

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA**

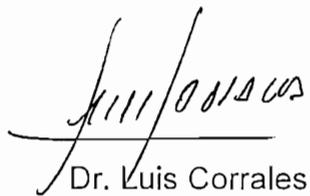
**CONTROL DESDE UN PC DE LA PINZA DE
UN BRAZO DE ROBOT**

ANA VERONICA RODAS BENALCAZAR

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO EN ELECTRONICA Y CONTROL**

QUITO, NOVIEMBRE DE 1999

Certifico que el presente trabajo ha sido
realizado en su totalidad por la Sra. Ana V.
Rodas Benalcázar

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Corrales', written over a horizontal line.

Dr. Luis Corrales

Director de Tesis

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre y mi hijo

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Luis Corrales por su paciencia
y acertada dirección

INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCION AL CONTROL DE LOS MANIPULADORES

1.1.	Antecedentes y justificación	1
1.2.	Evaluación de las alternativas para el control de un manipulador	4
1.2.1.	Anatomía de un manipulador	4
1.2.2.	Configuraciones de manipuladores comunes	5
1.2.3.	Ventajas y desventajas de estas configuraciones	7
1.2.4.	Movimientos del manipulador	8
1.2.5.	Volumen de trabajo	17
1.2.6.	Control del manipulador	18
1.2.7.	Tipos de control utilizados	20
1.3.	Alternativas para el control de los movimientos y del efector final	21
1.3.1.	Ventajas y desventajas de los distintos tipos de actuadores	23
1.3.2.	Efectores finales	25
1.3.2.1.	Tipos de efectores finales	27
1.3.2.2.	Interconexión del manipulador y el efector final	35
1.3.2.3.	Transmisión de potencia y señales hacia el efector final	36
1.3.2.4.	Consideraciones en la selección y diseño de pinzas	38
1.3.3.	Movimiento de las articulaciones del manipulador	40
1.4.	Análisis del problema	43
1.5.	Solución propuesta	44
1.5.1.	Estudio del manipulador a utilizarse	45
1.5.1.1.	Partes constitutivas	49
1.5.2.	Tipo de control utilizado	52
1.5.3.	Volumen de trabajo del manipulador	54
1.5.4.	Resumen del brazo manipulador utilizado	55
1.5.5.	Funcionamiento del brazo manipulador	56
1.5.6.	Forma de operación	57

CAPITULO 2 DISEÑO DEL HARDWARE PARA CONTROL DEL MANIPULADOR

2.1.	Requerimientos de hardware.	59
2.1.1.	Tarjeta DAS-128.	60
2.1.2.	Interfaz o módulo de control	61
2.2.	Acondicionamiento de los voltajes de salida del computador	62
2.2.1.	Generador de onda triangular	64
2.2.2.	Filtro pasabajos	65
2.2.3.	Acondicionamiento de voltajes para comparación	67
2.2.4.	Comparación de señales	69
2.2.5.	Etapa de salida	69
2.3.	Acondicionamiento de los voltajes de entrada al computador	72
2.3.1.	Puente de Weatsone	76
2.3.2.	Amplificador de instrumentación	77

2.3.3.	Amplificador no inversor	78
2.3.4.	Filtro pasivo	79
2.3.5.	Etapa de entrada al computador	80
2.4.	Asignación de direcciones	81
2.5.	Fuentes de poder	82

CAPITULO 3 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

3.1.	Requerimientos de software	83
3.1.1.	Lenguaje de programación	83
3.1.2.	Bibliotecas utilizadas	84
3.2.	Software de control	85
3.3.	Organización del programa	86
3.3.1.	Inicio	87
3.3.2.	Pantalla de menu	88
3.3.3.	Control por tamaño	89
3.3.4.	Control por peso	91
3.3.5.	Secuencia	92
3.3.6.	Animación	93
3.3.7.	Programación	93
3.3.8.	Acerca de	94
3.3.9.	Salir	95
3.4.	Algoritmos de control	95

CAPITULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1.	Prueba de la señal de salida del computador	99
4.2.1.	Señales de la interfaz	101
4.3.	Determinación del volumen de trabajo del manipulador	103
4.4.	Pruebas con el programa en Visual Basic	105
4.4.1.	Prueba de la opción: control manual	105
4.4.2.	Prueba de la opción: control automático por tamaño	106
4.4.3.	Prueba de la opción: control por peso	107
4.4.4.	Prueba de la opción: programación	108
4.4.5.	Prueba de la opción: pesar	109
4.4.6.	Prueba de la opción: animación	109
4.5.	Prueba del sensor de peso	110

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	112
5.2.	Recomendaciones	114

ANEXOS		115
---------------	--	------------

CAPITULO I

INTRODUCCION AL CONTROL DE LOS MANIPULADORES

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

El mundo actual, en su búsqueda por aumentar el rendimiento industrial y mercantil de sus inversiones, tiende cada día más a la automatización; producto de esta tendencia la maquinaria industrial y los artefactos del hogar se los diseña para que dependan cada vez menos del ser humano, aún a pesar del costo social que en muchos casos esto conlleva. Otro gran objetivo de esta tendencia a la automatización, este quizás más loable, es el de reemplazar al ser humano en tareas pesadas, rutinarias o, sobre todo, peligrosas. Se puede decir que la era de la robótica está aquí.

Un robot o manipulador es una máquina que imita en algún aspecto las funciones del ser humano en las acciones de moverse y manipular objetos. Para ello cuentan por lo regular con un "brazo" y una "mano", con los que realizan múltiples funciones a través de movimientos manuales o programados utilizados en una gran diversidad de tareas.

Debido a su gran relevancia, muchos equipos de trabajo, invirtiendo muchas horas hombre y dinero se encuentran investigando y probando alternativas que permitan llegar al objetivo ideal: un manipulador y pinza que efectivamente reemplacen al brazo y mano humanos. Otros planes incluso son más ambiciosos y buscan llegar al robot que reemplace al ser humano, al menos en términos de reemplazarlo en tareas donde el hombre no es más que parte de una planta o sistema industrial. Al final, es cierto que un robot es más eficiente y confiable en tareas pesadas y rutinarias donde el robot trabaja sin fatiga, sin equivocarse y, especialmente si aburrirse. Es también

importante su capacidad para trabajar en ambientes que resultarían perjudiciales para el ser humano.

Para ir a la par con esta tendencia, en el Laboratorio de Instrumentación de la Escuela Politécnica Nacional se está diseñando un modelo de robot, el cual al final deberá moverse y permitirá a su operador a mirar, tomar objetos y colocarlos en un lugar determinado.

Diseñar y construir un prototipo de estas características es muy extenso para una sola persona, por lo que el proyecto mencionado se ha dividido en varias secciones, para que de esta manera algunos estudiantes puedan investigar por separado y dar soluciones a las diferentes secciones del proyecto.

El presente trabajo centra su ámbito de acción en el control del movimiento de la pinza de un brazo manipulador con el fin de sujetar piezas de distinto tamaño, forma y textura. Permitirá además controlar el movimiento de las otras articulaciones del brazo, para llevarlo a posiciones determinadas en donde se encuentra el objeto a sostener.

Para cumplir con esta tarea, se desarrollará un software de soporte el que, por medio de una computadora tipo PC, permitirá a un operador controlar al manipulador y su pinza. Si se logra desarrollar este software, entonces se habrá dado un paso importante hacia el objetivo final de todo el proyecto: controlar remotamente por medio de una computadora un manipulador y su pinza que, montados en un pequeño vehículo, en el cual habrá un cámara de vídeo,

permitirán a un operador recoger muestras de objetos en ambientes donde la presencia del hombre corra algún tipo de riesgo o peligro.

El diseño, construcción y control remoto del vehículo, así como el diseño, construcción y control de la cámara son temas que serán enfrentados por separado en otros trabajos de tesis.

Para cumplir con estos objetivos, en este primer capítulo se trata sobre el estado de la tecnología en esta área, de tal manera que sirva como texto de consulta para trabajos posteriores. A partir de la teoría revisada, se analizan y evalúan las alternativas que pueden servir para resolver el problema y, al final se selecciona y justifica la alternativa que se empleó en este trabajo.

En el segundo capítulo, se dedica a la descripción de los pasos que se siguieron para el diseño del equipo de soporte de este sistema, haciendo énfasis en aquellos aspectos particulares al control de manipuladores.

En el capítulo tercero, se desarrolla el software de administración que se encarga, de una manera "amigable", del control del manipulador y su pinza. El lenguaje empleado es el Visual BASIC por la experiencia que se tiene con el mismo y por que se lo encontró apropiado para la tarea.

En el capítulo cuarto se diseñan y realizan varias pruebas para comprobar si los diseños realizados cumplen con las expectativas esperadas.

Finalmente, en el capítulo quinto se analizan los resultados para proceder a obtener las conclusiones y recomendaciones del presente tema de tesis.

1.2. EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE UN MANIPULADOR

La definición clásica de un robot es aquella que dice lo siguiente: "Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados variables para la ejecución de una diversidad de tareas". Pero qué es un manipulador?

1.2.1. ANATOMIA DE UN MANIPULADOR

Se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca. La mayoría de los robots utilizados en las fábricas actuales están montados sobre una base que está sujeta al suelo. El cuerpo del manipulador está unido a la base y el conjunto del brazo está unido al cuerpo. Al final del brazo está la muñeca. La muñeca está constituida por varios componentes que le permiten adoptar una diversidad de posiciones. Los movimientos relativos entre los diversos componentes del cuerpo, brazo y muñeca son proporcionados por una serie de articulaciones. Estos movimientos de las articulaciones suelen implicar deslizamientos o giros de las mismas.

Unida a la muñeca del manipulador va una mano. El nombre técnico aplicado a la mano es "efector final" y, generalmente, no se le considera parte de la

anatomía del robot. Esta definición tiene su sustento si se comprende que las articulaciones del cuerpo y del brazo del manipulador se emplean para situar al efector final en el sitio deseado, mientras que las articulaciones de la muñeca del manipulador se utilizan para orientar dicho efector final.

