistema de *multiplexaje* o direccionamiento de información, drives, un sistema demultiplexor y un convertidor Analógico-Digital.

En la siguiente figura se muestra en diagrama de bloques la electrónica del sistema :

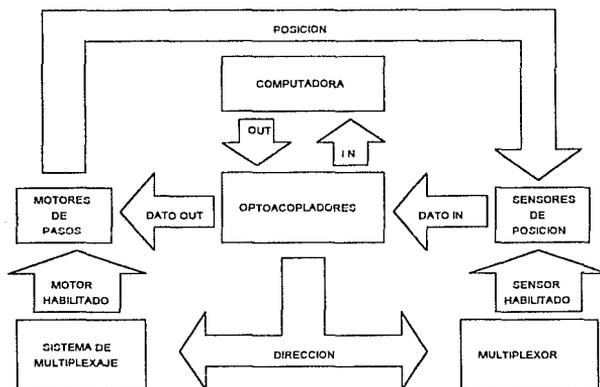


Diagrama de bloques de la electrónica

A continuación, se estudiarán con mayor detalle los elementos que intervienen en la parte electrónica del Robot.

El sistema empieza en la computadora y ésta sólo puede entregar señales lógicas en código binario (0 ó 1) representadas por una señal eléctrica de 0 volts para el cero lógico y de 5 volts para el 1 lógico.

La computadora se comunica entre sí y con los periféricos a través del sistema de transmisión de datos (*Bus*), esta

comunicación requiere de una interfase que es la que permite conectar los **Buses** requeridos de la computadora, con el periférico; ésta conexión se llama puerto.

Se utilizó una computadora del tipo **XT** que nos da ocho bits como línea de salida utilizando su puerto paralelo, los datos pasan entonces a la interfase de acoplamiento. Se tienen en esos datos direcciones y datos de salida

En esta figura se puede apreciar, que dependiendo de las direcciones proporcionadas por la computadora, un motor y un sensor son habilitados, además el motor recibe el código adecuado para realizar un movimiento.

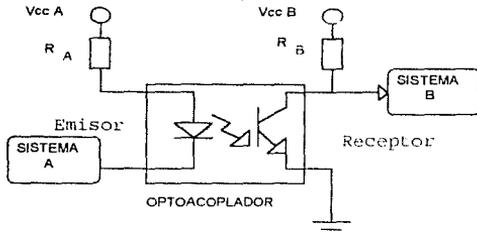
El sensor al ser habilitado, presenta a su salida el dato pertinente de la posición, referente al motor que esté en funcionamiento. Los optoacopladores, aíslan a la computadora de la electrónica externa .

4.2 Interfase de Acoplamiento

al utilizar la computadora como controlador, es de vital importancia protegerla contra posibles problemas que puedan dañarla en cualquier forma.

En base a lo anterior, la interfase de acoplamiento tiene la tarea de aislar al controlador (*computadora*) de la parte electrónica ; esto se realizó utilizando optoacopladores.

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente el funcionamiento de éstos.



Esquema de un optoacoplador

Cuando el led transmisor es polarizado, emite una luz proporcional a la corriente de la base del foto transistor receptor, y éste transforma la señal de luz en voltaje y se tiene la operación del sistema externo con aislamiento del sistema de la computadora y este proceso se da sin alterar la información proveniente de la computadora. Se utiliza el foto transistor en sus estados de corte y saturación.

4.3 Sistema de Multiplexaje

Cada motor necesita de cuatro bits para que pueda realizar su función en forma correcta, si además el sistema cuenta con seis motores, esto da un total de 24 bits o 3 byte para el control del servomecanismo. Esto es una desventaja ya que como dije antes la computadora nos proporciona ocho bits como líneas de salida y esto es solucionado al utilizar un sistema de multiplexaje externo.

Un sistema de multiplexaje nos permite manejar de un conjunto de n grupos de líneas de información, solo un grupo del conjunto, a partir de una dirección dada. Si consideramos el código correspondiente al movimiento de los seis motores como conjunto de n grupos de líneas,

de los cuales solo interesa un solo grupo a la vez, es un sistema de multiplexaje.

Dado que la dirección del motor es la misma para el sensor de posición, denominaremos Destino, al conjunto motor-sensor.

El sistema emplea de la siguiente forma los bits de salida procedentes del puerto paralelo:

- 1.-Cuatro bits nos proporcionaran el código correspondiente a un movimiento en el motor.
- 2.-Tres bits nos proporcionaran la dirección del motor, debe observar que estos bits nos dan ocho posibles combinaciones, por consiguiente ocho direcciones.
- 3.-El octavo bit no es utilizado.

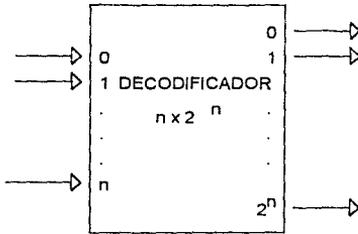
El sistema de multiplexaje está constituido por un decodificador que habilita el Destino pertinente.

La habilitación depende de la dirección que envía el puerto paralelo de la computadora.

4.4 Decodificador de Puerto.

Un código binario de n bits es capaz de representar hasta 2^n elementos distintos de información codificada. Un codificador es un circuito combinatorial que convierte la información binaria de n líneas de entrada a un máximo de 2^n líneas de salida.

En la siguiente figura se muestra un decodificador $n \times 2^n$.



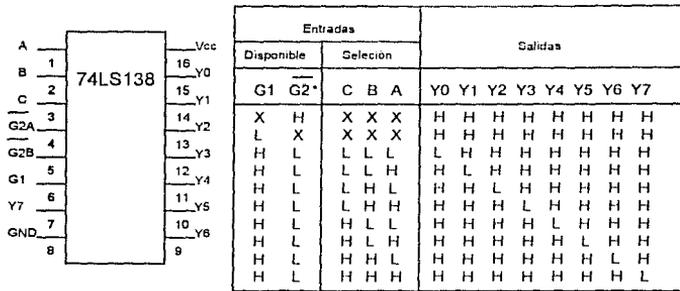
En un decodificador de línea, dependiendo de la combinación en las líneas de entrada, se habilita una y solo una línea de salida. Lo anterior se puede ilustrar mediante la tabla de un decodificador de 2 x 4

DEC	2	X	4
A	B	L	
0	0	1	
0	1	2	
1	0	3	
1	1	4	

En el sistema se utilizó un decodificador 74LS138.

El circuito cuenta con tres entradas binarias de selección (A, B y C). Si el circuito está habilitado, estas entradas determinan cuál de las ocho salidas, normalmente altas, es mandada a un estado bajo.

Cuenta con dos entradas de habilitación (G2A y G2B) activas bajas y una entrada de habilitación (G1) activa alta, que son utilizadas para la conexión en cascada de decodificadores. En la siguiente figura está el circuito y su tabla de verdad.



* G2 = G2A + G2B

Circuito 74LS138

4.5 Destinos

La computadora solo nos proporciona una palabra de ocho bits (*un byte*) en su puerto. Si tenemos que manejar 6 motores independientes, es necesario la creación de Destinos. La operación de los Destinos es independiente entre sí, es decir, solo un Destino podrá operar a la vez en el sistema.

Por tal razón, los Destinos deberán recibir una señal de habilitación, así como el código correspondiente a un movimiento del motor. La señal de habilitación es proporcionada por el decodificador de puerto, y el código del movimiento por un bus de datos, proporcionado por un buffer. Para la implementación de los destinos de salida, se utilizaron flip-flop que es un circuito de tipo secuencial.

En la siguiente figura se muestra un circuito secuencial:

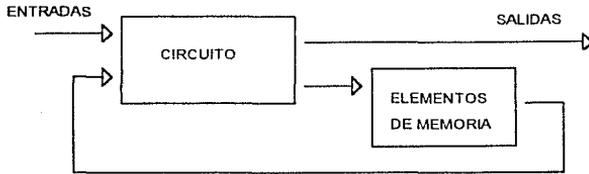


Diagrama de bloques de un circuito secuencial

En la figura se ve un circuito al que se conectan elementos de memoria para formar una trayectoria de retroalimentación. Los elementos de memoria son dispositivos capaces de almacenar información binaria. La información binaria almacenada en los elementos de memoria en cualquier momento dado, definen el estado del circuito secuencial.

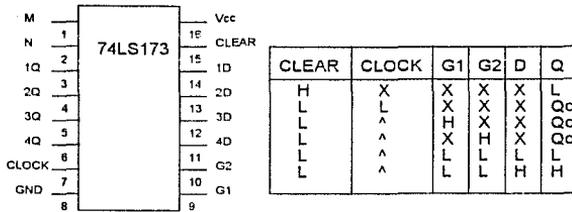
El circuito secuencial recibe información binaria de entradas externas. Estas entradas junto con el estado presente de los elementos de memoria, determinan el valor binario en las terminales de salida.

Por lo tanto, un circuito secuencial está especificado por una secuencia de tiempo de entradas, salidas y estados internos.

Un circuito flip-flop puede mantener un estado binario en forma indefinida (en tanto se suministre potencia en el circuito) hasta que reciba la dirección de una señal de entrada para cambiar de estado.

El circuito utilizado fue el circuito 74LS173.

A continuación se muestra el circuito así como su tabla de verdad.



Circuito 74LS173

El circuito 74LS173, contiene cuatro flip-flop que operan en forma síncrona dependiendo de una señal de reloj común. El circuito cuenta con salida tres estados, que se encontrará presente si las terminales M o N (o ambas) se encuentran conectadas en un estado alto. Estas señales en el sistema se encuentran conectadas en un nivel alto.

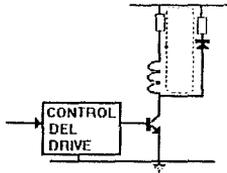
Existen dos señales de habilitación para el circuito (G1 y G2), las cuales deberán estar en un estado bajo, para permitir el paso de la información que se encuentra a la entrada del circuito. Si una o ambas señales están en un nivel alto, la información a la salida es retenida en forma indefinida. Esta característica es aprovechada en el sistema para la habilitación del destino, y se conectan cada una de las líneas de salida del decodificador a entradas de habilitación del flip-flop.

La velocidad de respuesta en los motores esta limitada por el torque de la carga. En base a lo anterior, se diseñó un reloj de una frecuencia de 10 kHz, el cual es lo suficientemente rápido, para cubrir las necesidades.

4.6 Drive

El drive tiene la función de aumentar la potencia ya que el motor de pasos no puede ser activado por los niveles de potencia de las señales de la computadora.

Un circuito de drive unipolar se muestra en la siguiente figura:



El drive es excitado por el control de baja potencia.

El principio de el drive es simple, la señal de control coloca al transistor en los estados de operación de corte o de saturación. El devanado es excitado, cuando el transistor es saturado por una corriente suficientemente alta en la base. Bajo estas condiciones el voltaje de polarización, en su totalidad (Teóricamente), es aplicado al devanado y a la resistencia limitadora, puesto que el voltaje colector-emisor del transistor es relativamente pequeño (típicamente de entre 0.1 y 0.2 volts).

El voltaje de polarización (V_s) es escogido para que produzca una corriente (I) que será aplicada a la resistencia total de la fase, la cual es igual a la suma de las impedancias de el devanado (r) y la resistencia limitadora (R); el voltaje de polarización esta dado por lo tanto como:

$$V_s = I(r + R) \quad (4.1)$$

Una consecuencia de la inductancia del devanado, es la corriente de fase, que no puede ser controlada para apagarse instantáneamente. Si el switcheo en la base del transistor es repentino, aparecerá un gran voltaje inducido entre el colector y el emisor, pudiendo causar un daño permanente en el circuito del drive.

El drive tiene registros que se activan en niveles altos (5 Volts) y permiten el paso de la información, y niveles bajos (0 Volts) se desactivan y no permiten el paso de información también cuenta el drive con una memoria en la que se guarda el último dato transmitido.

Los drives se conectan a las bobinas de los motores para lograr el movimiento de éstos en una dirección o en otra. Como se ve en el circuito del drive, se tiene un diodo cuya función es descargar la bobina, y evitar los picos de voltaje en el estado transitorio.

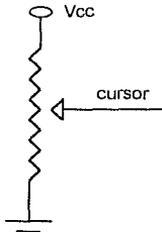
4.8 Sensor de Posición

En la mayoría de los casos de robótica es de importancia fundamental conocer la posición del sistema en el instante que se requiera. El sensor se puede dividir en dos partes fundamentales: el transductor y el convertidor (*este ultimo en algunos casos no es necesario*).

4.8.1 Transductor de posición

Existen una gran variedad de elementos transductores disponibles para detectar posición, aquí examinaremos el transductor de tipo resistivo. Los potenciómetros son

dispositivos analógicos cuya tensión de salida es proporcional a la posición de un cursor. En la siguiente figura se muestra un potenciómetro común.



Potenciómetro

Si se aplica una tensión a través de los elementos resistivos. La tensión en el cursor es proporcional a la relación entre la resistencia de un lado del cursor y la resistencia total del elemento. En esencia, el potenciómetro actúa como una red de condición de tensión (divisor de tensión), es decir la energía que cruza el elemento resistivo es dividida en dos partes por el cursor. La medición de esta energía, proporciona la posición del cursor. La función del potenciómetro se puede representar mediante la siguiente función:

$$V_o(t) = K_p \times \theta(t) \quad (4.2)$$

Donde $V_o(t)$ es la tensión de salida,

K_p es la constante de tensión del potenciómetro en voltios por radianes (o voltios/ centímetro en el caso de un potenciómetro lineal).

$\theta(t)$ es la posición del potenciómetro en radianes .

Puesto que un potenciómetro requiere una tensión de excitación, con objeto de calcular $V_o(t)$ se puede utilizar

la fórmula:

$$V_o = V_{ex} \frac{\theta_{act}}{\theta_{tot}} \quad (4.3)$$

Donde V_{ex} es la tensión de excitación,

θ_{tot} es el avance total disponible del cursor y

θ_{act} es la posición actual del cursor.