1.2.2. CONFIGURACIONES DE MANIPULADORES COMUNES

Los manipuladores industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. La gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tienen una de estas cuatro configuraciones físicas básicas: (Figura 1.1)

- Configuración polar.
- Configuración cilíndrica.
- Configuración de coordenadas cartesianas.
- Configuración de brazo articulado.

La configuración polar define un brazo telescópico que puede elevarse o bajar alrededor de un pivote horizontal, montado sobre una base giratoria, lo que permite mover el brazo dentro de un espacio esférico. Ejem: Unimate serie 2000.

La configuración cilíndrica se refiere a una columna vertical y un dispositivo de deslizamiento que puede moverse hacia arriba o abajo, a lo largo de la columna. El brazo del robot está unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial con respecto a la columna. Al girar la

columna, el robot es capaz de conseguir un espacio de trabajo que se aproxima a un cilindro.

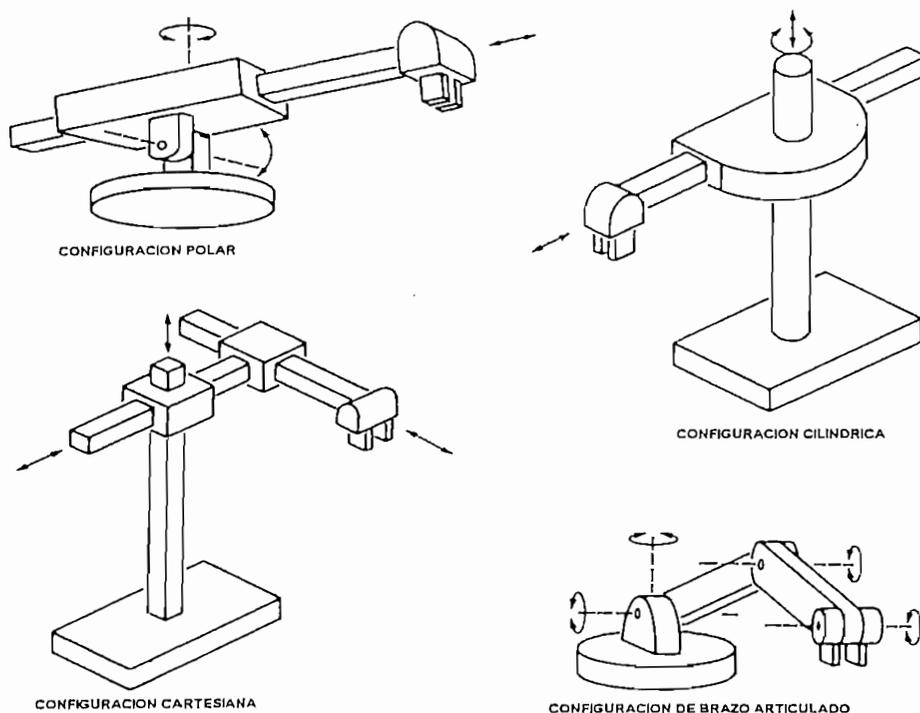


Figura 1.1. Configuraciones de manipuladores comunes

El robot de coordenadas cartesianas utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes X, Y y Z. Se le denomina también robot rectilíneo. Desplazando los tres dispositivos deslizantes entre sí, el robot es capaz de operar dentro de una envolvente rectangular de trabajo. Un ejemplo de este tipo de robot es el IBM RS-1.

Un robot de brazo articulado tiene una configuración similar a la del brazo humano. Está constituido por dos componentes rectos, que corresponden al antebrazo y al brazo humanos, montados sobre un pedestal vertical. Estos componentes están conectados por dos articulaciones giratorias que corresponden al hombro y al codo. Una muñeca está unida al extremo del antebrazo, con lo que se proporcionan varias articulaciones suplementarias. Ejem: SCARA.

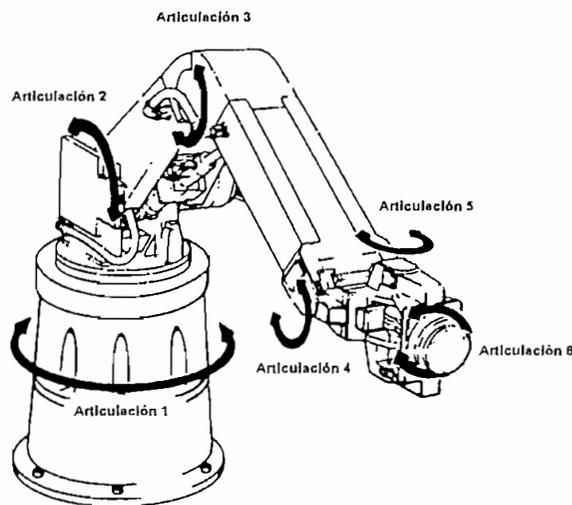


Figura 1.2. Manipulador de brazo articulado

1.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTAS CONFIGURACIONES.

En términos de alcance, una característica definida como la capacidad del robot para extender su brazo significativamente más allá de su base, las configuraciones polar y de brazo articulado resultan más ventajosas. La configuración cilíndrica y la del robot XYZ pueden aprovecharse para aplicaciones donde se requiere de una alta rigidez y gran capacidad de

transporte de carga. Las configuraciones polar y cilíndrica tienen en cambio una ventaja geométrica natural que les permite penetrar a través de una pequeña abertura sin interferir con los lados de la misma.

1.2.4. MOVIMIENTOS DEL MANIPULADOR

Los manipuladores industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo, generalmente repetitivo. El trabajo se realiza permitiendo que el robot desplace su cuerpo, brazo y muñeca mediante una serie de movimientos. Unido a la muñeca está el efector final que es utilizado para realizar una tarea específica. Los movimientos del robot pueden dividirse en dos categorías: movimientos de brazo y cuerpo, y movimientos de la muñeca. Los movimientos de las articulaciones individuales asociados con estas dos categorías se denomina "grado de libertad", y un robot industrial típico está dotado de cuatro a seis grados de libertad.

En robótica, el término "grados de libertad", es uno de los más importantes de comprender y se refiere a la posibilidad de realizar diferentes tipos de movimiento. En otras palabras, el número de grados de libertad es el número de ejes de movimiento independientes. Cada grado de libertad puede ser lineal o rotacional. A mayor cantidad de grados de libertad, se considera mejor la calidad o capacidad de un robot y dependiendo de la aplicación se requieren más o menos de ellos.

Las articulaciones utilizadas en el diseño de robots industriales suelen implicar un movimiento relativo de las uniones contiguas, movimiento que es lineal o

rotacional. Las articulaciones lineales implican un movimiento deslizante o de traslación de las uniones de conexión, y las giratorias obviamente uno de rotación.

Las articulaciones del brazo y del cuerpo están diseñadas para permitir al robot desplazar su efector final a una posición deseada dentro de los límites del tamaño del mismo y de los movimientos de las articulaciones. El movimiento de la muñeca está diseñado para permitir al robot orientar adecuadamente el efector final con respecto a la tarea a realizar.

Un problema básico en el estudio de los manipuladores de robot es determinar la posición y orientación del efector final, con dos propósitos:

- Determinar el área o volumen de trabajo del manipulador, a partir de ecuaciones que indican la posición en el espacio de cada una de las articulaciones.
- Controlar el movimiento del manipulador; es decir, generar trayectorias controladas para que el efector final siga un camino dado en su espacio de trabajo. El camino deseado debe ser convertido a un conjunto de movimientos de junta.

Para realizar control de movimiento se necesita hacer un estudio de la cinemática y dinámica del manipulador y determinar matemáticamente cual sería la mejor trayectoria para llegar a un punto deseado, lo que implica programación en base a representaciones diversas en el espacio y

transformaciones entre ellas. Estos tópicos están siendo desarrollados en otros trabajos de investigación.

En este trabajo se describirán las ecuaciones que rigen el movimiento de las diferentes partes del manipulador con el único objetivo de determinar el volumen de trabajo del manipulador, pues el movimiento de las articulaciones se lo hace en forma manual, excepto la apertura o cierre del gripper que es controlado de varias maneras.

REPRESENTACION EN EL PLANO X-Y

Para representar la posición del extremo del brazo se puede utilizar los tres ángulos de articulación (representación en espacio de articulación) θ_1 , θ_2 y θ_3 de la siguiente manera:

$$P_I = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$$

Otra forma de definir la posición del brazo es en espacio universal. Esto trae consigo la utilización de un sistema de coordenadas cartesianas que es externo al robot. El origen del sistema de ejes cartesianos se localiza con frecuencia en la base del robot. La posición del extremo del brazo se definiría como:

$$P_w = (x, y, z)$$

Para este efecto se marcarán las articulaciones con J_n donde n empieza en 0 en la base del manipulador y los enlaces con L_n , empezando por la base a la que se asigna 0 hasta el extremo libre del brazo, llamado enlace n .

En el caso de un manipulador común, similar al brazo humano, se tienen 3 enlaces: brazo, antebrazo y mano y 5 articulaciones a mover: base, hombro, codo, muñeca y dedos

Enlace L_1 : brazo

Enlace L_2 : antebrazo

Enlace L_3 : mano

θ_1 = ángulo de movimiento del brazo

θ_2 = ángulo de movimiento del antebrazo

θ_3 = ángulo de movimiento de la muñeca + dedos

θ_4 = ángulo de movimiento de la base

Articulación J_0 : base

Articulación J_1 : hombro

Articulación J_2 : codo

Articulación J_3 : muñeca

Articulación J_4 : dedos

La posición del extremo del brazo en el espacio universal definiendo un vector para el enlace 1, otro para el enlace 2 y otro para el enlace 3 (sin considerar el movimiento de la base) es la siguiente:

$$r_1 = [L_1 \cos \theta_1, L_1 \text{sen} \theta_1]$$

$$r_2 = [L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), L_2 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2)]$$

$$r_3 = [L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), L_3 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)]$$

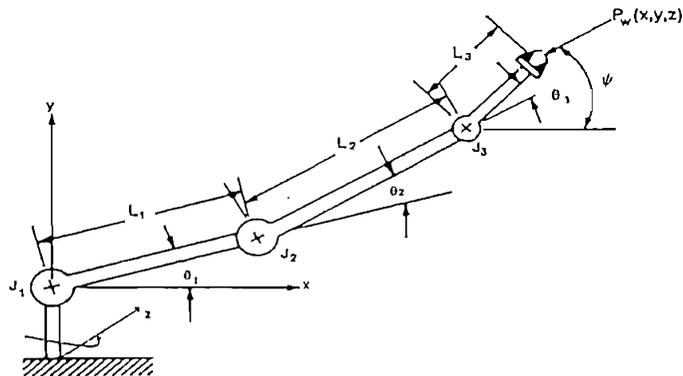


Figura 1.3. Articulaciones y enlaces

Estas ecuaciones proporciona las coordenadas x y y del extremo del brazo (punto P_w) en el espacio universal:

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$y = L_1 \text{sen} \theta_1 + L_2 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

En el eje z se tiene que las coordenadas del punto de trabajo en el espacio son:

$$z = (\cos \theta_4 \sqrt{x^2 + y^2}, \text{sen} \theta_4 \sqrt{x^2 + y^2})$$

REPRESENTACION CON TRANSFORMACION DE COORDENADAS

Si se utiliza la definición clásica para la orientación del extremo del brazo, tomando la transformación de coordenadas como parámetro, se empieza la numeración en la base a la cual se le coloca el número 0 y de allí un número adicional en cada una de las articulaciones: brazo, antebrazo y muñeca. Mediante esto se obtiene la posición del extremo de la muñeca con respecto a la base:

$${}^3_0T = {}^1_0T {}^2_1T {}^3_2T$$

donde:

3_0T es la transformada de la articulación 3 (en este caso la muñeca) con respecto a la base

1_0T es la transformada de la articulación 1 (el hombro) con respecto a la base

2_1T es la transformada de la articulación 2 (el antebrazo), con respecto a la articulación 1 (el hombro)

3_2T es la transformada de la articulación 3 (la muñeca), con respecto a la articulación 2 (el antebrazo)

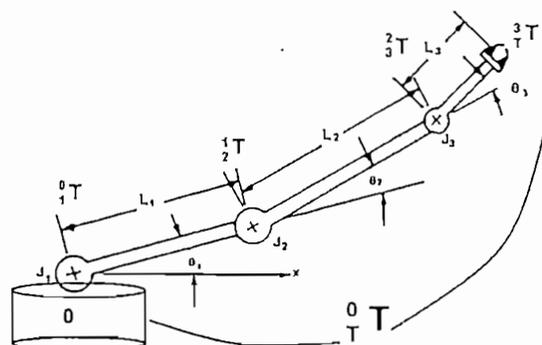


Figura 1.4. Transformación de coordenadas

Se trabaja con las siguientes definiciones:

a_{i-1} = Longitud de enlace: es la distancia entre los ejes o articulaciones. Se considera L_1 y L_2 pues se va a determinar la posición de la muñeca con respecto a la base.

α_{i-1} = Torsión de enlace: ángulo medido desde el eje I-1 en el sentido de la mano derecha alrededor de a_{i-1} . Únicamente la base tiene un ángulo de 90° pues está girando en el eje z.

d_i = Offset de enlace: distancia a lo largo de un eje común desde un enlace al próximo. En este caso como es movimiento rotacional de las juntas d_i es cero, a diferencia de una junta prismática en donde d_i es variable.

θ_i = ángulo de junta: ángulo rotado alrededor del eje común entre un enlace y el adyacente. Son los ángulos de rotación de cada una de las articulaciones y variables en el caso de juntas rotacionales.

Se tiene entonces la siguiente tabla:

α_{i-1}	A_{i-1}	d_i	θ_i
90°	0	0	θ_1
0	L_1	0	θ_2
0	L_2	0	θ_3

Siendo: L_1 la longitud del brazo
 L_2 la longitud del antebrazo
 L_3 la longitud de la muñeca
 θ_1 el ángulo del brazo con respecto a la base

θ_2 el ángulo del antebrazo con respecto a la prolongación de la línea del brazo

θ_3 el ángulo de la muñeca con respecto a la prolongación de la línea del antebrazo

Al calcular cada una de las matrices mediante la fórmula general de transformación que es la siguiente:

$${}^{i-1}_i T = \begin{vmatrix} \cos \theta_i & -\text{sen} \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \text{sen} \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\text{sen} \alpha_{i-1} & -\text{sen} \alpha_{i-1} d_i \\ \text{sen} \theta_i \text{sen} \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \text{sen} \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^0_1 T = \begin{vmatrix} \cos \theta_1 & -\text{sen} \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \text{sen} \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^2_1 T = \begin{vmatrix} \cos \theta_2 & -\text{sen} \theta_2 & 0 & L_1 \\ \text{sen} \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^3_0 T = \begin{pmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & L_2 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Se obtiene que:

$${}^0_3 T = \begin{pmatrix} C_{23}C_1 - S_1S_{23} & -C_1S_{23} - S_1C_{23} & 0 & L_2C_{12} + L_1C_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ C_{23}S_1 + C_1S_{23} & C_1C_{23} - S_1S_{23} & 0 & L_2S_{12} + L_1S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

donde:

$$s1 = \sin\theta_1$$

$$c1 = \cos\theta_1$$

$$c12 = \cos\theta_1 + \cos\theta_2$$

$$s12 = \sin\theta_1 + \sin\theta_2$$

$$c123 = \cos\theta_1 + \cos\theta_2 + \cos\theta_3$$

$$s123 = \sin\theta_1 + \sin\theta_2 + \sin\theta_3$$

Si lo que se desea conocer es la posición del extremo de la pinza o efector final con respecto a la base se debe realizar una última operación:

$${}^0_T T = {}^0_3 T {}^3_T T$$

conociendo la transformación ${}^3_T T$

$${}^3_{\tau}T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^0_{\tau}T = \begin{pmatrix} C_{123} & -S_{123} & 0 & L_3C_{123}+L_2C_{12}+L_1C_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S_{123} & C_{123} & 0 & L_3S_{123}+L_2S_{12}+L_1S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

1.2.5. VOLUMEN DE TRABAJO

El volumen de trabajo es el término que se refiere al espacio dentro del cual el robot puede manipular el extremo de su muñeca, y viene determinado por las siguientes características físicas del robot:

1. Configuración física del robot.
2. Tamaño de los componentes del cuerpo, brazo y muñeca.
3. Límites de los movimientos de las articulaciones del robot.

Así, un robot de coordenadas polares tiene un volumen de trabajo que es una esfera parcial, un robot de coordenadas cilíndricas tiene una envolvente de trabajo cilíndrica, un robot de coordenadas cartesianas tiene un espacio de

Sin embargo, existen manipuladores en los cuales no existe esta última opción, lo que hace que el robot pierda su capacidad sensorial, sin que ello implique que deje de ser útil para determinadas aplicaciones, bajando sustancialmente el costo del mismo y siendo por lo tanto bastante utilizados.

El manipulador constituye la parte mecánica del robot y está formado por los siguientes componentes:

- Varios elementos rígidos relacionados entre sí mediante uniones que permiten su movimiento relativo.
- Dispositivos de agarre o sujeción, conocidos como pinza, herramienta o, de modo general efector final.
- Sistemas de actuadores para controlar el movimiento de las articulaciones.

En cuanto al sistema de control, éste se encarga de controlar el movimiento de cada parte del manipulador. Existen diferentes técnicas de control: si solo se controla la posición y la velocidad de las articulaciones se denomina control cinemático, pero si además se toman en cuenta las fuerzas requeridas para causar los movimientos, es decir, los pares de torsión experimentados por las articulaciones producidas por la aceleración de los enlaces, así como las fuerzas experimentadas por los enlaces debidos a los pares de torsión aplicados por las articulaciones, se denomina control dinámico.

Los sistemas sensitivos son los que proveen de características humanas al manipulador. Permiten determinar la forma, textura, peso o características del

objeto a sostener y a partir de ello efectuar las acciones de control correspondientes.

1.2.7. TIPOS DE CONTROL UTILIZADOS

Los tipos de control usados para posicionar las partes del manipulador son: lazo abierto y lazo cerrado.

Un sistema de lazo cerrado mide y controla la posición y la velocidad del brazo en cada punto del ambiente de trabajo del mismo. Requiere de sistemas complejos y sofisticados de control pues lo que se trata es de lograr un funcionamiento similar al del ser humano, lo que significa ver, oír, tocar, sentir y de acuerdo a esto ejecutar una acción. Necesita realimentación de posición, velocidad y ubicación para determinar si la articulación se ha movido al sitio deseado en el tiempo esperado.

El sistema de control en lazo cerrado es usado en los robots más sofisticados, y es utilizado por el momento en trabajos de investigación encaminados al desarrollo de los mismos y en aplicaciones militares.

En un sistema en lazo abierto el actuador mueve cada parte del brazo a una posición exacta mientras reciba una señal. Es el sistema de más de la mitad de las aplicaciones de los robots comerciales en los Estados Unidos y cerca del 65% en los demás países. Sus ventajas son:

- Baja inversión inicial de hardware

- Sistema mecánico y electrónico menos sofisticado que en un sistema de lazo cerrado, por lo que requiere menor servicio y mantenimiento
- Tecnología de control bien estabilizada

El control en lazo abierto incluye mecanismos internos para estabilizar exactamente la posición y dispositivos externos para asegurar la secuencia requerida de movimientos.