Los rangos de desplazamiento angular en los transductores potenciométricos están comprendidos en general en un rango de 10 a 350. En el área de instrumentación se cuenta con potenciómetros especiales denominados multivuelta, que cuyo nombre indica, es necesaria mas de una vuelta para poder alcanzar su escala total.

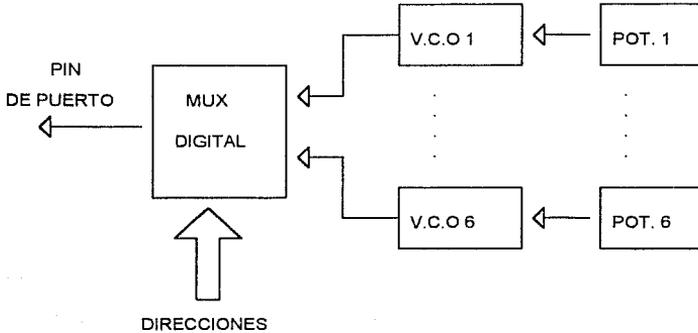
Como transductor se utilizará un potenciómetro de precisión; su característica principal radica en su linealidad, la cual es de 0.25%, además de presentar 10 vueltas por escala completa.

4.8.4 MULTIPLEXOR ANALOGICO

Si tomamos al sistema como realimentado, la señal de realimentación es proporcionada por el sensor de posición, la cual es particular de cada motor, por ésta razón es necesario multiplexar esta señal. Esto se puede solucionar de dos formas:

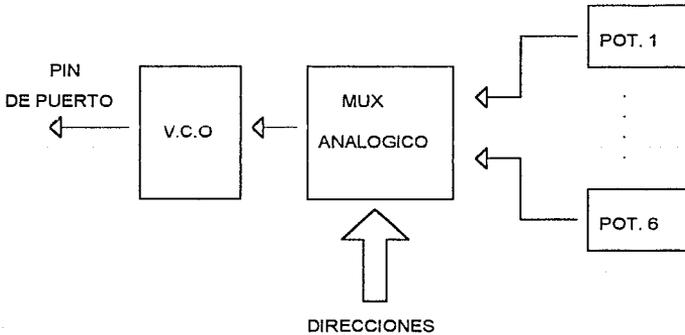
- a).- Creando seis sensores de posición y utilizando la dirección de cada motor para manejar un multiplexor digital, de tal manera que, de las

señales provenientes de los sensores, solo una sea transferida a un "pin" en el puerto de entrada y de esta manera pueda ser procesada por la computadora.



Diseño con Multiplexor Digital

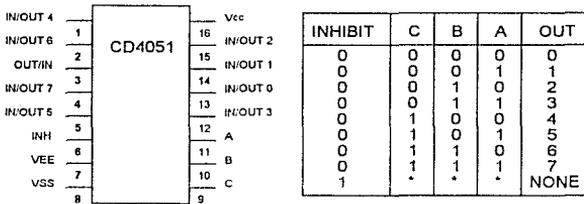
b).- Utilizar un solo sensor de posición, el cual pueda controlar los seis potenciómetros por medio de un multiplexor analógico controlado por la dirección de cada motor



Diseño con Multiplexor Analógico

La primera opción implica un mayor gasto y mayor volumen. En la segunda opción, se ahorra espacio y dinero.

Se utilizó el CD4051 que es un circuito multiplexor - demultiplexor analógico y controlado por direccionamiento digital, el circuito puede manejar en forma típica, tensiones entre los 3 y 16 volts. A continuación se muestra el circuito en la siguiente figura con su tabla de verdad :



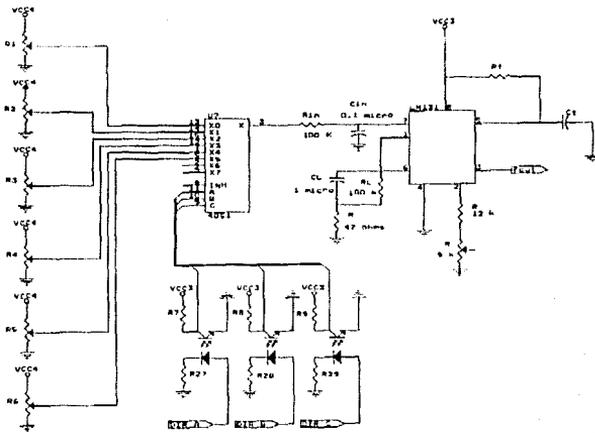
Cicuito CD4051, multiplexor analógico

Las líneas A,B,C manejan el direccionamiento de el circuito y la línea INH es una línea de habilitación de entrada.

Debido a que el circuito en realidad está compuesto por switches analógicos, dependiendo de donde se tomen las entradas o salidas, el circuito funcionará ya sea como multiplexor o demultiplexor, es decir, que presenta un comportamiento bidireccional en todo momento.

Funcionando como multiplexor, las líneas de direccionamiento del circuito seleccionan entre las ocho entradas (0 - 7) cual deberá pasar a la línea de salida.

Con los elementos anteriormente estudiados es posible ahora mostrar el módulo completo del sensor de posición.



SENSOR DE POSICION

En la figura anterior se observan tres fuentes, Vcc0, Vcc1, Vcc2, Vcc3, Vcc4 cada una corresponde a 5, 5, 12 y 8 volts.

El máximo rango de voltaje de entrada debe ser 2/3 del voltaje de alimentación, por lo tanto, considerando que podemos disminuir el voltaje de Vcc3 con un regulador de 8 volts, el rango de medición será de 0 a 8 volts.

Cabe mencionar que el módulo del sensor es independiente del módulo de multiplexaje, con el fin de evitar transitorios debidos al funcionamiento en los motores. Con base en lo anterior, se utilizaron optoacopladores que aíslan a ambos sistemas.

5.- Software de Control del Robot

5.1 Generalidades

El Software de control del Robot es básico en su operación ya que permite hacer los movimientos y checar su posición. Cuando debe haber un movimiento del Robot, el programa distribuye esta información en el sistema electrónico y permite la activación del motor adecuado, haciéndolo trabajar los pasos necesarios para llegar a la posición deseada, todo esto controlado por los sensores de posición explicados anteriormente.

En la siguiente figura se muestra el modelo de operación con las entradas y salidas que contempla:

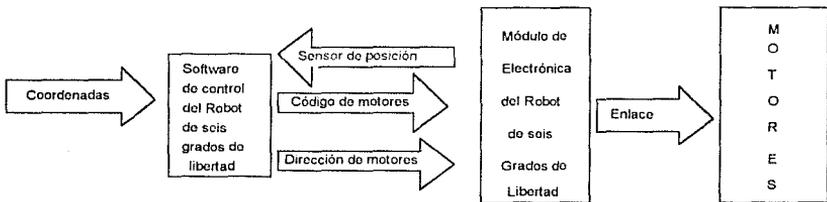


Diagrama de bloques del software del Robot

En esta figura se observa que los datos de la frecuencia de cada motor y las coordenadas de la nueva posición, son los datos de entrada. Los datos de salida son los códigos que deben recibir los motores de pasos para realizar su función y la dirección del puerto que se debe habilitar en la computadora.

Este Software fue realizado por el Ing. José Castillo Hernández para su tesis de licenciatura cuyo título es Sistema de Optica Activa del Telescopio de San Pedro Mártir en Baja California.

Este software se aplica al robot de seis grados de libertad ya que el sistema de óptica activa se basa en motores de pasos, que controlan la posición del punto focal del telescopio. El listado de este programa se puede ver al final de esta tesis, para mayor detalle referirse a ella.

5.2 Operación

El software de control se basa en tres procesos principales:

- 1.- Adquisición de datos
- 2.- Procesamiento de datos
- 3.- Transmisión de datos

A continuación se explica brevemente c/u:

5.2.1 Adquisición de datos

La computadora debe enviar la dirección del sensor de posición que desea habilitar. Una vez que el puerto está en línea, se sensa la frecuencia que se encuentra presente en el puerto de entrada.

5.2.2 Procesamiento de datos

El dato de la frecuencia que fue sensada es procesado para obtener su valor en posición correspondiente. Este valor, es comparado con los valores de coordenadas enviados anteriormente, si no son iguales se procede a obtener los pasos proporcionales a la diferencia respecto a las coordenadas que están siendo comparadas.

5.2.3 Transmisión de datos

La computadora envía la dirección del motor que se desea mover, luego se envía la información del movimiento que debe realizar el motor. La dirección y el código que use el motor se envían a través del puerto paralelo.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo:

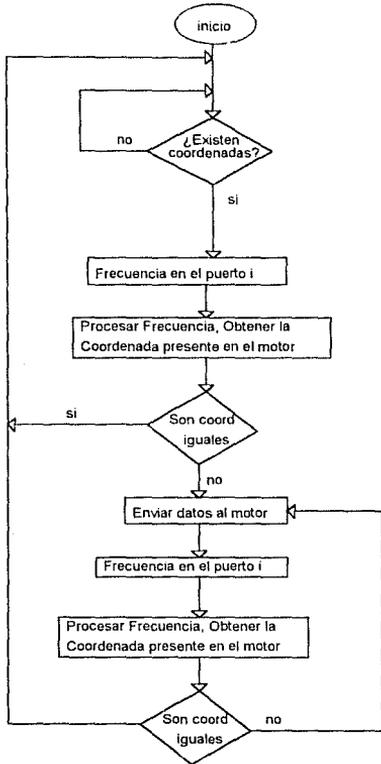


Diagrama de flujo del software de control

Estos procesos son para cada motor y se realizan por separado; aún cuando se mueve un sólo motor por vez, el programa sensa las coordenadas de todos ellos.

Como podemos ver en el diagrama de flujo, los pasos son:

El programa inicia con la recepción de coordenadas, al recibirlas principia el proceso de adquisición de datos. Una vez obtenido el dato de la frecuencia del sensor correspondiente, la información se procesa, y ahí se compara, una vez hecho esto si se requiere modificación, se pasa a transmisión de datos o si la comparación no da diferencia, se empieza un nuevo ciclo para otro motor.

Cuando existen diferencias y se transmiten datos, se debe verificar que el movimiento fue correcto y esto se hace al repetir el ciclo para ese motor, hasta que se obtenga la diferencia nula y se empiece un ciclo para otro motor.

6. - Conclusiones

En este proyecto se cumplieron los objetivos principales para la aplicación de este prototipo, teniendo las ventajas de facilidad de observación en su funcionamiento y la utilización de materiales que resistan el ambiente de trabajo con jóvenes de nivel bachillerato, que generalmente son un poco rudos en el uso de equipos de laboratorio.

Como se aprecia en los cálculos de la justificación de materiales, se tienen factores de seguridad que permiten asegurar una operación suave y sin problemas a su máxima carga durante toda la vida del aparato, y en cuanto a los rodamientos tenemos que los esfuerzos sobre ellos permiten una vida de operación muy larga que hace que su cambio no sea factor para su mantenimiento.

Se tuvieron algunos cambios en el prototipo que nos hicieron llegar a este diseño, sobre todo en los elementos de transmisión, lo que se presenta en esta tesis es el resultado de todos esos cambios

Para este proyecto conjunto entre la D.G.A.P.A. y el Centro de Instrumentos se desea seguir con otro diseño de Robot para aplicaciones didácticas, que sería del tipo angular y que da la oportunidad de desarrollar lo que en este prototipo se aprendió durante su diseño y fabricación, lo que permitirá que el siguiente diseño sea mas rápido de lograr debido a esa experiencia.

Se logró tener un prototipo hecho con productos nacionales en la mayoría de sus partes, las piezas que no son del país se encuentran en el mercado nacional, lo que hace que este prototipo se pueda fabricar a una pequeña escala, para cubrir los requerimientos de las escuelas gubernamentales a las que se destine.

Los elementos que no son de fácil adquisición en el mercado

nacional son los motores de pasos a pesar de su gran campo de aplicación para movimientos precisos y servomecanismos.

En el proyecto Robot se tuvo una gran iteración entre los integrantes del equipo de diferentes campos ingenieriles que participaron, generándose ideas para la solución del prototipo, basados en los lineamientos dados al principio del mismo, sobre todo en la parte mecánica y electrónica.

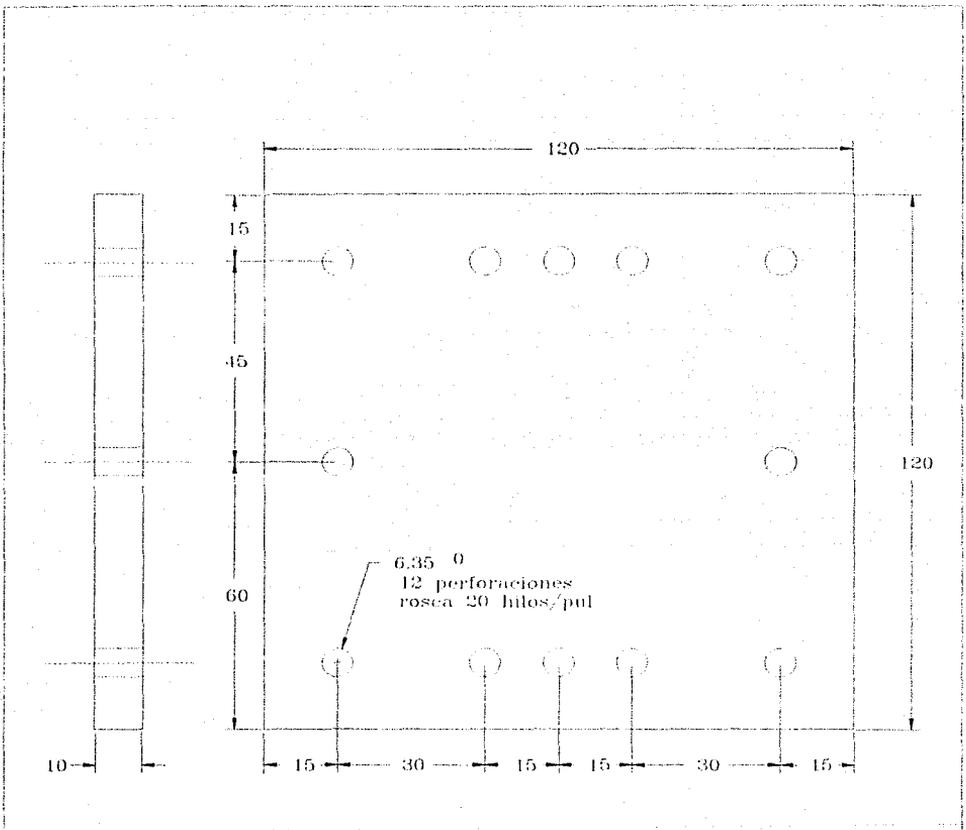
En este prototipo se deja la posibilidad de tener un elemento terminal para cualquier aplicación, ya que la unión entre la muñeca y el elemento terminal le dan esa posibilidad de ser versátil.