En cuanto al mecanismo de la pinza cuya finalidad es convertir la potencia de entrada en el movimiento requerido y la fuerza para agarrar y sujetar un objeto, se desprende que pueden existir dos tipos de control, de la misma manera que para el movimiento de las articulaciones del hombro, codo y muñeca. Si se utiliza un control en lazo cerrado, la señal de realimentación es el peso del objeto y la fuerza que está ejerciendo la pinza sobre él; y, dependiendo de la señal de error se procede a ajustar más o menos. En el caso de utilizar un control en lazo abierto, se debe conocer el objeto a sostener (peso, textura, forma) para de esta manera efectuar el cierre de la pinza y agarrar con mayor o menor fuerza el objeto.

1.3. ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE LOS MOVIMIENTOS Y DEL EFECTOR FINAL

La capacidad de un robot para desplazar su cuerpo, brazo y muñeca está determinado por el sistema de impulsión o actuadores utilizados para accionar el robot. El sistema impulsor proporciona la fuerza motriz real para las

articulaciones del robot, determina la velocidad de los movimientos del brazo, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico.

Los tres tipos de actuadores usados son:

1. Actuadores hidráulicos
2. Actuadores eléctricos
3. Actuadores neumáticos

Los actuadores hidráulicos y eléctricos son los dos tipos utilizados principalmente en los robots más sofisticados.

La hidráulica está asociada con los robots más grandes. La ventaja de un sistema de impulsión hidráulica es proporcionar al robot una mayor fuerza y resistencia mecánica. Los inconvenientes de este sistema radican en que suelen añadir más necesidades de espacio y que hay propensión a fugas de aceite. Se los usa para actuar sobre articulaciones rotacionales y lineales, con paletas giratorias y pistones hidráulicos, respectivamente.

Los actuadores eléctricos no dan tanta fuerza o potencia como los hidráulicos pero su exactitud y su repetibilidad es mejor. En consecuencia, un robot eléctrico es más pequeño, con menos exigencia de espacio y sus aplicaciones tienden hacia un trabajo más preciso. Son accionados con motores paso a paso o servomotores de corriente continua. Se los usa con articulaciones rotacionales o lineales y proporcionan una excelente controlabilidad con un mínimo de mantenimiento.

Los actuadores neumáticos suele reservarse para los robots más pequeños que tienen menos grados de libertad. La potencia neumática puede adaptarse a dispositivos de pistón para proporcionar un movimiento de traslación de articulaciones deslizantes, o accionar actuadores giratorios para articulaciones rotacionales.

1.3.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE ACTUADORES.

ACTUADORES NEUMATICOS

VENTAJAS:

- Relativamente baratos.
- Gran velocidad.
- No contamina el ambiente con fluidos.
- Puede ser usado en trabajos de laboratorio.
- No requiere línea de retorno.
- Usa una fuente común en la industria.
- Usado en el diseño de grupos de robots modulares.

DESVENTAJAS:

- La compresibilidad del aire limita el control y aspectos de precisión.
- La polución del aire de escape.
- La fuga del aire puede ser de preocupación.

Requiere filtros adicionales.

Hay dificultades con el control de velocidad, levantamiento de cargas y de líneas de escape.

ACTUADORES HIDRAULICOS

VENTAJAS:

Gran capacidad de levantamiento.

Velocidades moderadas.

Como el aceite es incompresible, cuando se han posicionado las uniones puede haber un bloqueo de la estructura fija.

Se puede conseguir un muy buen control de servos.

Lubricación y enfriamiento propios.

La operación en condiciones estacionarias condiciones no presenta daños.

Respuesta rápida.

Intrínsecamente seguro en atmósferas inflamables o explosivas.

Operación suave a bajas velocidades.

DESVENTAJAS:

Sistema hidráulico caro.

Problemas de mantenimiento con los sellantes causan fugas

No aconsejable para ciclos de velocidad alta.

Necesitan línea de retorno.

Difícil de miniaturizar por la alta presión y velocidad de flujo.

Necesitan una fuente de poder remoto que usa espacio.

ACTUADORES ELECTRICOS

VENTAJAS:

Son rápidos y precisos.

Es posible aplicar técnicas de control sofisticadas para el movimiento.

Relativamente baratos.

Desarrollo de nuevos modelos muy rápidamente.

Los nuevos motores tienen grandes torques, peso reducido y rápida respuesta en el tiempo.

DESVENTAJAS:

El arco eléctrico debe ser considerado en atmósferas inflamables.

Problemas con sobrecalentamiento en determinadas condiciones.

Son necesarios frenos para asegurar la posición.

Por su gran velocidad y bajo torque se hace necesario el uso de engranajes para la transmisión de poder.

1.3.2. EFECTORES FINALES

Un efector final o "gripper" es un dispositivo que se une a la muñeca del brazo del manipulador para realizar una tarea específica. Algunas veces se hace referencia al mismo denominándolo "mano". La mayoría de las máquinas de producción requieren artefactos especiales y herramientas diseñadas para una operación particular. Un efector final es una parte de las herramientas de uso

reglas y condiciones ejerza el control y movimiento necesario y suficiente para completar con éxito la acción requerida.

Igualmente, el control del efector final conlleva el diseño de un sistema bastante sofisticado para coordinar las acciones de movimiento preciso para posicionarlo exactamente en el sitio adecuado y, luego, ejercer la presión necesaria para sostener sin dañar al objeto, de acuerdo a su forma, tamaño, peso y textura.

1.3.2.1. TIPOS DE EFECTORES FINALES

Existe una amplia gama de efectores finales necesarios para realizar una gran variedad de funciones de trabajo diferentes. Estos tipos se pueden dividir en dos categorías principales:

- Pinzas
- Herramientas

Pinzas

Las pinzas son efectores finales que se utilizan para agarrar y sostener objetos. Los objetos suelen ser piezas que tienen que ser movidas por el manipulador. En estas aplicaciones de manejo de los objetos se incluyen la carga y descarga de las máquinas, la recogida de objetos depositados en un transportador y la composición de objetos depositados sobre una plataforma. Además de los objetos de trabajo, entre los objetos manejados por las pinzas de robot se

incluyen cartones, botellas, materiales en bruto y herramientas. Se entiende a las pinzas como dispositivos de agarre mecánico, pero existen modos alternativos de sujeción de objetos que implican el uso de imanes, ventosas, etc.

Una pinza mecánica es un efector final que utiliza dedos mecánicos impulsados por un mecanismo para agarrar una pieza. Los dedos son los accesorios de la pinza que están en contacto con la pieza. Además, los dedos están unidos al mecanismo o son una parte integral del mismo.

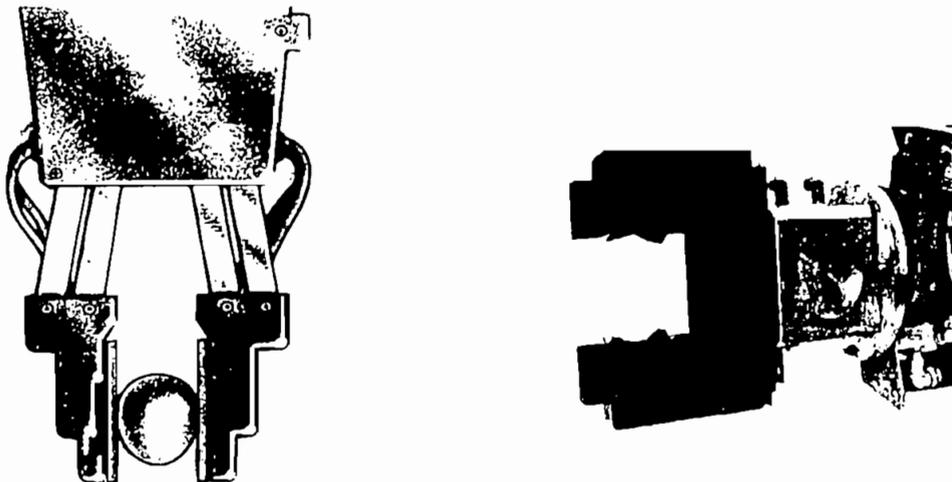


Figura 1.5. Tipos de pinzas

La función del mecanismo de la pinza es trasladar un objeto a partir de un suministro de energía que origina una acción de agarre de los dedos sobre la pieza. La energía de entrada es suministrada por el robot y puede ser neumática, eléctrica, mecánica y hidráulica. El mecanismo debe ser capaz de abrir y cerrar los dedos y de aplicar la fuerza suficiente contra la pieza para sostenerla de forma segura cuando se cierre la pinza.

La sujeción del objeto con la pinza implica la realización de 2 acciones: primero, se oprime la pieza con los dedos. En esta parte, los dedos de la pinza encierran a la pieza hasta alguna posición, evitando el deslizamiento de la misma. Segundo, aprovechar la fuerza de rozamiento entre los dedos y la pieza para retenerla en contra de la gravedad, sin tener que ejercer una presión extra para sujetarla. Los dedos o los cojinetes unidos a los dedos que hacen contacto con la pieza suelen ser fabricados de un material que es relativamente blando y rugoso. Este se encarga de aumentar el coeficiente de rozamiento entre la pieza y la superficie de contacto de los dedos. También sirve para proteger la superficie de la pieza de posibles arañazos u otros daños.

La sujeción de la pieza es la tarea más complicada que efectúa el brazo manipulador, puesto que necesita información de variables como: posición, forma, dimensiones, orientación y peso del objeto, y un detalle adicional muy importante: su fragilidad o dureza. El ejemplo típico para explicar este punto último es el problema de sujetar y levantar un huevo firmemente, para que no se resbale, pero sin romperlo. Note que si la pieza es bastante dura, el caso de un objeto de hierro por ejemplo, la aplicación de una presión mayor a la requerida no dañaría a la pieza.

Debido a que la característica más útil de los robots industriales de hoy día es que efectúen una serie de movimientos repetitivos, algunas veces complicados, en la mayoría de aplicaciones dos dedos son suficientes para sostener la pieza u objeto. Adicionalmente, el nivel de tecnología de sensores que se necesita actualmente en estas aplicaciones es relativamente bajo o no

existe, ya que el manipulador se limita a sostener piezas de ciertas características (siempre las mismas) y ubicarlas en un sitio (siempre el mismo).

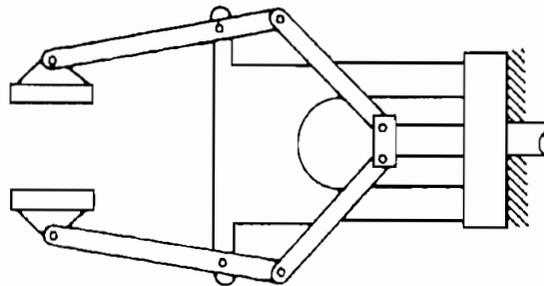


Figura 1.6. Pinza de dos dedos

Pero qué ocurre con aquellas aplicaciones donde la pinza no debe sujetar objetos repetitivos y, por el contrario, debe actuar como la mano de una persona en una situación real; esto, es adaptar tamaño de la apertura y fuerza de acuerdo al objeto que se desea levantar?

El trabajo de investigación en el diseño de la mano para este tipo de aplicaciones, en cambio, tiene tres dedos con dos o tres articulaciones por dedo, lo que significa un sistema de control capaz de manejar en el orden de nueve motores o actuadores al mismo tiempo, colocados en un volumen muy pequeño, junto a sistemas de sensores táctiles o de proximidad para detectar el objeto y luego la fuerza a aplicarse.

Si se logra conseguir una pinza universal, mediante el desarrollo de una mano articulada con atributos similares a los de la mano humana, esto es, cuatro

dedos articulados opuestos por un dedo gordo, se dará un gran paso en dirección de una versatilidad y utilidad práctica de los manipuladores de robot. Este objetivo no se halla muy lejos parece, según reportes que se pueden encontrar. Este es el principal objetivo de este trabajo contribuir en el estudio de un sistema que le permita a una pinza sensor la forma y peso de un objeto y, con base en estos datos, pueda determinar la apertura y cantidad de fuerza que puede aplicar la misma.

A continuación se hace un estudio para comunicar al lector todas las facetas y dificultades que hay que afrontar para llegar al ideal de la pinza similar a la mano humana y, de aquí, exponer las razones por las que este trabajo se desarrolló en la forma que se indica más adelante.

Clasificación de las pinzas

Existen varias formas de clasificación de las pinzas mecánicas y de sus mecanismos de actuación. Un método es realizar la clasificación de acuerdo al tipo de movimiento de los dedos empleados en la pinza. En esta clasificación las pinzas pueden impulsar la apertura y cierre de los dedos mediante uno de los movimientos siguientes:

- Movimiento de pivotaje
- Movimiento lineal o de traslación

En el movimiento de pivotaje los dedos giran en relación con los puntos fijos del pivote en la pinza para abrirla y cerrarla. El movimiento suele ser realizado por

algún tipo de mecanismo de unión. En el movimiento lineal, los dedos se abren y se cierran a través del movimiento paralelo a cada uno de los otros dedos. Esto se realiza por medio de carriles de guía de modo que la base de cada dedo se desliza a lo largo de un carril guía durante el movimiento. El movimiento de traslación del dedo se debe realizar también por medio de la unión que mantendrían los dedos en la dirección paralela a los otros durante la actuación.

Otra forma de clasificar a las pinzas es de acuerdo a los dispositivos de agarre que poseen. De este modo las pinzas se pueden clasificar en pinzas simples y dobles. Una pinza simple tiene un solo dispositivo de agarre en la muñeca del robot. Una pinza doble posee dos dispositivos de agarre unidos a la muñeca y se utilizan para sostener dos objetos distintos. Los dispositivos de dos pinzas suelen actuar de forma independiente. La pinza de terminales múltiples se aplica en los casos donde dos o más mecanismos de agarre se fijan a la muñeca.

Herramientas

Además de las pinzas mecánicas, hay una diversidad de otros dispositivos que pueden diseñarse para elevar y sujetar objetos. Entre estos otros tipos de pinzas o, llamados comúnmente, herramientas asociadas al manipulador están incluidos los siguientes:

- Ventosas
- Pinzas magnéticas

- Pinzas adhesivas
- Ganchos, cucharas y otros dispositivos diversos

Las ventosas, denominadas también casquetes de vacío, pueden utilizarse como dispositivos de pinza para manipular algunas clases de objetos. Los requisitos habituales exigidos a los objetos a manipular son: que sean planos, suaves y limpios; que son las condiciones necesarias para formar un vacío satisfactorio entre el objeto y la ventosa.

Las ventosas utilizadas en este tipo de pinzas de robot suelen ser de material elástico, tal como caucho o plástico, excepto si el objeto a manipular es blando en cuyo caso la ventosa sería de una sustancia dura. La forma de ventosa es normalmente redonda. Se requiere algún medio de extracción del aire entre la ventosa y la superficie de la pieza para crear el vacío, y esto se consigue con la bomba de vacío y el tubo Venturi.

Las pinzas magnéticas pueden ser un medio muy factible de manipular materiales ferrosos. Ofrecen las siguientes ventajas en aplicaciones de manipulación robótica:

- Los tiempos de captación son muy pequeños.
- Pueden tolerarse variaciones en el tamaño de la pieza. La pinza no tiene que diseñarse para una pieza de trabajo particular.
- Tienen capacidad para manipular piezas mecánicas con agujeros (lo que no es posible con las pinzas de vacío).
- Solo requieren una superficie para agarre.

Los inconvenientes de las pinzas magnéticas incluyen el magnetismo residual remanente en la pinza de trabajo, que puede producir anomalías en la manipulación posterior y el posible deslizamiento lateral y otros errores que limitan la precisión de este medio de manipulación. Otro inconveniente de la pinza magnética es el problema de captar solo una lámina a partir de una pila, lo que no impide que más de una lámina sea elevada por el imán.

En las pinzas adhesivas una sustancia adhesiva realiza la acción de agarre para manipular tejidos y otros materiales livianos. Los requisitos para los elementos a manipular son que deben agarrarse por un lado solamente y que no son adecuadas otras formas de agarre, tales como por vacío o con imanes. Una de las limitaciones potenciales de una pinza adhesiva es que la sustancia adhesiva pierde su pegajosidad con un empleo repetido. En consecuencia, la fiabilidad como dispositivo de agarre disminuye con cada ciclo de operación sucesivo.

Una diversidad de otros dispositivos puede utilizarse para agarrar piezas o materiales en las aplicaciones robóticas. Los ganchos pueden emplearse como efectores finales para manipular contenedores de piezas y para cargar y descargar piezas que cuelguen de transportadores aéreos. Evidentemente los elementos a manipular por un gancho deben tener alguna especie de asidero para permitir la acción del gancho.

Las cucharas y los calderos pueden utilizarse para manipular algunos materiales en forma de polvo o líquidos. Los productos químicos en forma de

polvo o líquido, materiales alimenticios, sustancias granulares y metales fundidos son ejemplos de materiales que pueden manipularse por un robot que utilice este medio de sujeción. Una de sus limitaciones es que la cantidad de material recogido por el robot es, a veces, difícil de controlar. El derrame durante el ciclo de manipulación es también un problema.

En muchas aplicaciones se exige al manipulador que manipule una herramienta específica en vez de una pieza de trabajo. En un número limitado de estas aplicaciones el efector final es una pinza que está diseñada para agarrar y manipular la herramienta. El motivo para utilizar una pinza en estas aplicaciones es que puede existir más de una herramienta a utilizar por el robot en el ciclo de trabajo. El empleo de una pinza permite que las herramientas se intercambien durante el ciclo y así se facilita esta función de manipulación multiherramienta.

1.3.2.2. INTERCONEXION DEL MANIPULADOR Y EL EFECTOR FINAL

Un aspecto importante de la ingeniería de aplicaciones de los efectores finales implica la interconexión del efector final con el manipulador. Esta interconexión debe realizar al menos algunas de las funciones siguientes:

- Debe proporcionarse un soporte físico del efector final durante el ciclo de trabajo.
- La energía para la actuación del efector final debe suministrarse a través de la interconexión.
- Se deben proporcionar señales de control para la actuación del efector final. Esto se suele realizar controlando la energía de actuación.

- A veces, señales de realimentación deben transmitirse a través de la interconexión al controlador del manipulador.

Además, deben cumplirse algunos otros objetivos de diseño general. Estos últimos incluyen la alta fiabilidad de la interfaz de conexión, protección contra el entorno y protección contra las sobrecargas en caso de perturbaciones y fenómenos imprevistos durante el ciclo de trabajo, lo que hace que se complique la fase de diseño.

Inicialmente esta interconexión era muy simple: dos dedos unidos a la muñeca sin enlaces intermedios, que no proporcionaban estabilidad al efector final. Al irse desarrollando la técnica se sustituyó por una especie de armazón de la cual partían los dedos y por donde pasaban los alambres que proporcionaban las señales para la actuación del gripper.

En conclusión, lo ideal sería desarrollar una mano con dedos de varias articulaciones unidas a una muñeca, que proporcione el soporte suficiente para sujetar el objeto y lo ayude a sostener; es decir, simular la mano humana.

1.3.2.3. TRANSMISIÓN DE POTENCIA Y SEÑALES HACIA EL EFECTOR FINAL

Los efectores finales necesitan energía para operar. También requieren señales de control para regular su funcionamiento. Los métodos principales de transmisión de potencia y señales de control al efector final son:

- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos
- Mecánicos

La energía neumática, que utiliza la presión de aire de taller, es uno de los métodos más frecuentes para el accionamiento de las pinzas mecánicas. La actuación de la pinza se controla regulando la presión de aire entrante. Un dispositivo de pistón se suele emplear para la actuación sobre la pinza.