Se tienen algunas cosas por cubrir en futuras instancias del proyecto como son, los diseños de elementos terminales para otras tareas más específicas si se requirieran en cuanto a la parte mecánica y para la parte electrónica quedaría una modificación que hacer sobre la acción de los motores para que se pudieran mover dos o mas al mismo tiempo y hacer que el Robot tuviera una operación más rápida, que debido al equipo con el que se contaba y con la idea del software de control que se tenía, se dejó así en el Robot.

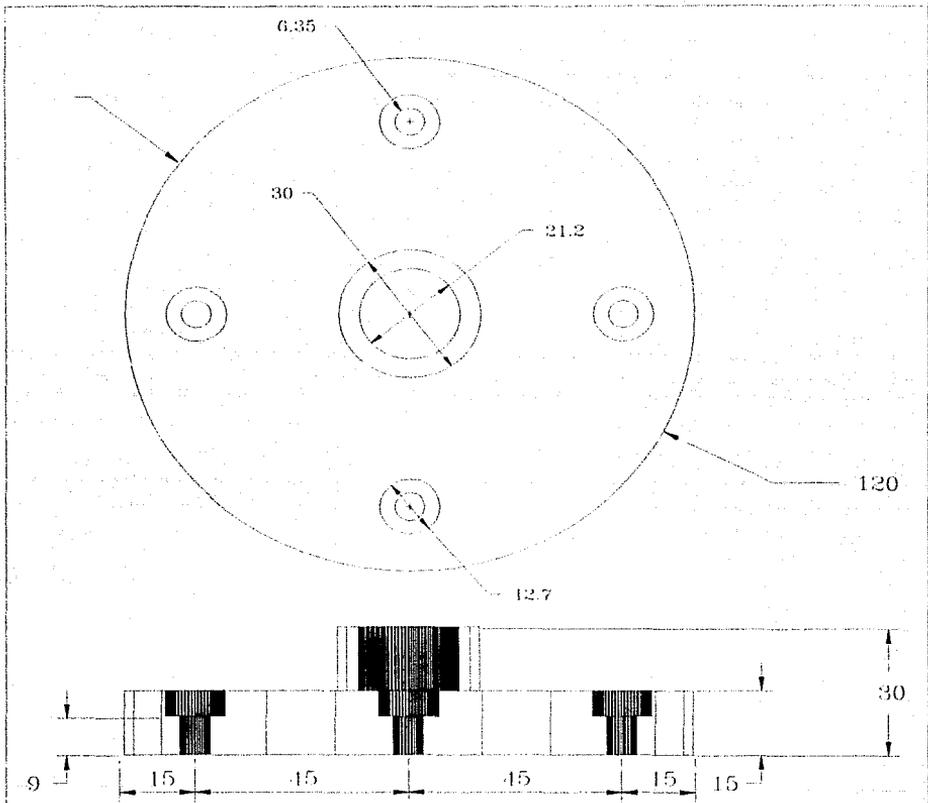
Debido a los cambios que se están dando en la industria donde cada vez es mayor el uso de los Robots se deben de tomar criterios diferentes para una legislación sobre todo para el uso de estos dispositivos, para evitar la desocupación masiva de trabajadores en las fábricas, que aunque se crean trabajos para la supervisión de Robots, se eliminan mas trabajadores.

Apêndices

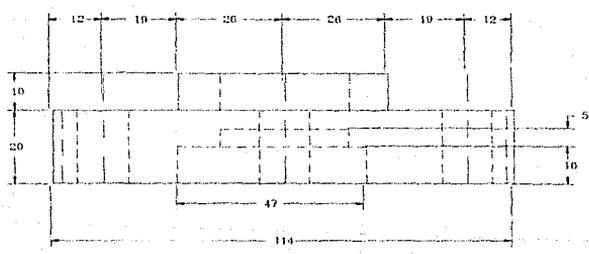
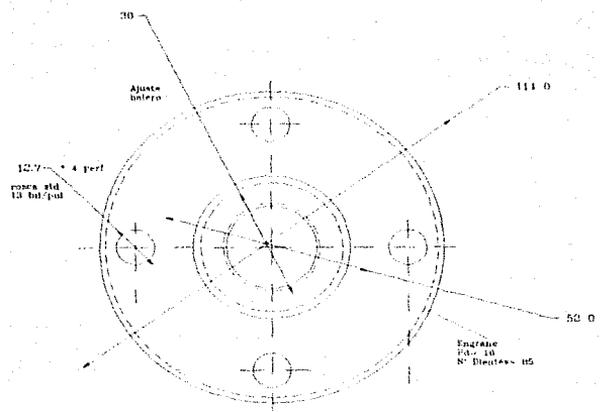
A1 Planos de las Piezas del Robot



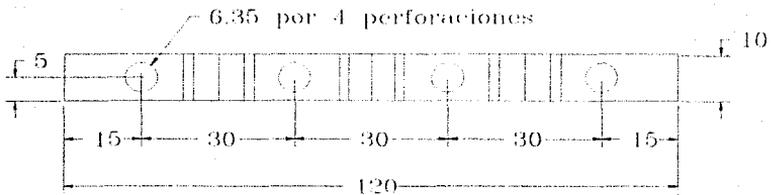
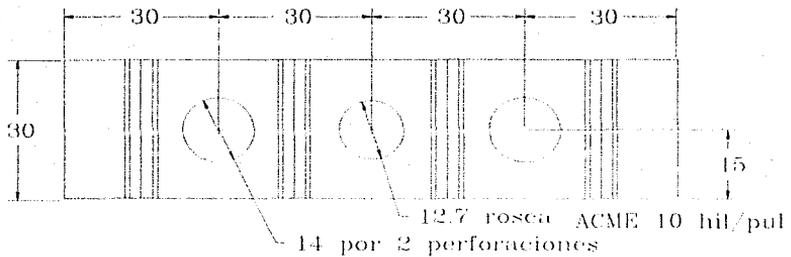
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	1
Material	Acero SAE 1020		
Acotaciones	mm	Cantidad	1 Piezas
Notas	La Rosca es UNC		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



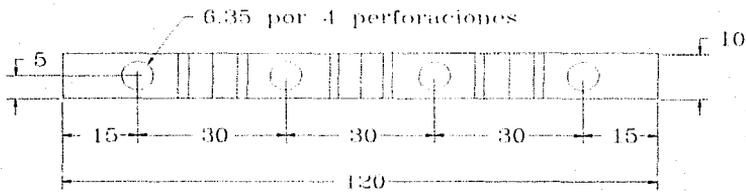
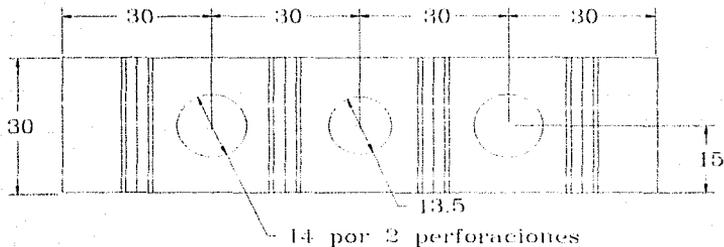
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	<i>2</i>
Material	Aluminio		
Acolaciones	mm	Cantidad	Piezas
Notas			
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



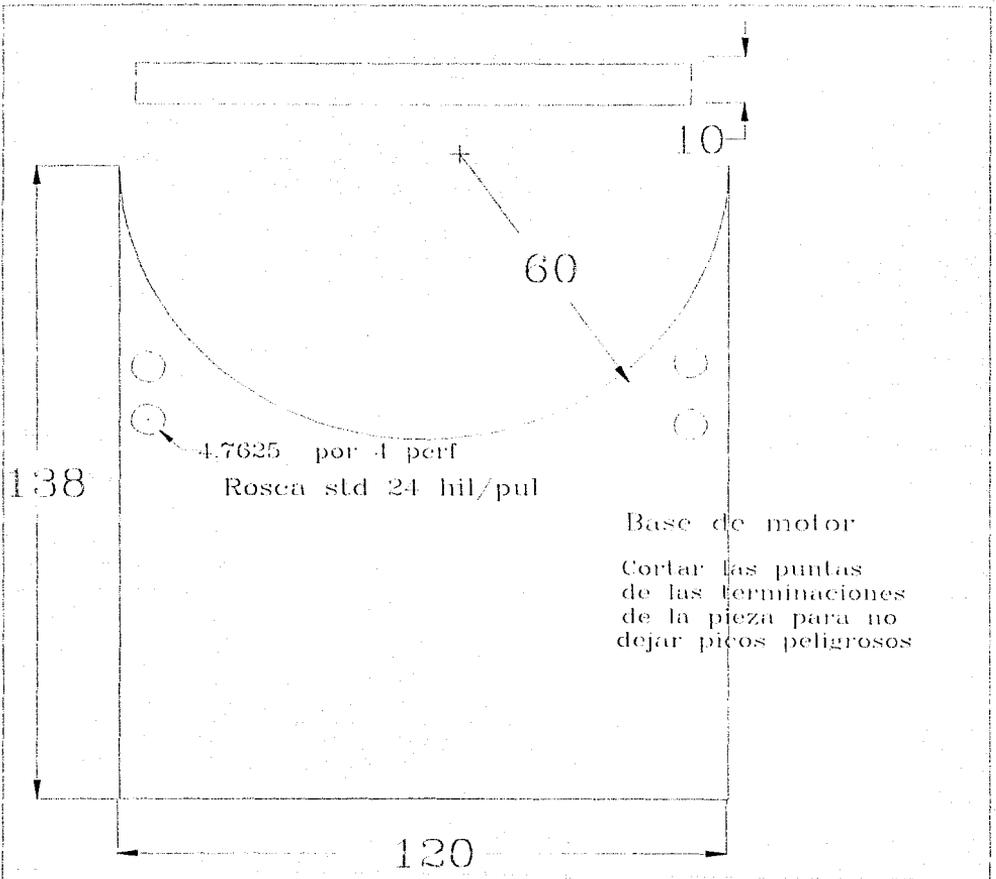
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	<i>3</i>
Material	<i>Aluminio</i>		
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad	
Notas	<i>La Rosca es UNC</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



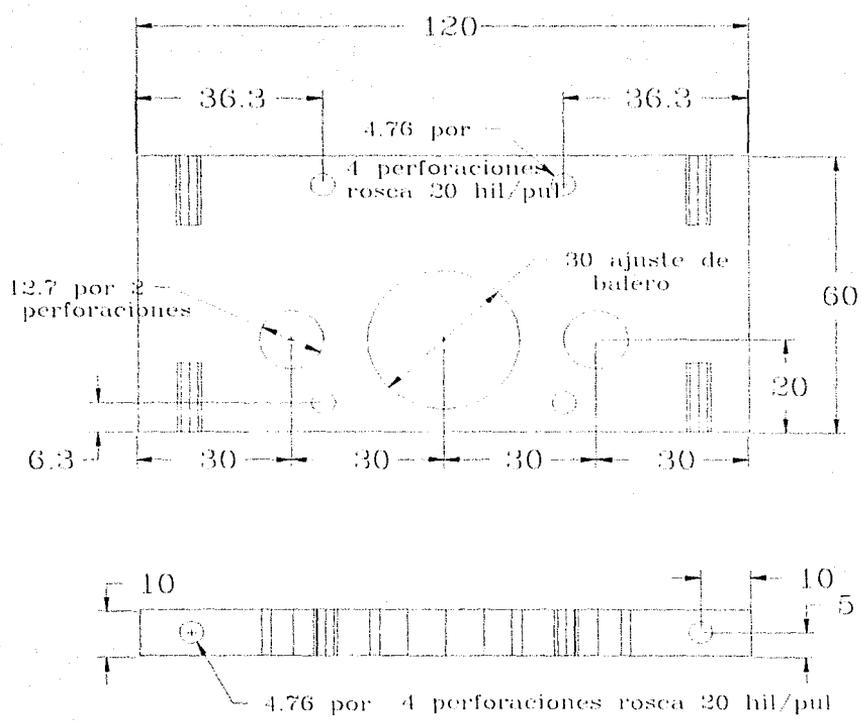
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		<i>4</i>
Acolaciones	mm	Cantidad	1 Piezas
Notas	Se ajustan bujes en los barrenos de 14 mm		
<i>Joel Ramirez Paler</i>			



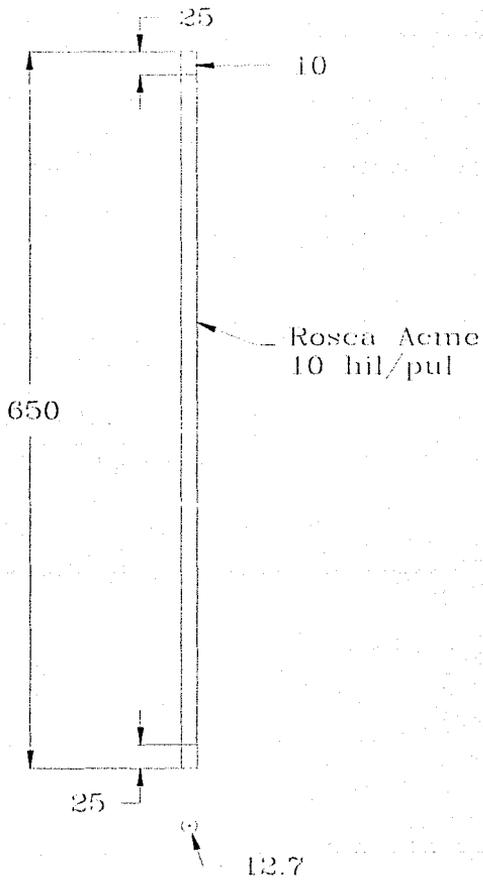
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		<i>5</i>
Acolaciones	mm	Cantidad Piezas	
Notas	Se ajustan bujes en los barrenos		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



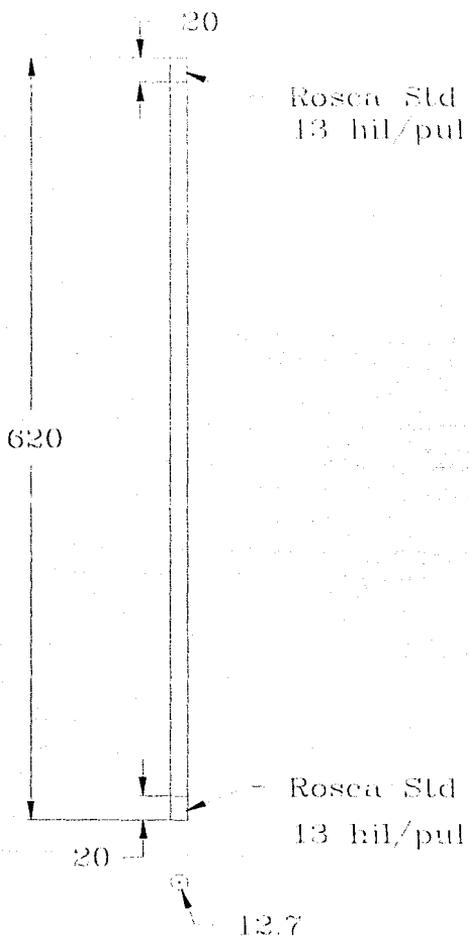
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Aluminio		
Acotaciones	mm	Cantidad	6
Notas	La Rosca es UNC		
<i>José Ramirez Salas</i>			



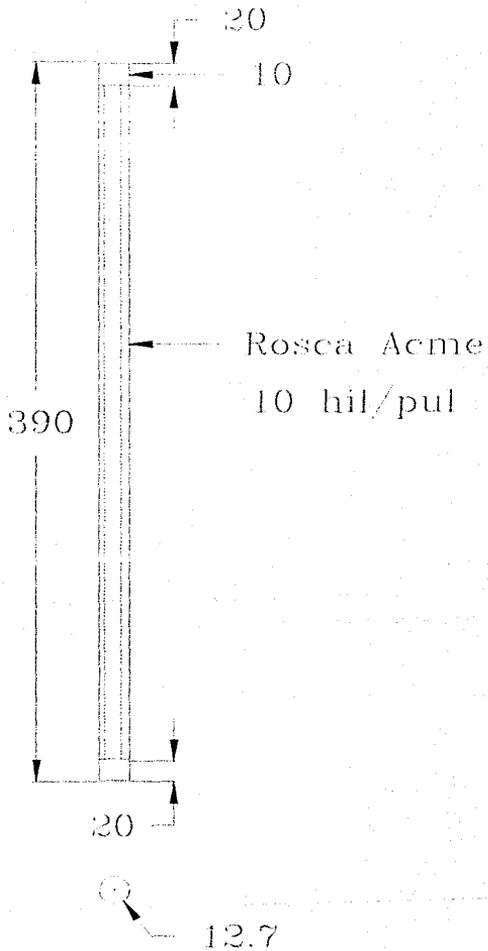
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #
Material	<i>Acero SAE 1020</i>	
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>2 Piezas</i>
Notas	<i>La Rosca es UNC</i>	
<i>Joel Ramirez Palas</i>		



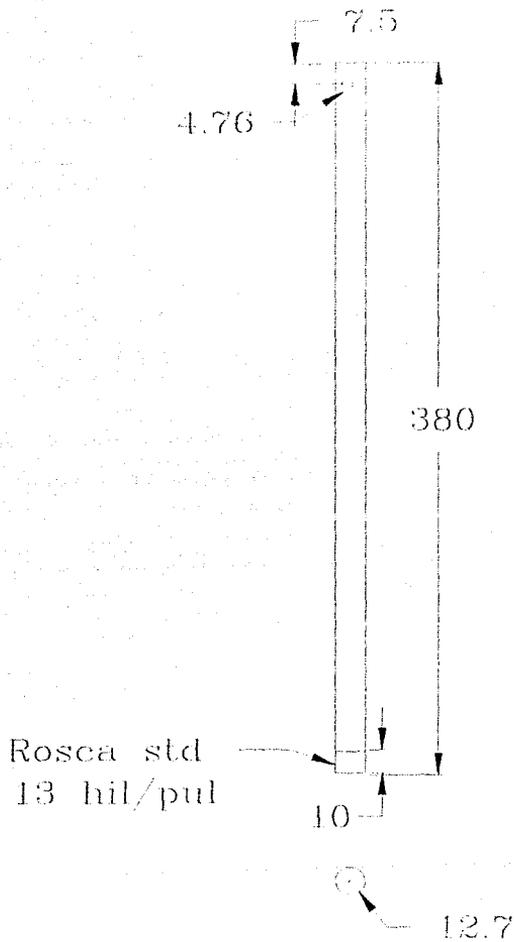
Proyecto	<i>Robel</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		8
Acolaciones	mm	Cantidad 1 Piezas	
Notas	Se ajustan baleros en los extremos		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



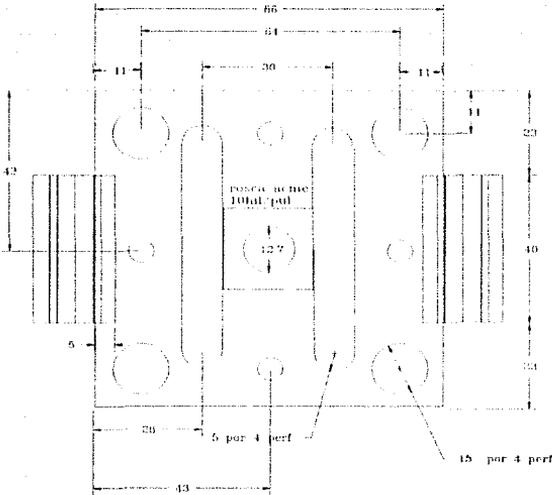
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	<i>Acero SAE 1020</i>		
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad	<i>2 Piezas</i>
Notas	<i>La rosca es UNC</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



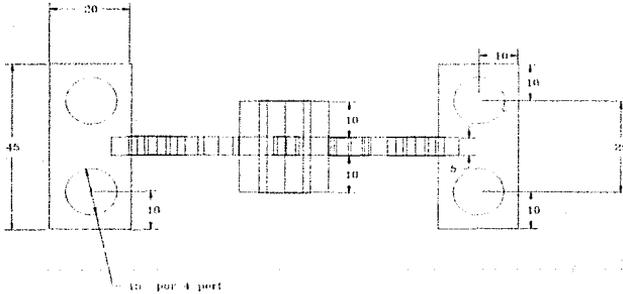
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	<i>Acero SAE 1020</i>		<i>10</i>
Acotaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>1</i> Piezas	
Notas	<i>Se ajustan baleros en los extremos</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



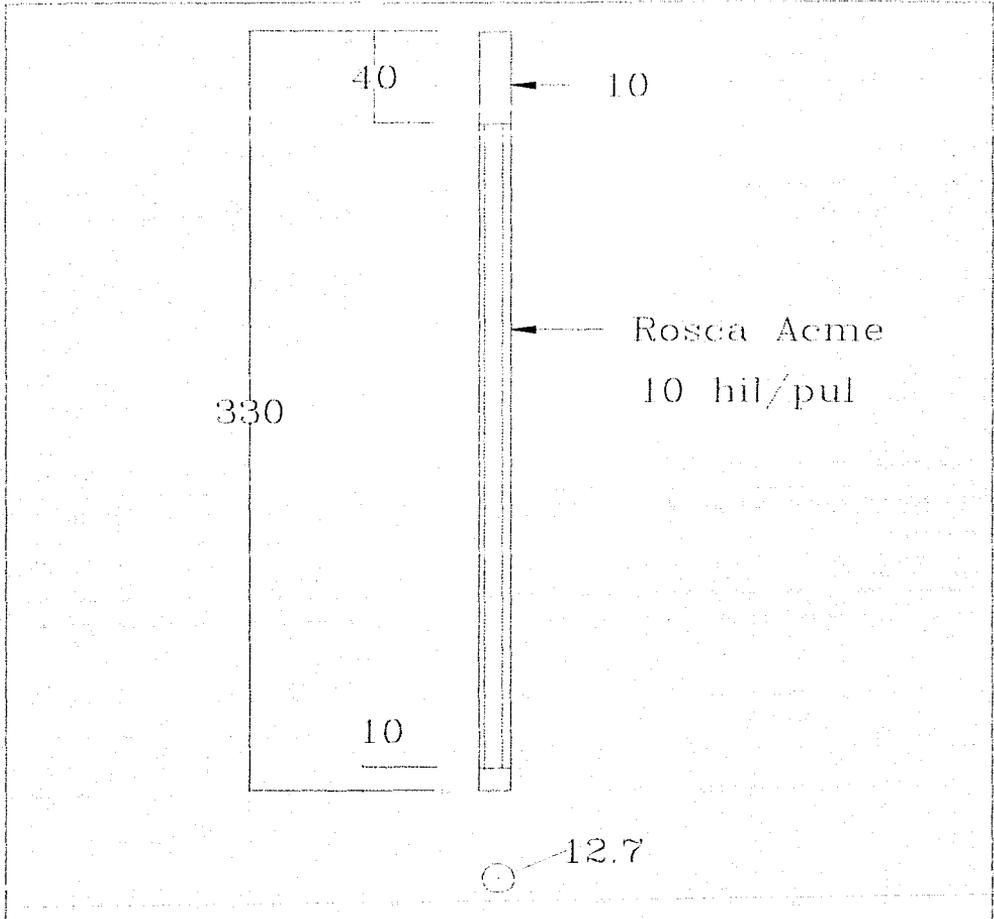
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		11
Acolaciones	mm	Cantidad 4 Piezas	
Notas	La rosca es UNC		
<i>Joel Ramirez Sales</i>			



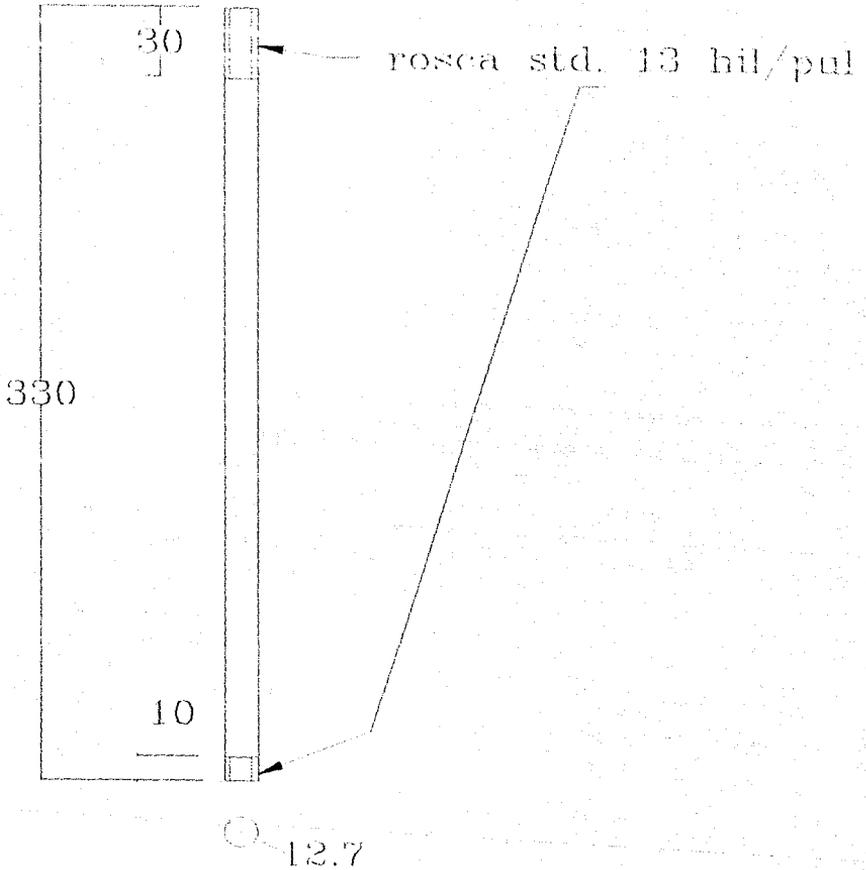
Debe de haber 50mm entre centros por lo que la distancia total es de 70mm



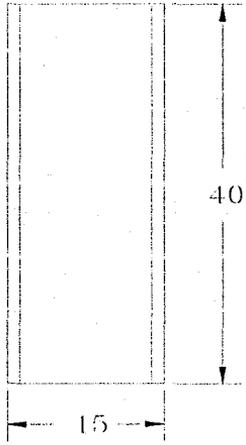
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	Acero SAE 1020		
Acotaciones	mm	Cantidad	12
Notas		Se instalan bujes en todos los barrenos	
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