Otro método de transmisión de energía al efector final es eléctrico. La actuación neumática de la pinza suele estar limitada a dos posiciones: apertura y cierre. El empleo de un motor eléctrico puede permitir al diseñador ejercer un mayor grado de control sobre la actuación de la pinza y de la fuerza de sujeción aplicada. En lugar de tener simplemente dos posiciones, la pinza puede controlarse para cualquier número de posiciones parcialmente cerradas. Estas características permiten que la pinza se utilice para manipular una diversidad de objetos de diferentes tamaños, que es un requisito probable en operaciones de montaje. Incorporando sensores de fuerza en los dedos de la pinza se puede incorporar un sistema de realimentación para regular la fuerza de sujeción aplicada con los dedos en lugar de su posición. Esto sería de utilidad, por ejemplo, si los objetos que se agarran son delicados o si varían de tamaño y se desconocen las posiciones adecuadas de los dedos para el agarre.

La transmisión de potencia hidráulica y mecánica es de menor frecuencia para la actuación del efector final. La actuación hidráulica de la pinza tiene el

potencial para proporcionar fuerzas de sujeción muy altas, pero su inconveniente es el riesgo de fugas de aceite. La transmisión de potencia mecánica implicaría una disposición en la que un motor está montado en el brazo del robot y mecánicamente conectado a la pinza.

1.3.2.4. CONSIDERACIONES EN LA SELECCION Y DISEÑO DE PINZAS

FACTOR	CONSIDERACION
Pieza a manipular	Peso y tamaño.
	Forma.
	Cambios en la forma durante el procesamiento.
	Tolerancia en el tamaño de la pieza.
	Condición superficial, protección de superficies delicadas.
Método de actuación	Agarre mecánico.
	Ventosa de vacío.
	Imán.
	Otros métodos (adhesivos, cucharas, etc.).
Transmisión de potencia y señales	Neumática.
	Eléctrica.
	Hidráulica.
	Mecánica.
Fuerza de la pinza (pinza mecánica)	Peso del objeto.
	Método de sujeción.

	<p>Coefficiente de rozamiento entre dedos y objeto.</p> <p>Velocidad y aceleración durante el ciclo de movimiento.</p>
Problemas de posicionamiento	<p>Longitud de los dedos.</p> <p>Exactitud inherente y repetibilidad del robot.</p> <p>Tolerancia en el tamaño de la pinza.</p>
Condiciones de servicio	<p>Número de actuaciones durante la vida útil de la pinza.</p> <p>Posibilidad de sustitución de piezas desgastadas.</p> <p>Mantenimiento y posibilidad de servicio.</p>
Entorno operativo	<p>Calor y temperatura.</p> <p>Humedad, condensación, suciedad.</p>
Protección contra la temperatura	<p>Protectores térmicos.</p> <p>Dedos largos.</p> <p>Enfriamiento forzado.</p> <p>Empleo de materiales termoresistentes.</p>
Materiales de fabricación	<p>Resistencia mecánica, durabilidad.</p> <p>Rigidez.</p> <p>Resistencia a la fatiga.</p> <p>Coste y facilidad de fabricación.</p> <p>Propiedades de fricción para superficies de dedos.</p> <p>Compatibilidad con el entorno operativo.</p>

Otras consideraciones

Empleo de dedos intercambiables.

Normas de diseño.

Conexiones de montaje e interconexión.

Riesgo de cambios en el diseño del producto.

Tiempo muerto para diseño y fabricación.

Piezas de repuesto, mantenimiento y servicio.

Prueba de la pinza en producción.

1.3.3. MOVIMIENTO DE LAS ARTICULACIONES DEL MANIPULADOR

Inicialmente, el movimiento de las partes de un robot lo ejecutaban engranajes mecánicos, luego se los reemplazaron por motores de DC. Sin embargo los resultados no eran los deseados ya que no era fácil hacer la realimentación y cuando se movía un eje los otros eran afectados; por ejemplo, al mover la muñeca se producía la abierta o cerrada de la mano. La precisión del control era virtualmente imposible. Luego se empezó a usar motores de pasos y engranajes reductores, pero era muy caro, complicado y lento hasta que aparecieron los servomotores.

Un servomotor es un tipo especial de motor que solamente gira una porción de la circunferencia, generalmente entre 90° y 180°. Existen servomotores pequeños, como los empleados en los aeromodelos o aviones a escala y en los autos de juguete controlados a control remoto (R/C), y los profesionales, empleados en todo tipo de control de movimientos en máquinas de control

numérico, robots industriales, etc. Debido a la facilidad para controlar el ángulo de giro y a su relativo bajo costo, los primeros también son muy empleados en robótica experimental o aficionada.

Un servomotor R/C contiene en su interior un motor de CC, una caja de engranajes o reducción, un potenciómetro y un circuito electrónico para controlar el giro del motor. En la salida solo tiene tres cables de conexión: el voltaje positivo o de alimentación (generalmente cable de color rojo), el voltaje de control (blanco o amarillo) y la tierra (negro). Los servomotores utilizan el principio básico de control en lazo cerrado o realimentado. Por medio del potenciómetro, que está unido al eje del motor, se detecta la posición del eje la cual se toma como un "error" si no está en la posición definida como fija, generalmente en el centro y en la cual no gira.

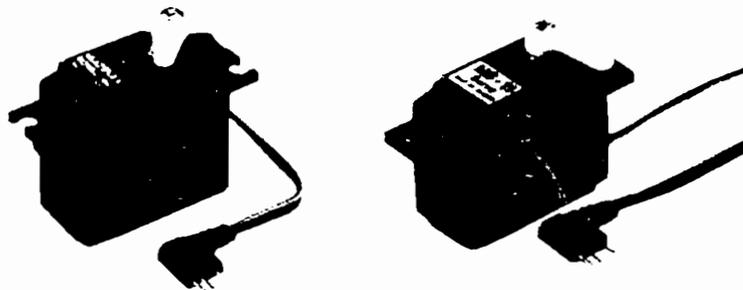


Figura 1.7. Servomotores R/C

En otras palabras, el servo responde a la diferencia entre la posición actual y la deseada, conocida como señal de error, con el movimiento necesario para eliminarla. Su en este proceso se pasa de su destino final, se genera entonces una nueva señal de error y el servo corrige nuevamente su posición, tantas

veces cuantas sea necesario hasta llegar al punto exacto. Esto produce una oscilación continua y para evitarlo se define una zona muerta que es el rango tolerable de desviación de la posición deseada aceptable en donde el servo no se mueve. De hecho, se permite una variación del ancho de pulso de 4 us. que representaría el ruido que se puede introducir a la señal.

La cantidad de voltaje o energía que se suministra al servomotor depende del ángulo de giro que se quiera lograr. Esto se hace por medio de pulsos de ancho variable, entre 1 y 2 ms con una frecuencia entre 10 y 30 ms. El motor trabaja comparando el ancho de los pulsos que recibe con un patrón o muestra generado por el circuito interno y la diferencia se toma como el "error". Dependiendo del tamaño de este error el motor gira en una u otra dirección hasta que el error desaparezca, momento en el cual se detiene. Si cambia la señal de control, el motor vuelve a girar según esta señal.

Para controlar el movimiento del servo, se debe llevar o hacer girar hasta cierto ángulo, medido desde 0°, enviándole una serie de pulsos. El tiempo ON de los pulsos da ese ángulo de giro. Con 1 ms. gira a la izquierda 45° y con 2 ms. gira a la derecha 45°, teniendo una duración de 1.5 ms. para la posición central. Estos límites entre 1 y 2 ms. son los que recomiendan los fabricantes aunque se pueden utilizar otros rangos para un mayor giro. Sin embargo, los servomotores tienen topes mecánicos que no permiten ir más allá de su rango permitido según el modelo y la marca. Cuando se escucha un zumbido en un servomotor se sabe que ha llegado a uno de los topes y se debe corregir la posición.

El tiempo de apagado OFF de los pulsos no es muy crítico y debe estar por el orden de los 20 ms. En la práctica se han utilizado valores entre 10 y 30 ms. sin problema. Si se suspende el suministro de pulsos por un tiempo mayor a 50 ms. éste se apagará dejando de aplicar su acción.

1.4. ANALISIS DEL PROBLEMA

El problema propuesto es utilizar y controlar un brazo manipulador de tal manera que simule las funciones que realiza el brazo humano, esto es, determinar el objeto a sostener y de acuerdo a un estudio del mismo ejercer la presión adecuada para agarrarlo sin dañarlo y poder cambiarlo de lugar. Una rutina que los seres humanos realizan a cada momento y cuyo control es hecho por el cerebro de una manera tan natural que pasa desapercibida a nuestros sentidos, pero que en el momento de realizarla por algo o alguien que no sea un ser humano, resulta ser bastante compleja.

En el proceso de levantamiento y posterior movimiento de una pieza intervienen una serie de factores como son: determinación de las características del objeto: peso, color, forma, dimensiones, textura; aplicación de una fuerza de acuerdo a estos parámetros; determinación del sitio al cual se debe llevar el objeto y cálculo de la mejor trayectoria para realizarlo.

En esta tesis se realizará la sujeción del objeto y el cambio de lugar. Para ello se desarrollará un programa computacional que simule al cerebro con el que se darán las órdenes de movimiento a las diferentes articulaciones del

manipulador. La determinación de la trayectoria óptima de movimiento y la visión del mismo corresponde a otros trabajos de investigación.

1.5.SOLUCION PROPUESTA

Para solucionar el problema propuesto se optó por buscar un manipulador de brazo articulado, con articulaciones del hombro, codo, muñeca y dos dedos para sostener la pieza objeto del experimento. Los movimientos serían ejecutados bajo el control de una computadora personal. En el problema hay que suponer que el programa sabe de la ubicación y dimensiones del objeto (en otro trabajo se proveerá de visión a este sistema, para que tal suposición deje de serlo).