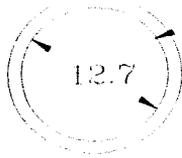
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	Acero SAE 1020	13	
Acolaciones	mm		Cantidad
Notas	Se ajustan baleros en los extremos		
	<i>Joel Ramirez Salas</i>		



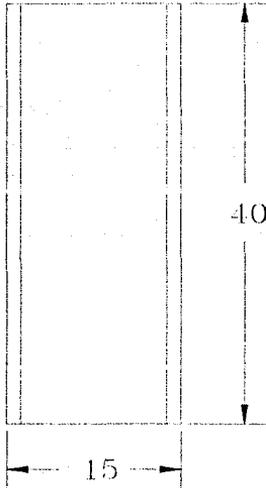
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	<i>Acero SAE 1020</i>		<i>14</i>
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>2 Piezas</i>	
Notas	<i>La rosca es UNC</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



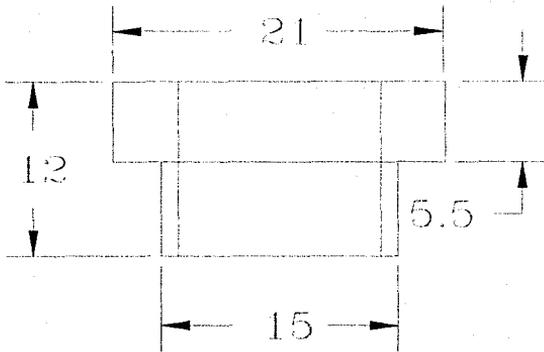
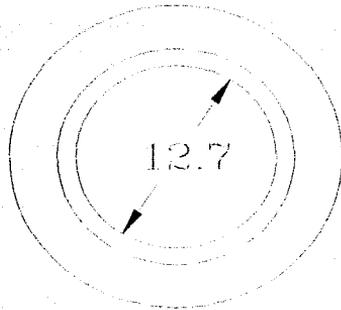
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #		
Material	<i>Latón</i>			
Acotaciones	<i>mm</i>	Cantidad	<i>2 Piezas</i>	<i>15</i>
Notas	<i>Bujes que van en pza12</i>			
<i>Joel Ramirez Salas</i>				



Rosca Acme
10 hil/pul



Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	<i>Latón</i>	16	
Acolaciones	mm		Cantidad
Notas	<i>Bujes que van en pza 12</i>		
<i>Joel Ramirez Galas</i>			



Proyecto

Robot

Pieza #

Material

Laton

Acolaciones

mm

Cantidad

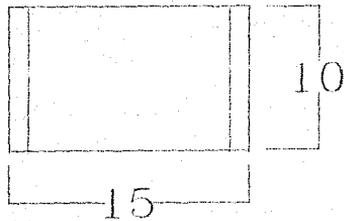
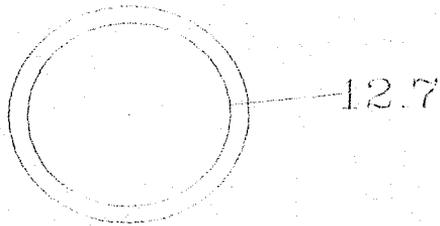
4 Piezas

17

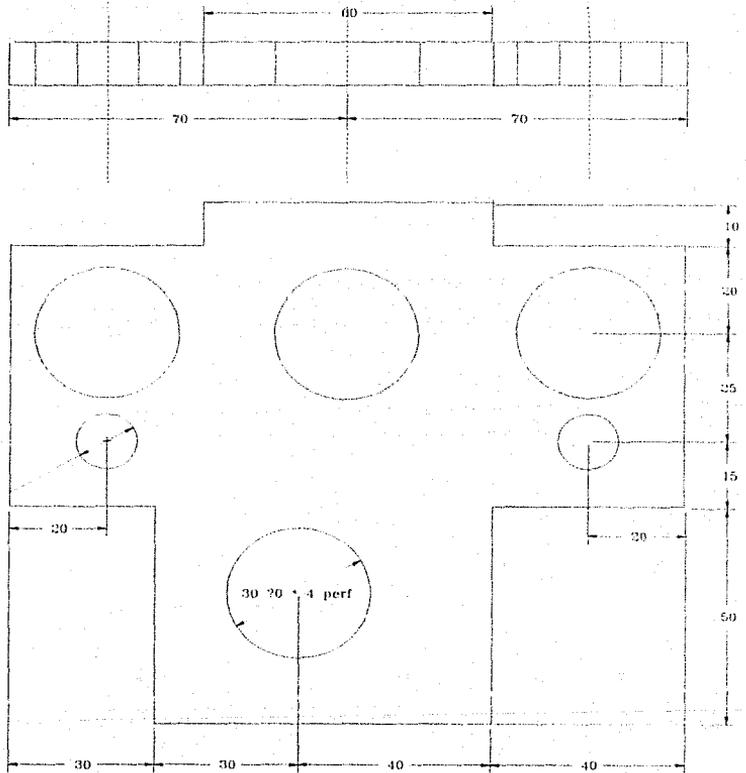
Notas

Bujes que van en pza 12

Joel Ramirez Salas



Proyecto	Robot		Pieza #
Material	Latón		18
Acotaciones	mm	Cantidad 4 Piezas	
Notas	Bujes que van en pzas 4 y 5		
	Joel Ramirez Palas		



Proyecto

Robot

Material

Aluminio

Acolaciones

mm

Cantidad

1 Piezas

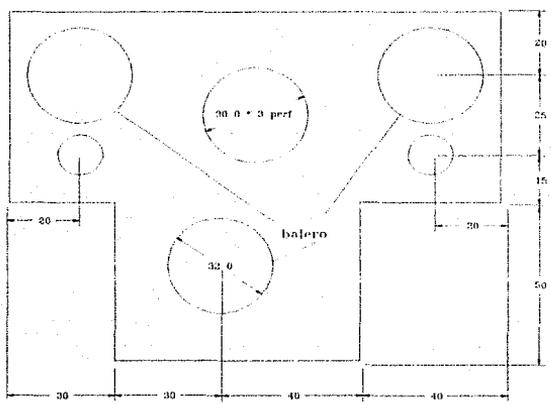
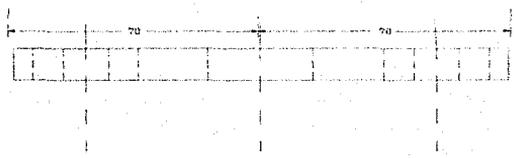
Notas

La rosca es UNC

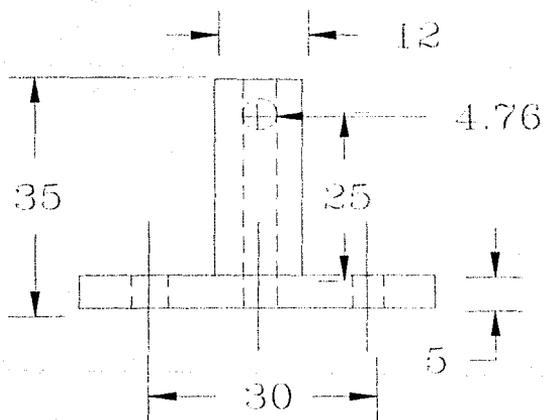
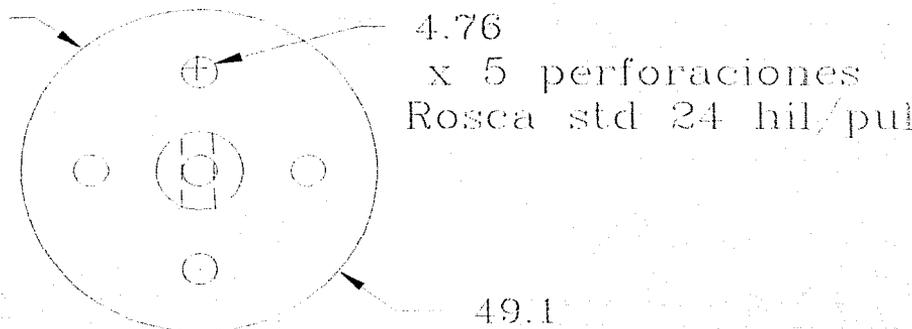
Pieza #

19

Del Ramirez Salas



Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	<i>Aluminio</i>		
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad	<i>1 Piezas</i>
Notas	<i>En esta pieza van baleros</i>		
	<i>Joel Ramirez Salas</i>		



Proyecto

Robot

Pieza #

Material

Acero SAE 1020

Acolaciones

mm

Cantidad

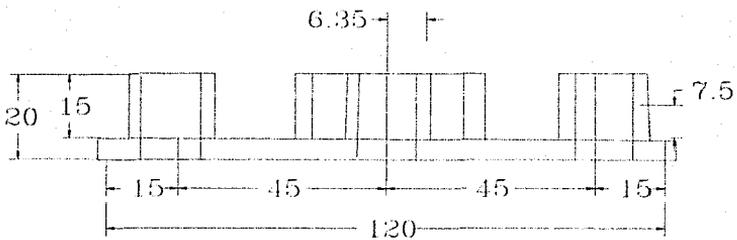
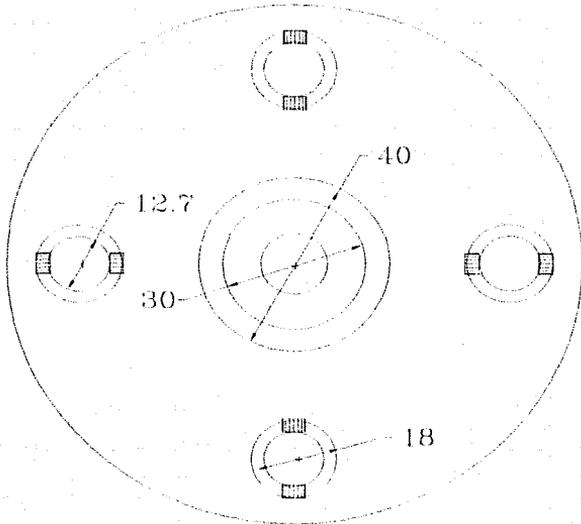
Piezas

22

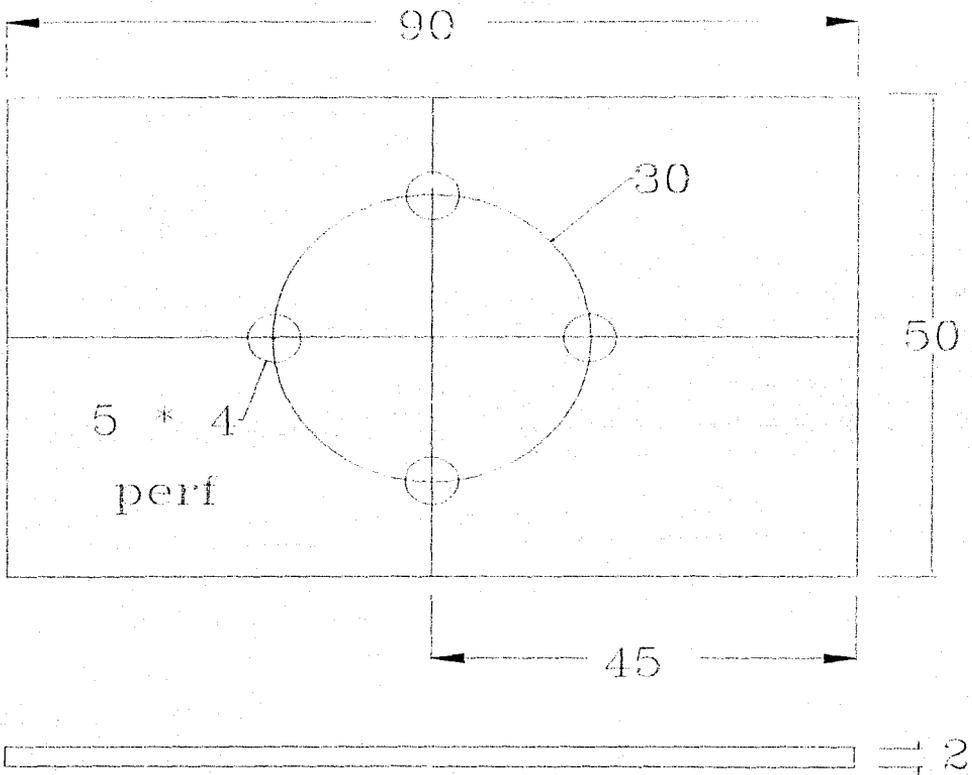
Notas

La rosca es UNC

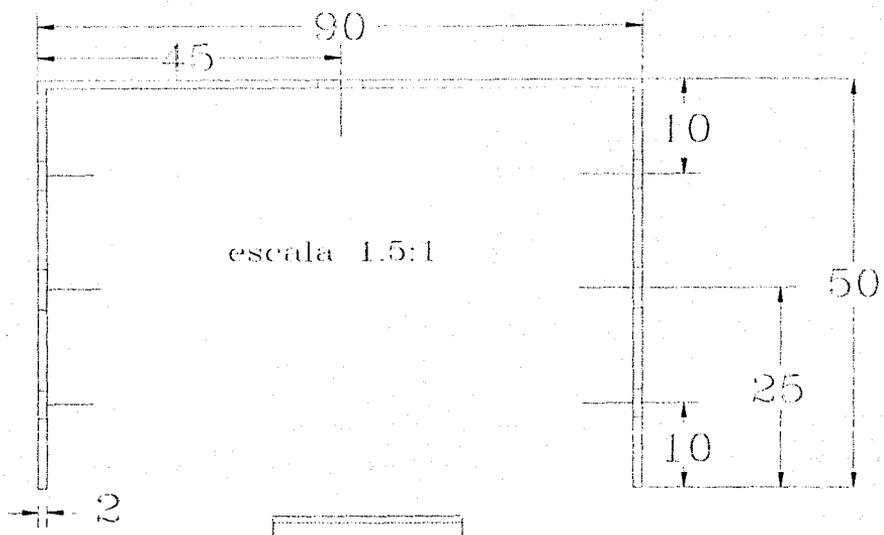
Joel Ramirez Salas



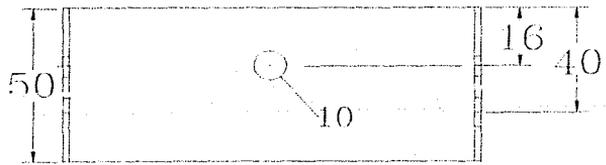
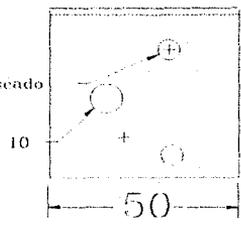
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	<i>23</i>
Material	<i>Aluminio</i>		
Acotaciones	<i>mm</i>	Cantidad Piezas	
Notas	<i>Alinear con piezas 3 y 12</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