El problema primordial de este trabajo es el de ejercer una presión con los dedos de la pinza de acuerdo a las características del objeto, de las cuales la más importante es su relativa dureza o fragilidad. Es fácil imaginar que un sistema así debe ser capaz de sensar el peso del objeto y de allí calcular la presión que se deberá ejercer sobre el mismo. También es fácil imaginar que sensores de presión o fuerza, pueden cumplir con este objetivo. El problema está en que se necesita una estructura grande y adecuada para poder colocarlos, lo que implica "dedos" de mayor tamaño en la pinza. Con estos objetivos iniciales se procedió a tratar de conseguir el manipulador y pinza que pueda cumplir con estas tareas.

1.5.1. ESTUDIO DEL MANIPULADOR A UTILIZARSE

Existen muchos tipos de manipuladores comerciales para diferentes aplicaciones. Tomando en consideración su fuerza estructural, casi siempre asociada a su costo relativo, se los puede clasificar como sigue:

Los utilizados en industrias para desarrollo de trabajos específicos mediante programación. Su trabajo se centra básicamente en manipular piezas u objetos para llevarlos de un lado a otro, colocarlos en líneas de montaje, realizar el montaje de una pieza determinada o colocarlos y hacer el embalaje del producto. Si se cambia el producto o alguna parte de la línea de montaje, el manipulador debe ser reprogramado para cambiar el tipo de acción a ejecutar; es decir, los manipuladores, en su mayoría, son usados para realizar tareas repetitivas mediante programación de la secuencia de operaciones a ejecutarse. Este tipo de robot tiene costos altos por cuanto deben ser de contextura fuerte, fácil programación y apto para trabajo en ambientes difíciles.

Los manipuladores usados en investigación y desarrollo de los mismos. Su costo es menor y con ellos se puede experimentar diversas acciones como son sistemas realimentados en los que a partir de la visión y el tacto se toman acciones de control para simular al comportamiento del ser humano.

Finalmente existen los manipuladores para aficionados con un costo relativamente bajo, con los que se puede realizar casi todas las acciones que hacen los anteriores, pero con la diferencia de que su contextura no es

robusta, son de tamaño pequeño y por lo tanto usan sistemas de impulsión de baja potencia, lo que los hacen ideales para realizar pequeños experimentos y desarrollo de sistemas de control y programación

Tomando en consideración el objetivo final de este proyecto se buscó un manipulador que tuviese una contextura, y grados de movimiento parecidos a los que realiza el brazo humano. Para la pinza, considerando que la mano artificial todavía es una aspiración algo lejana, y seguramente muy cara, se pensó en un efector final con 2 dedos.

Se hicieron las averiguaciones del caso y principalmente, por el alto costo, se tuvo que optar por un modelo para aficionados. Se pensó también en una solución casera y se hizo contactos en Ingeniería Mecánica, pero, no se tuvo la respuesta que se esperaba.

El manipulador que se utilizó en el presente trabajo es el Lynxmotion Robot Arm. Es un sistema de bajo costo usado para aplicaciones de aficionados. Consiste en un sistema similar al brazo humano, con articulaciones correspondientes a hombro, codo, muñeca y dedos, que da la posibilidad de cuatro grados de movimiento: rotación de la base, hombro, codo, muñeca, además de la apertura o cierre de la pinza.

Los movimientos de las articulaciones se efectúan mediante motores SSC (Mini Serial Servo Controller) Hitec HS-300 Standard Servos colocado en cada una de ellas, excepto en la de la unión del hombro, en donde se encuentran dos servos para asegurar que el brazo tenga la fuerza que sea

solucionar en algo este gran problema que pasa desapercibido para el ser humano.

Para solucionar económicamente este problema y de allí proceder a desarrollar el programa medular de este trabajo, se pensó en el uso de una balanza que pesa el objeto a sostener y envía la información del mismo a la computadora. El programa entonces se encargaría de calcular la presión que necesitarían los dedos de la pinza para sujetar el objeto deseado sin dañarlo. Una vez desarrollado el programa, solo será cuestión de reemplazar la balanza (y la información electrónica entregada por la misma) por sensores colocados en los dedos, cuando se llegue a un nivel tecnológico que permita hacer esto una realidad física y económicamente más viable.

En resumen, la balanza pesará el objeto a manipularse, entregará este dato a la computadora, la misma que se encargará de calcular y consecuentemente controlar la apertura o cierre de los dedos de la pinza. Previamente, el operador deberá guiar al manipulador hasta ubicarlo en la posición correcta.

Jim Frye, creador del Lynxmotion, diseñó el brazo manipulador para ser controlado por computadora, lo que desde este punto de vista era una ventaja, además de su costo comparado con otros manipuladores que realizan las mismas funciones.

Algunos de los usos del Lynxmotion Robot Arm incluyen: aplicaciones en proyectos de educación, hobby, ciencia, programación y experimentación con

inteligencia artificial, etc. Existe una página Web con información referente al modelo y sus posibles aplicaciones, en la siguiente dirección de Internet:

<http://www.Lynxmotion.com/kits.html>

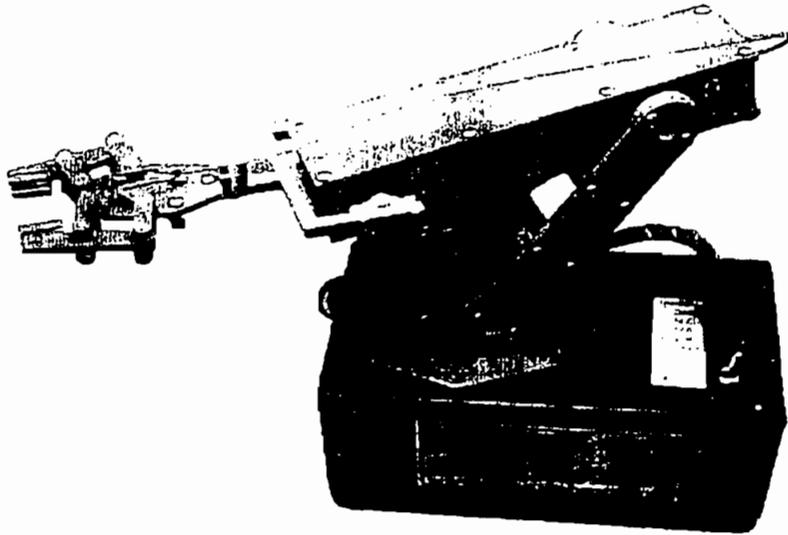


Figura 1.8. Lynxmotion Robot Arm

1.5.1.1. PARTES CONSTITUTIVAS

BASE

Es sobre la que se coloca la estructura del manipulador, posee una estructura giratoria para permitir un movimiento de rotación hacia la izquierda o derecha de todo el mecanismo del manipulador. La base rota 120° en cualquier sentido, mediante un servomotor colocado dentro de la caja.

Sus dimensiones son las siguientes:

Largo = 18 cm.

Ancho = 11 cm.

Altura = 7 cm.

BRAZO

Tiene una longitud de 11.5 cm y la articulación del hombro permite un movimiento rotacional de 105° , debido a limitaciones por la forma del mismo, controlado por dos servomotores colocados en la estructura giratoria de la base, desde donde parte el brazo

ANTEBRAZO

Va unido mediante la articulación del codo al brazo. Su longitud es de 11 cm y la articulación del codo se mueve un ángulo de 90° hacia arriba o abajo con un movimiento de rotación.

MUÑECA

Permite subir o bajar la mano un ángulo de 135° para orientar los dedos del manipulador. Unida a ella va una mano de 4 cm de donde salen los dedos o efectores finales

EFECTOR FINAL

Tiene una pinza con dos dedos de 4 cm de longitud y 2 articulaciones, cuyo movimiento es de pivotaje por cuanto se sostienen en un punto común. La distancia máxima de apertura es de 3.5 cm y la mínima de 0 cm. Posee en cada dedo una esponjilla para ejercer mayor fricción entre el dedo y el objeto a sostener, con el fin de disminuir la fuerza aplicada.

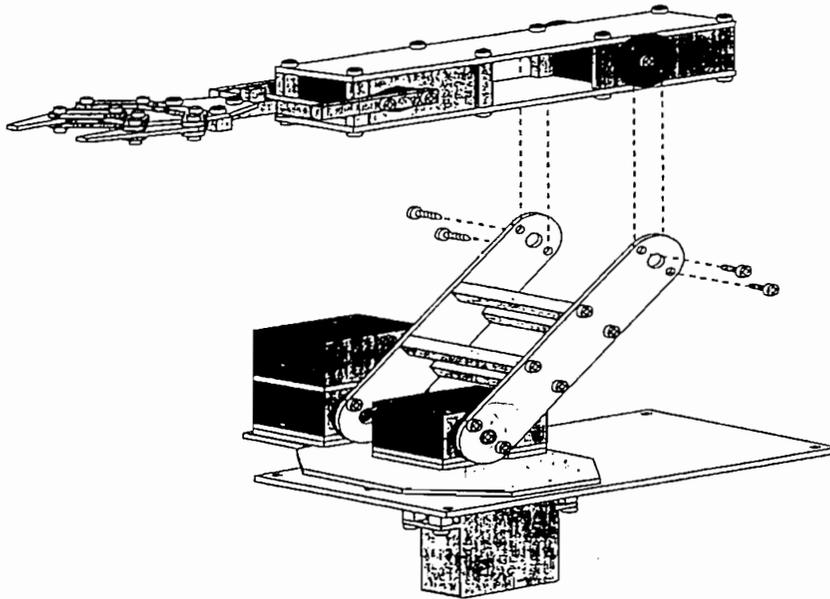


Figura 1.11. Ensamble del Lynxmotion

1.5.2. TIPO DE CONTROL UTILIZADO

En el caso del robot del presente trabajo se optó por un control en lazo abierto debido a que, como ya se mencionó, la pinza no dispone de sensores de presión, por lo que su función será la de sostener objetos con la presión necesaria y suficiente para que no se resbalen y cambiarlos de lugar. De acuerdo a esto, lo que hará será sostener el cuerpo de acuerdo a su peso o dimensiones. Para ello utiliza servomotores R/C con control de lazo cerrado interno con el fin de realizar el movimiento de sus articulaciones.