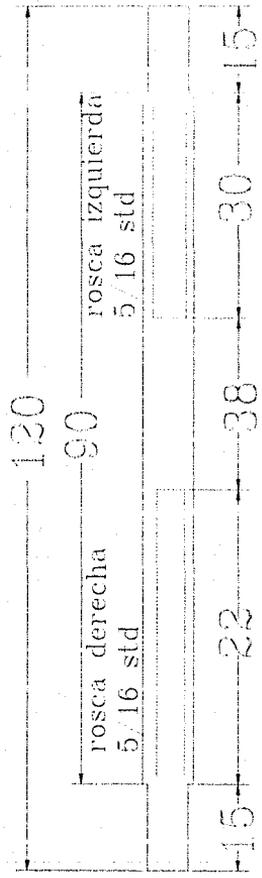
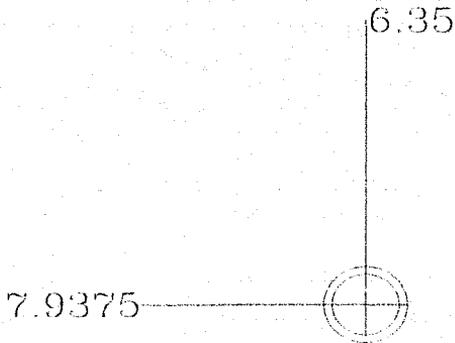
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Aluminio		24
Acotaciones	mm	Cantidad	
Notas	Se solda en pza 25		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



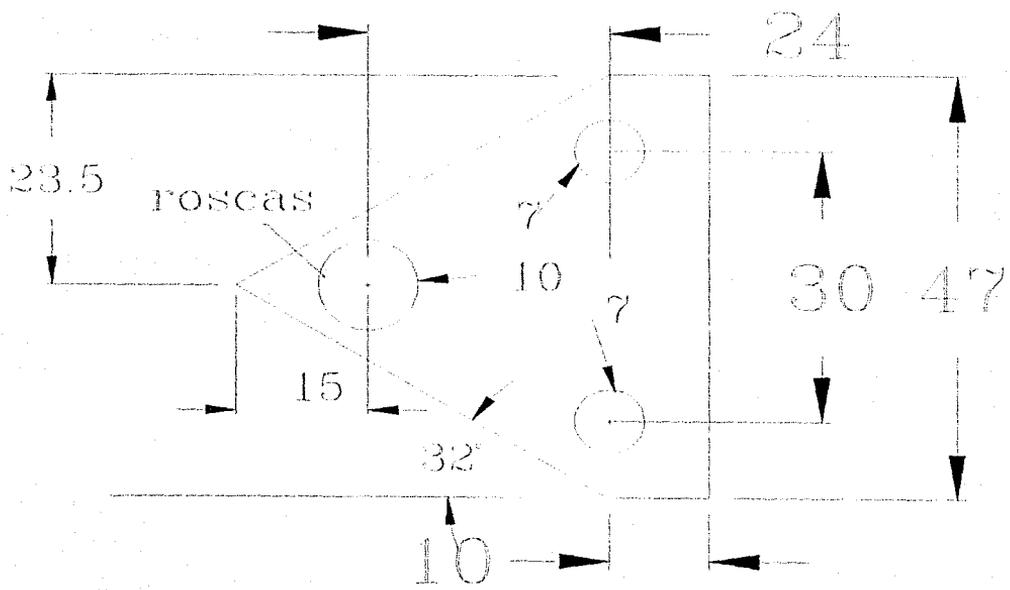
1/4 pul roscado
por 2 perf



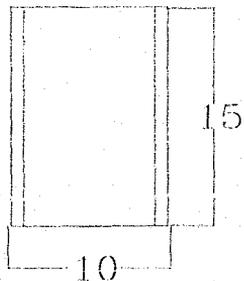
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	Aluminio		<i>25</i>
Acolaciones	mm	Cantidad	
Notas Se le solda pza 24 y se ajusta pza 29			
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



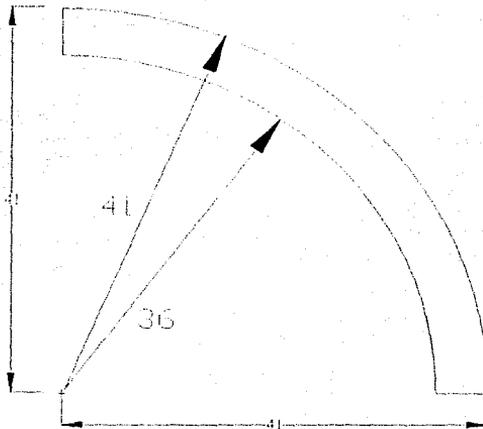
Proyecto <i>Robot</i>		Pieza #
Material <i>Acero SAE 1020</i>		<i>26</i>
Acolaciones <i>mm</i>	Cantidad Piezas	
Notas <i>La rosca es UNC</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>		



Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	<i>Aluminio</i>		<i>27</i>
Acotaciones	<i>mm</i>	Cantidad	
Notas <i>La rosca es UNC una izq y otra der. lleva bujes</i>			
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	<i>Latón</i>		<i>27b</i>
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>4 Piezas</i>	
Notas	<i>Bujes que van en pza 27</i>		
	<i>Joel Ramirez Salas</i>		



Proyecto <i>Robot</i>		Pieza # <i>27c</i>
Material <i>Aluminio</i>		
Acotaciones <i>mm</i>	Cantidad <i>2 Piezas</i>	
Notas <i>Estas pzas se ponen en pza 27</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>		

3.175



4.7625

rosca std
1/8 pul

90

110

Pieza #

28

Proyecto

Robot

Material

Aluminio

Acolaciones

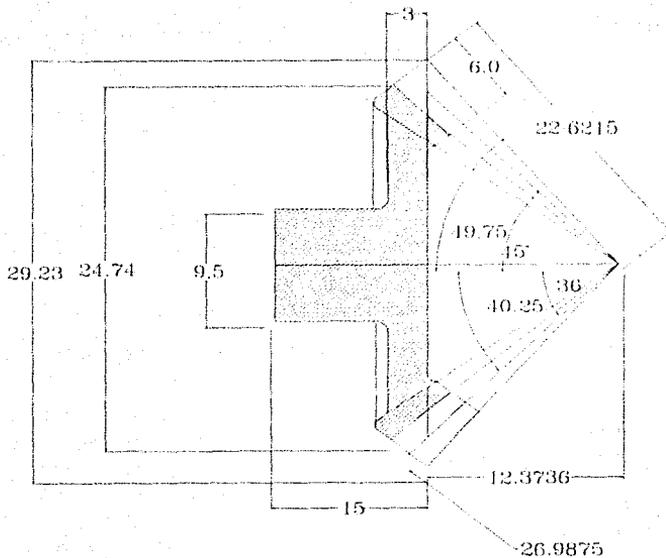
mm

Cantidad *2* Piezas

Notas

La rosca es UNC

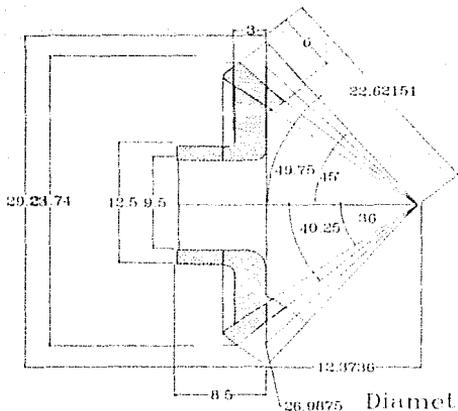
Joel Ramirez Salas



diametro de paso

Lleva radios en las esquinas de 2 mm para evitar concentracion de esfuerzos

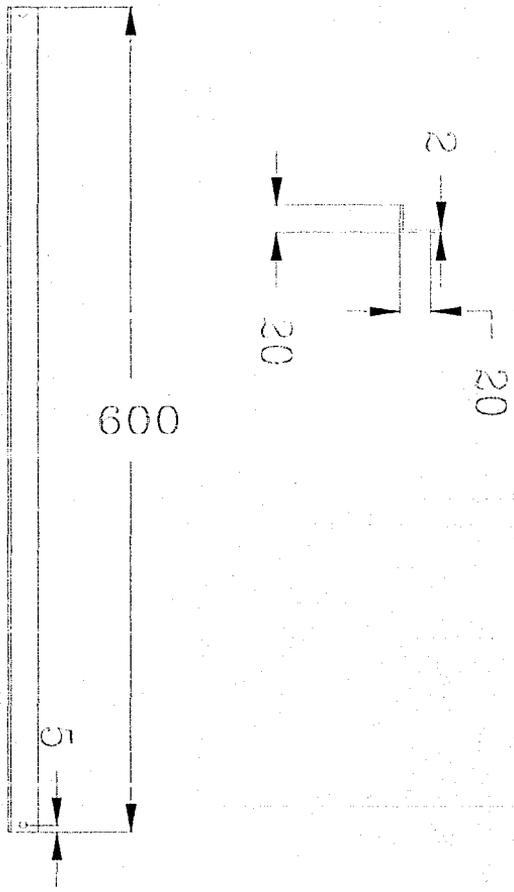
Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		29
Acolaciones	mm	Cantidad	
Notas	Se pone ajustando con pza 29 en pza 25		
	<i>Joel Ramirez Salas</i>		



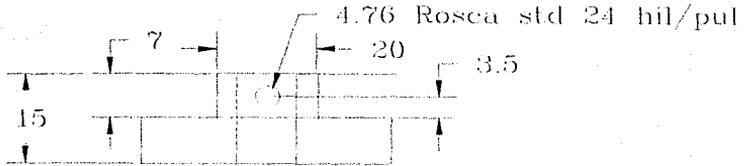
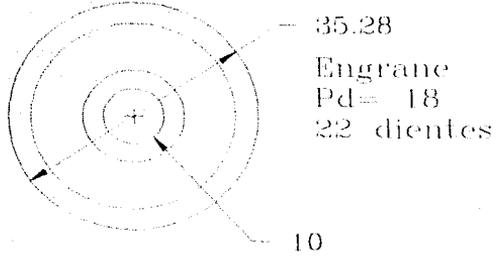
Lleva radios en las esquinas de 2 mm para evitar concentracion de esfuerzos

Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza #
Material	Acero SAE 1020		30
Acolaciones	mm	Cantidad	
Notas	Se ajusta con pza 29 en pza 26		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			

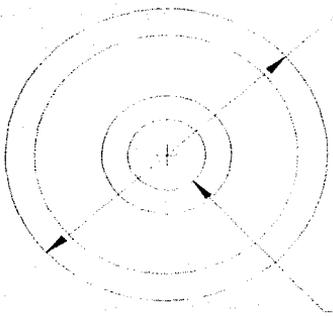
R



Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	<i>Acero SAE 1020</i>	31	
Acolaciones	<i>mm</i>		Cantidad
Notas	<i>Se ajustan en pza 7</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



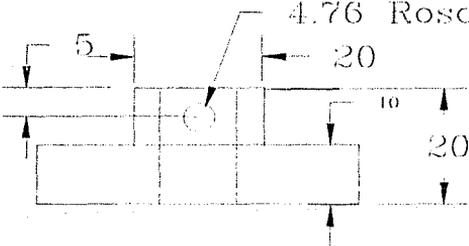
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	<i>32</i>
Material	Acero SAE 1020		
Acolaciones	mm	Cantidad	<i>2 Piezas</i>
Notas	La rosca es UNC		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			



49.39

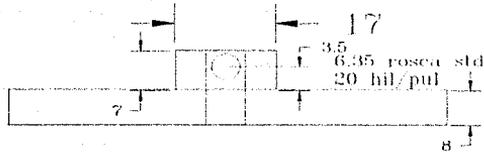
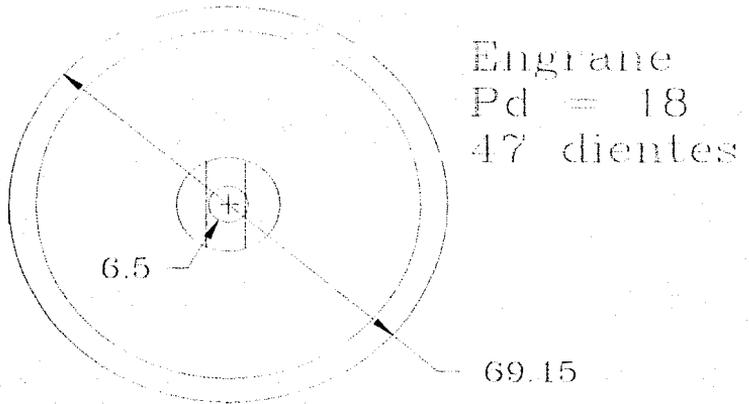
Engrane
Pd = 18
35 dientes

12

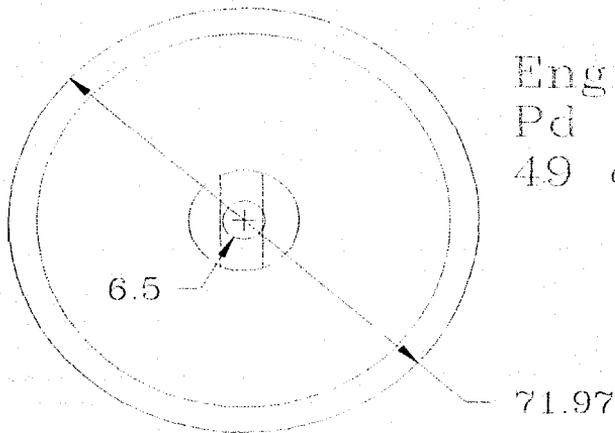


4.76 Rosca std 24 hil/pul

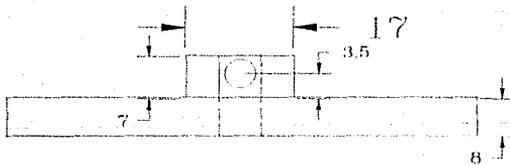
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #
Material	Acero SAE 1020	33
Acolaciones	mm	
Notas La rosca es UNC uno va con diam int de 10mm		
<i>Joel Ramirez Salas</i>		



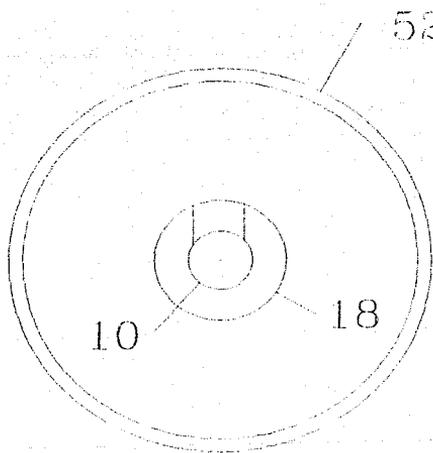
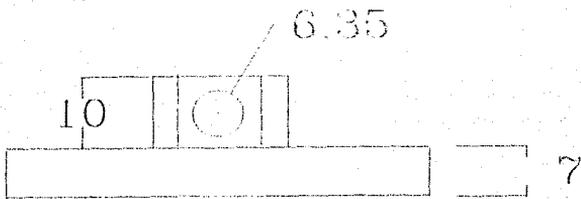
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #
Material	<i>Acero SAE 1020</i>	
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>2 Piezas</i>
Notas	<i>La rosca es UNC</i>	
<i>Joel Ramirez Salas</i>		



Engrane
 Pd = 18
 49 dientes



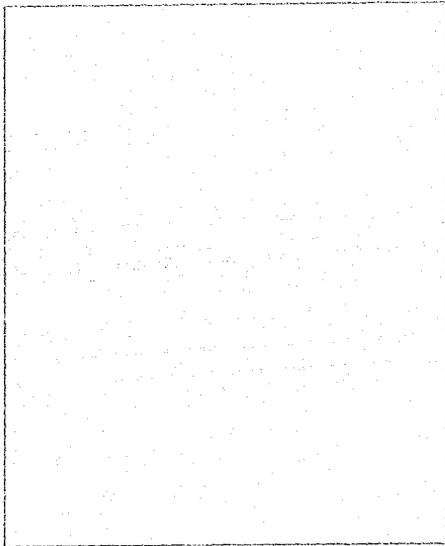
Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #
Material	Acero SAE 1020	35
Acolaciones	mm	
Notas	La rosca es UNC	Cantidad 2 Piezas
<i>Joel Ramirez Salas</i>		



Engrane
35 dientes
P.D. 18

Proyecto	<i>Robot</i>		Pieza # <i>36</i>
Material	<i>Latón</i>		
Acotaciones	<i>mm</i>	Cantidad <i>1</i> Piezas	
Notas	<i>Hacer flecha del mismo material</i>		
<i>Joel Ramirez Salas</i>			

6.35

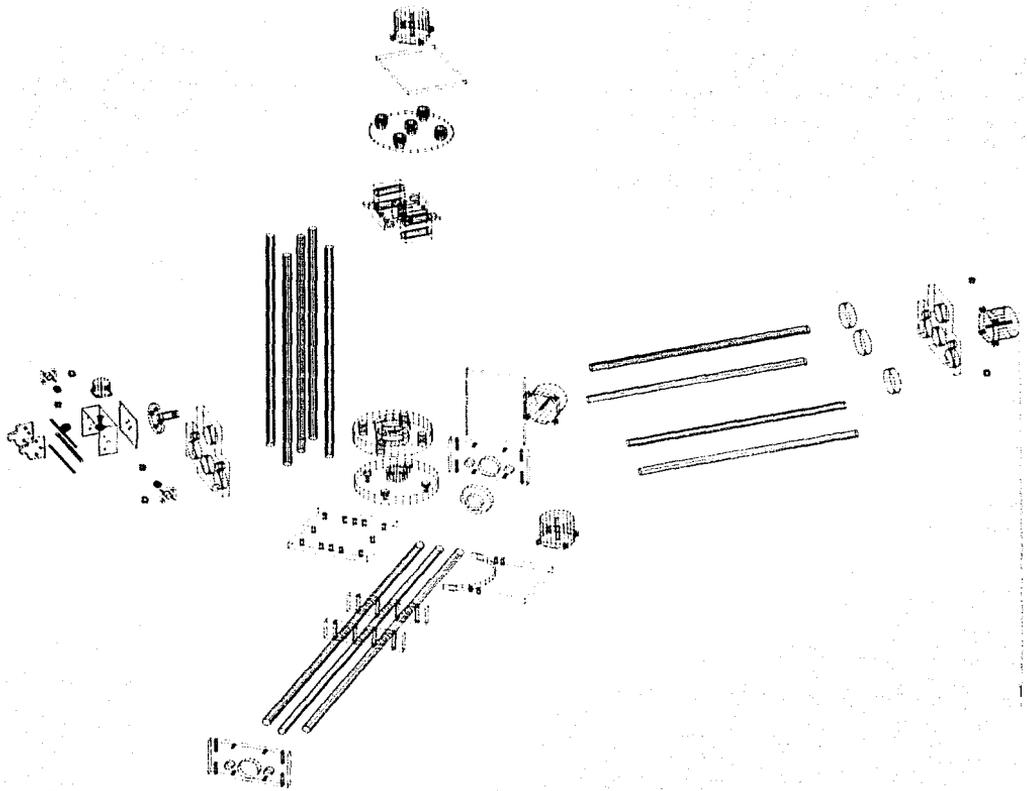


120.6



88.9

Proyecto	<i>Robot</i>	Pieza #	
Material	<i>Aluminio</i>		
Acolaciones	<i>mm</i>	Cantidad	<i>1 Piezas</i>
Notas	<i>Barrenar de acuerdo al motor</i>		
	<i>Joel Ramirez Salas</i>		



A2 Centroides de las piezas del Robot

Se presentan todas las piezas cuyos centroides no correponden precisamente al centro de la pieza; las piezas que no se muestran en estos cálculos son las que tienen su centroide en el centro de la pieza.

Se dan a continuación los pesos de las piezas cuyos centroides están en el centro de ellas:

Pieza	Volumen	mm cub	Material	Densidad	g/ mm cub	Peso g
15	166.2		Latón	8.53E-03		1.42
16	166.2		Latón	8.53E-03		1.42
17	64.04		Latón	8.53E-03		0.55
18	41.55		Latón	8.53E-03		0.35
26	3892		Acero	7.80E-03		30.36
27	b	54	Latón	8.53E-03		0.46
27	c	400	Aluminio	2.80E-03		1.12
28	2886.3		aluminio	2.80E-03		8.08
29	818.12		Acero	7.80E-03		6.38
30	1668.71		Acero	7.80E-03		13.02
31	48000		Acero	7.80E-03		374.40
32	10019.7		Acero	7.80E-03		78.15
33	22292.62		Acero	7.80E-03		173.88
34	20366.64		Acero	7.80E-03		158.86
35	34133.76		Acero	7.80E-03		266.24
36	17813.64		Latón	8.53E-03		151.95
37	68185.35		Aluminio	2.80E-03		190.92
38	74295		Aluminio	2.80E-03		208.03

Pieza 1 Material aluminio volumen 140199.7 mm cub
 Densidad = 2.8e-3 g/mm cub peso=393.56 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	144000	0	0	0	0	0	0
2	-316.69	-45	45	0	14251.18	-14251.18	0
3	-316.69	-45	15	0	14251.18	-4750.39	0
4	-316.69	-45	0	0	14251.18	0	0
5	-316.69	-45	-15	0	14251.18	4750.39	0
6	-316.69	-45	-45	0	14251.18	14251.18	0
7	-316.69	0	45	0	0	-14251.18	0
8	-316.69	0	-45	0	0	14251.18	0
9	-316.69	45	45	0	-14251.18	-14251.18	0
10	-316.69	45	15	0	-14251.18	-4750.39	0
11	-316.69	45	0	0	-14251.18	0	0
12	-316.69	45	-15	0	-14251.18	4750.39	0
13	-316.69	45	-45	0	-14251.18	14251.18	0

TOTAL 140199.7 0 0 0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$X = X_m * V / V = 0.00$

$Y = Y_m * V / V = 0.00$

$Z = Z_m * V / V = 0.00$

Pieza 2 Material Aluminio Volumen 170773.7 mm cub
 Densidad 2.8e-3 g/mm cub Peso= 478.17 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*volumen
1	169646	0	0	0	0	0	0
2	10602.88	0	0	15	0	0	159043.2
3	-5294.84	0	0	15	0	0	-79422.6
4	-760.06	0	45	4.5	0	-34202.7	-3420.27
5	-760.06	0	-45	4.5	0	34202.7	-3420.27
6	-760.06	45	0	4.5	-34202.7	0	-3420.27
7	-760.06	-45	0	4.5	34202.7	0	-3420.27
8	-285.02	0	45	-3	0	-12825.9	855.06
9	-285.02	0	-45	-3	0	12825.9	855.06
10	-285.02	45	0	-3	-12825.9	0	855.06
11	-285.02	-45	0	-3	12825.9	0	855.06

Total 170773.7 0 0 69359.76

Coordenadas del centroide con los ejes en el centro de la pieza

$X = X_m * V / V = 0$

$Y = Y_m * V / V = 0$

$Z = Z_m * V / V = .40615$

Pieza 5

Material Acero SAE 1020

Volumen = 278554.19 mm cub

Densidad = 7.8 e-3 g/mm cub

Peso = 217.5 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym * Volumen	Zm * volumen
1	36000	0	0	0	0	0	0
2	-1266.77	0	0	0	0	0	0
3	-1539.38	30	0	0	-46181.4	0	0
4	-1539.38	-30	0	0	46181.4	0	0
5	-950.07	15	0	0	-14251.05	0	0
6	-950.07	45	0	0	-42753.15	0	0
7	-950.07	-15	0	0	14251.05	0	0
8	-950.07	-45	0	0	42753.15	0	0
Total	27854.19				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$X = X_m * V / \quad = 0$$

$$Y = Y_m * V / \quad = 0$$

$$Z = Z_m * V / V \quad = 0$$

Pieza 6

Material Aluminio

Volumen = 149879.3

Densidad = 2.8e-3 g/ mm cub

Peso = 300.9 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm * Volumen	Ym * Volumen	Zm * Volumen
1	165600	0	0	0	0	0	0
2	-56548.7	0	30.8	0	0	-1741699.344	0
3	-316.7	-51	16	0	16151.7	-5067.2	0
4	-316.7	51	16	0	-16151.7	-5067.2	0
5	-316.7	-51	32	0	16151.7	-10134.4	0
6	-316.7	51	32	0	-16151.7	-10134.4	0
7	-316.7	-30	-9	0	9501	2850.3	0
Total	107467.8				9501	-1769252.244	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$X = X_m * V / \quad = .0634$$

$$Y = Y_m * V / \quad = -16.46$$

$$Z = Z_m * V / V \quad = 0$$

Pieza 7 Material Acero SAE 1020 Volumen = 60618.36 mm cub
 Densidad 7.8 e-3 g/ mm cub Peso = 472.82 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*volumen	Zm*volumen
1	72000	0	0	0	0	0	0
2	-7068.58	0	-10	0	0	70685.8	0
3	-1266.77	30	-10	0	-38003.1	12667.7	0
4	-1266.77	-30	-10	0	38003.1	12667.7	0
5	-177.95	23.7	23.7	0	-4217.415	-4217.415	0
6	-177.95	23.7	-23.7	0	-4217.415	4217.415	0
7	-177.95	-23.7	23.7	0	4217.415	-4217.415	0
8	-177.95	-23.7	-23.7	0	4217.415	4217.415	0
9	-266.93	50	22.5	0	-13346.5	-6005.925	0
10	-266.93	50	-22.5	0	-13346.5	6005.925	0
11	-266.93	-50	22.5	0	13346.5	-6005.925	0
12	-266.93	-50	-22.5	0	13346.5	6005.925	0
Total	60618.36				0	96021.2	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned}
 X &= X_m \cdot V / V = 0 \\
 Y &= Y_m \cdot V / V = 1.584 \\
 Z &= Z_m \cdot V / V = 0
 \end{aligned}$$

Pieza 8 Material Acero SAE 1020 Volumen = 82339.97 mm cub
 Densidad = 7.8e-3 g/mm cub Peso = 642.26 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym* Volumen	Zm * Volumen
1	82339.97	0	0	0	0	0	0
Total	82339.97				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned}
 X &= X_m \cdot V / V = 0 \\
 Y &= Y_m \cdot V / V = 0 \\
 Z &= Z_m \cdot V / V = 0
 \end{aligned}$$

Pieza 9

Material Acero SAE 1020
Densidad = $7.8e-3$ g/mm cub

Volumen = 78539.66 mm cub
Peso = 612.26 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym* Volumen	Zm * Volumen
1	78539.66	0	0	0	0	0	0
Total	78539.66				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned} X &= X_m \cdot V / V = 0 \\ Y &= Y_m \cdot V / V = 0 \\ Z &= Z_m \cdot V / V = 0 \end{aligned}$$

Pieza 10

Material Acero SAE 1020
Densidad = $7.8e-3$ g/mm cub

Volumen = 49403.98 mm cub
Peso = 385.35 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym* Volumen	Zm * Volumen
1	49403.98	0	0	0	0	0	0
Total	49403.98				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned} X &= X_m \cdot V / V = 0 \\ Y &= Y_m \cdot V / V = 0 \\ Z &= Z_m \cdot V / V = 0 \end{aligned}$$

Pieza 11 Material Acero SAE 1020 Volumen = 48137.21 mm cub
 Densidad = 7.8e-3 g/mm cub Peso = 375.35 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym* Volumen	Zm * Volumen
1	48137.21	0	0	0	0	0	0
Total	48137.21				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$X = X_m * V / V = 0$$

$$Y = Y_m * V / V = 0$$

$$Z = Z_m * V / V = 0$$

Pieza 13 Material Acero SAE 1020 Volumen = 41803.37
 Densidad = 7.8e-3 g/mm cub Peso = 326.07

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*V	Ym*V	Zm*V
1	35469.52	0	0	0	0	0	0
2	5067.08	0	160	0	0	810732.8	0
3	1266.77	0	-145	0	0	-183681.65	0
Total	41803.37				0	627051.15	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la rosca ACME

$$X = X_m * V / V = 0$$

$$Y = Y_m * V / V = 15$$

$$Z = Z_m * V / V = 0$$

Pieza 12

Material Acero SAE 1020

Volumen = 75782.74

Densidad = 7.8e-3 g/mm cub

peso = 591.11

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm * Volumen	Ym * Volumen	Zm * Volumen
1	36980	0	0	0	0	0	0
2	8000	0	0	0	0	0	0
3	-2533.54	0	0	0	0	0	0
4	-883.57	32	32	0	-28274.24	-28274.24	0
5	-883.57	32	-32	0	-28274.24	28274.24	0
6	-883.57	-32	32	0	28274.24	-28274.24	0
7	-883.57	-32	-32	0	28274.24	28274.24	0
8	-192.43	0	32	0	0	-6157.76	0
9	-192.43	0	-32	0	0	6157.76	0
10	-192.43	32	0	0	-6157.76	0	0
11	-192.43	-32	0	0	6157.76	0	0
12	-2650	15	0	0	-39750	0	0
13	-2650	-15	0	0	39750	0	0
14	-196.35	29.68	15	0	-5827.668	-2945.25	0
15	-196.35	-29.68	15	0	5827.668	-2945.25	0
16	-196.35	29.68	-15	0	-5827.668	2945.25	0
17	-196.35	-29.68	-15	0	5827.668	2945.25	0
18	36000	48	0	0	1728000	0	0
19	36000	-48	0	0	-1728000	0	0
20	-7068.58	48	0	12.5	-339291.84	0	-88357.25
21	-7068.58	-48	0	-12.5	339291.84	0	88357.25
22	-7068.58	48	0	-12.5	-339291.84	0	88357.25
23	-7068.58	-48	0	12.5	339291.84	0	-88357.25
Total	75782.74				0	0	0

Coordenadas del centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$X = X_m * V / V = 0$$

$$Y = Y_m * V / V = 0$$

$$Z = Z_m * V / V = 0$$

Pieza 14 Material Acero SAE 1020 Volumen = 41803.37
 Densidad = 7.8e-3 g/mm cub Peso = 326.07

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*V	Ym*V	Zm*V
1	36736.3	0	0	0	0	0	0
2	3800	0	160	0	0	608000	0
3	1266.77	0	-150	0	0	-190016	0
Total	41803.07				0	417984.5	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la rosca ACME

$$X = X_m * V / \quad = 0$$

$$Y = Y_m * V / \quad = 10$$

$$Z = Z_m * V / V \quad = 0$$

Pieza 19 Material Aluminio Volumen = 94192.14 mm cub
 Densidad = 2.8e-3 g/mm cub Peso = 263.74 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volum	Ym*Volum	Zm*Volumen
1	84000	0	0	0	0	0	0
2	6000	0	35	0	0	210000	0
3	35000	-5	-55	0	-175000	-1925000	0
4	-7068.58	0	10	0	0	-70685.8	0
5	-7068.58	50	10	0	-353429	-70685.8	0
6	-7068.58	-50	10	0	353429	-70685.8	0
7	-7068.58	-10	-50	0	70685.8	353429	0
8	-1266.77	50	-15	0	-63338.5	19001.55	0
9	-1266.77	-50	-15	0	63338.5	19001.55	0
Total	94192.14				-104314	-1535625	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro del rectángulo grande

$$X = X_m * V / \quad = -1.11$$

$$Y = Y_m * V / \quad = -16.3$$

$$Z = Z_m * v / V \quad = 0$$

Pieza 20

Material Aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cubVolumen = 87218.5 mm cub
Peso = 244.21 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	84000	0	0	0	0	0	0
2	35000	-5	-55	0	-175000	-1925000	0
3	-7068.58	0	-3	0	0	21205.74	0
4	-7068.58	50	10	0	-353429	-70685.8	0
5	-7068.58	-50	10	0	353429	-70685.8	0
6	-8042.23	-10	-50	0	80422.3	402111.5	0
7	-1266.77	50	-15	0	-63338.5	19001.55	0
8	-1266.77	-50	-15	0	63338.5	19001.55	0

Total	87218.49				-94577.7	-1605051.26	0
-------	----------	--	--	--	----------	-------------	---

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro del rectángulo grande

$$X = X_m * V / V = -1.08$$

$$Y = Y_m * V / V = -18.4$$

$$Z = Z_m * v / V = 0$$

Pieza 21

Material Aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cubVolumen = 40521.86 mm cub
Peso = 113.46 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	39200	0	0	0	0	0	0
2	750	35.5	-37.5	0	26625	-28125	0
3	750	-35.5	-37.5	0	-26625	-28125	0
4	-89.07	32	-37.5	0	-2850.24	3340.125	0
5	-89.07	-32	-37.5	0	2850.24	3340.125	0

Total	40521.86				0	-49569.75	0
-------	----------	--	--	--	---	-----------	---

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro del rectángulo grande

$$X = X_m * V / V = 0$$

$$Y = Y_m * V / V = -1.22$$

$$Z = Z_m * V / V = 0$$

Pieza 22

Material Acero SAE 1020
Densidad = 7.8e-3 g/mm cub

Volumen = 11756.83
peso = 91.11

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm* Volumen	Ym * Volumen	Zm * Volumen
1	9467.23	0	0	0	0	0	0
2	-88.98	0	15	0	0	-1334.7	0
3	-88.98	0	-15	0	0	1334.7	0
4	-88.98	15	0	0	-1334.7	0	0
5	-88.98	-15	0	0	1334.7	0	0
6	-213.54	0	0	25	0	0	-5338.5
7	3392.92	0	0	15	0	0	50893.8
8	-533.86	0	0	15	0	0	-8007.9
Total	11756.83				0	0	37547.4

Coordenadas del centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned} X &= X_m * V / V &= 0 \\ Y &= Y_m * V / V &= 0 \\ Z &= Z_m * V / V &= 3.19 \end{aligned}$$

Pieza 24

Material aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cub

volumen 32183.3 mm cub
peso = 90.26 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	65000	0	0	0	0	0	0
2	-158.35	15	0	0	-2375	0	0
3	-158.35	-15	0	0	2375	0	0
4	-158.35	0	15	0	0	-2375	0
5	-158.35	0	-15	0	0	2375	0
Total	64366.6				0	0	0

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned} X &= X_m * V / V &= 0.00 \\ Y &= Y_m * V / V &= 0.00 \\ Z &= Z_m * V / V &= 0.00 \end{aligned}$$

Pieza 23

Material aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cub

volumen 69361.35 mm cub
peso = 194.21 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen	
1	56548.67	0	0	0	0	0	0	
2	18849.56	0	0	10	0	0	188496	
3	-10602.9	0	0	10	0	0	-106029	
4	3817.1	0	45	10	0	171770	38171	
5	3817.1	0	-45	10	0	-171770	38171	
6	3817.1	45	0	10	171770	0	38171	
7	3817.1	-45	0	10	-171770	0	38171	
8	-2533.54	0	45	10	0	-114009	-25335	
9	-2533.54	0	-45	10	0	114009	-25335	
10	-2533.54	45	0	10	-114009	0	-25335	
11	-2533.54	-45	0	10	114009	0	-25335	
12	-142.06	0	45	10	0	-6393	-1421	
13	-142.06	0	-45	10	0	6393	-1421	
14	-142.06	45	0	10	-6393	0	-1421	
15	-142.06	-45	0	10	6393	0	-1421	
Total	69361.35					0	0	128126.8

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$\begin{aligned} X &= X_m * V / &= 0 \\ Y &= Y_m * V / &= 0 \\ Z &= Z_m * V / V &= 1.85 \end{aligned}$$

Pieza 25

Material aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cub

volumen 18133.3 mm cub
peso = 50.78 g

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	147.4	0	0	0	0	0	0
2	-157.5	0	-8.5	0	0	1339	0
3	11000	66	0	-50	726000	0	-550000
4	11000	-66	0	-50	-726000	0	-550000
5	-157.5	66	-8.5	-50	-10395	1339	7875
6	-157.5	-66	-8.5	-50	10395	1339	7875
7	-77	-66	7.5	-22	5082	-578	1694
8	-77	66	7.5	-22	-5082	-578	1694
9	-77	66	7.5	-78	-5082	-578	6006
10	-77	-66	7.5	-78	5082	-578	6006
Total	21674.9				-10395	2677.5	-1092125

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza superior

$$X = X_m * V / \quad -0.47959$$

$$Y = Y_m * V / \quad 0.12353$$

$$Z = Z_m * V / V \quad -50.3866$$

Pieza 27

Material aluminio
Densidad = 2.8e-3 g/mm cub

volumen 34323.25 mm cub
peso = 96.31

Elemento	Volumen	Xm	Ym	Zm	Xm*Volumen	Ym*Volumen	Zm*Volumen
1	45000	0	0	0	0	0	0
2	-785.4	-5	28	0	3927	-21991	0
3	-785.4	-5	-28	0	3927	21991	0
4	-495.14	11	0	0	-5447	0	0
5	10500	-30	0	2.5	-315000	0	26250
6	1178.1	-29.24	39.24	2.5	-34448	46229	2945
7	1178.1	-29.24	-39.24	2.5	-34448	-46229	2945
8	4500	-40	0	2.5	-180000	0	11250
9	4500	-50	0	2.5	-225000	0	11250
10	1500	-60	0	2.5	-90000	0	3750
11	1178.1	-59.24	9.24	2.5	-69791	10886	2945
12	1178.1	-59.24	-9.24	2.5	-69791	-10886	2945
Total	68646.46				-1016069.12	0	64281

Coordenadas del Centroide con los ejes en el centro de la pieza

$$X = X_m \cdot V / V = 14.8$$

$$Y = Y_m \cdot V / V = 0$$

$$Z = Z_m \cdot V / V = .936$$

Bibliografía

- Angulo, J.M.
Robótica Práctica
Editorial Paraninfo
España 1986
- Angulo, J.M. et al Avilés R.
Curso de Robótica
Editorial Paraninfo
España 1988
- Asada, H.
Robot Analysis and Control
Wiley & Sons Publishing Co.
U.S.A. 1986
- Asimov, I.
Los Robots
Editorial Roca
México 1986
- Ayres, R. et al Miller, G.
Robotics: Applications and social implications
Ballinger Publishing Company
U.S.A. 1983
- Beer F. P et al Johnston P
Mecánica Vectorial Para Ingenieros Dinámica
Ed. Mc Graw Hill
México 1984
- Beer F. P et al Johnston P
Mecánica Vectorial Para Ingenieros Estática
Ed. Mc Graw Hill
México 1984

- Castillo Hernández José
Tesis para obtener el título de
Ing. Mec. Electricista U.N.A.M.
México 1993
- Coiffet, Ph.
Robot Technology Volume 1 Modelling and control
Prentice Hall International Inc.
London 1983
- Coiffet, Ph. et al Chirouze, M.
Elementos de Robótica
Editorial Gustavo Gili
España 1986
- Deutschman A. D. et al Michels W. J.
Diseño de máquinas (teoría y práctica)
Ed. C.E.C.S.A.
México 1989
- Hibbeler R.C.
Engineering Mechanics Dynamics
John Wesley & Sons
U.S.A. 1992
- Hibbeler R.C.
Engineering Mechanics Statics
John Wesley & Sons
U.S.A. 1992
- Ogata, K.
Dinámica de Sistemas Físicos
Editorial Prentice Hall
México 1988
- Ogata, K.

Ingeniería de Control Moderna
Editorial Prentice Hall
México 1988

- Osborne, D.
Robots: Introduction to Basic Concepts and Applications.
Midwest Scitech
U. S. A. 1983
- Ranky, P.
Robot Modelling and Control
Editorial I. F. S.
Inglaterra 1985
- Rehg, J.
Introduction to Robotics, a system approach
Prentice Hall Publishing Co.
U.S.A. 1987
- Rivin,
Mechanical Design of Robots
Mc Graw Hill Co.
U. S. A. 1988
- Shigley J. E. et el Mischke Ch. R.
Diseño en Ingeniería Mecánica
Ed. Mc Graw Hill
México 1990