Los servos utilizados para el control de los movimientos son del tipo R/C. Son de bajo precio, y como el manipulador es pequeño y de poco peso, no requiere un torque muy alto para mover las articulaciones. Su voltaje de alimentación en promedio es 5 voltios, con lo cual el torque es de 49 onzas/pulgada. Al aumentar o disminuir el voltaje el torque se incrementa o decrementa en 68%. La velocidad de movimiento de los servomotores es de 90° en 12 segundos.

Los servomotores están colocados en las articulaciones del manipulador de la siguiente forma:

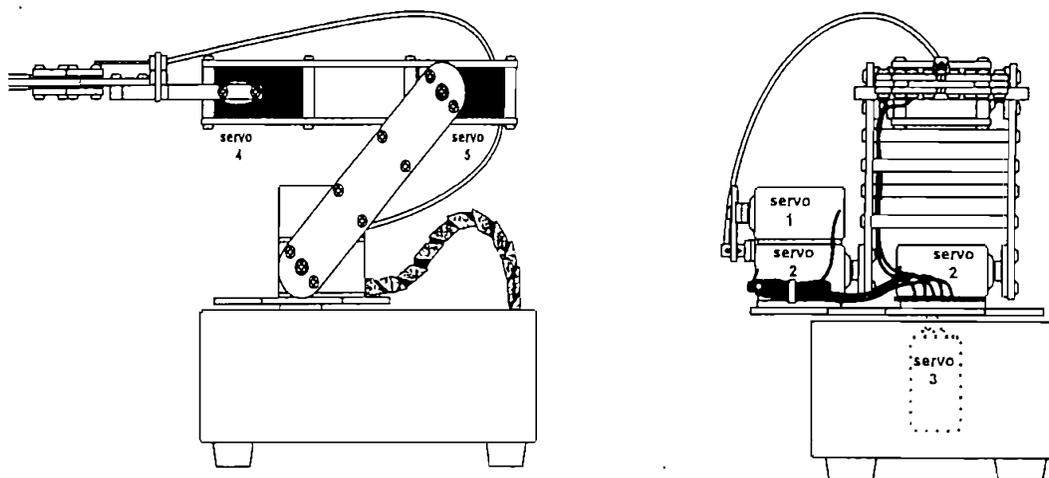


Figura 1.12. Ubicación de los servomotores

Trabajarán con una señal de 30 ms. y un pulso que con un ancho de 1 ms. se mueve a la izquierda, con 1.5 ms. está en el centro y con valores entre 1.5 ms. y 2 ms. se mueve a la derecha.

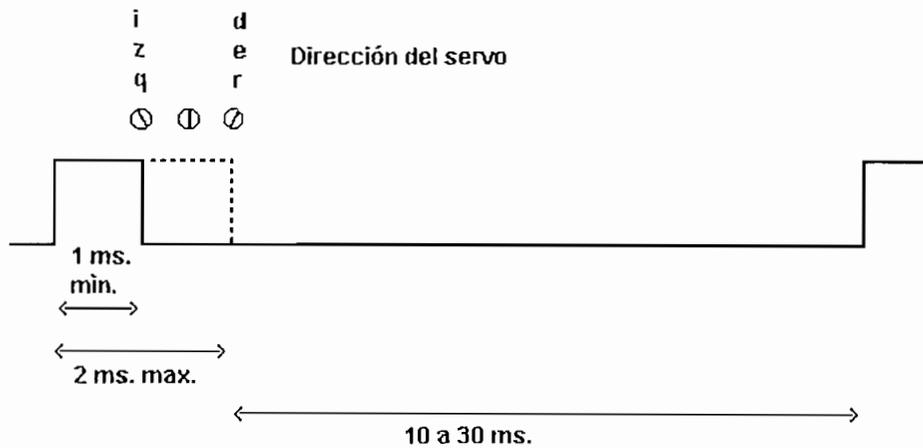


Figura 1.13. Señales de control

1.5.3. VOLUMEN DE TRABAJO DEL MANIPULADOR

Considerando la variación desde 0 hasta el valor máximo de los ángulos de movimiento de las articulaciones del manipulador se puede determinar el volumen de trabajo mediante cualquiera de las ecuaciones que representan la posición del efector final en un punto de trabajo.

Las fórmulas pueden ser introducidas en un programa computacional, como Excel o Matlab y se visualizan de la siguiente manera:

Como se puede ver el movimiento del manipulador es una semiesfera, tanto en el eje XY como en el eje Z, con valores límites de 24 cm. en el eje X, 36 en el eje Y (considerando la altura de la base) y 90° de movimiento en el eje Z), por lo que su volumen de trabajo es semiesférico

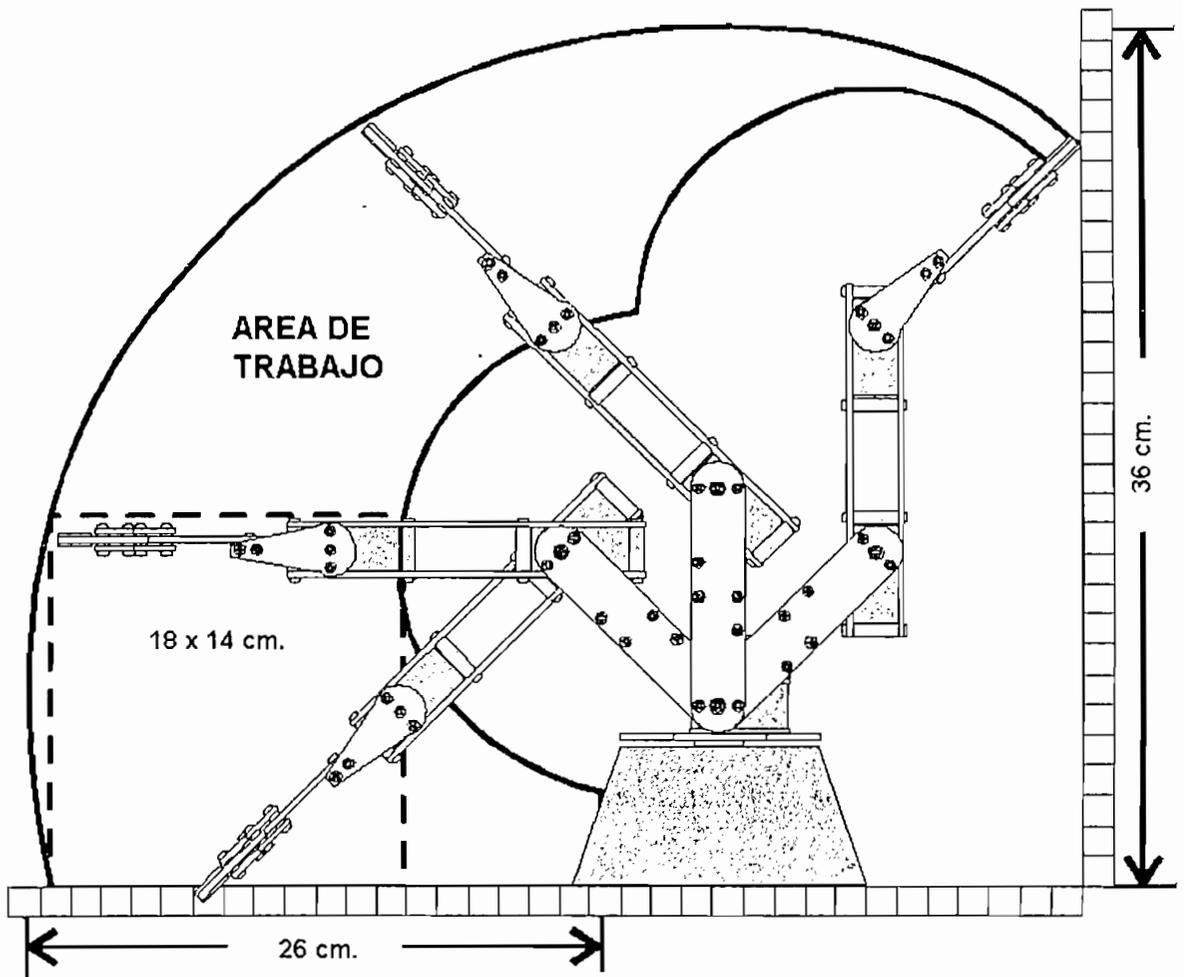


Figura 1.14. Volumen de trabajo del manipulador

1.5.4. RESUMEN DEL BRAZO MANIPULADOR UTILIZADO

Las características generales del brazo manipulador a utilizarse son las siguientes:

CONFIGURACION:	DE BRAZO ARTICULADO
GRADOS DE LIBERTAD:	CUATRO (sin incluir el movimiento de la pinza)
VOLUMEN DE TRABAJO:	SEMIESFERICO
IMPULSORES:	ELECTRICOS
ACTUADOR:	SERVOMOTOR R/C
MECANISMO DE ACTUACION DE LA PINZA:	DE PIVOTAJE
MOVIMIENTO DE LA ARTICULACION:	BASE: ROTACIONAL HOMBRO: ROTACIONAL CODO: ROTACIONAL MUÑECA: ROTACIONAL
TIPO DE CONTROL:	LAZO ABIERTO
CONTROL DEL MOVIMIENTO (servos)	LAZO CERRADO (local)
APERTURA DE LA PINZA:	3 cm. Máximo 0 cm. mínimo
RANGO DE MOVIMIENTO POR ARTICULACION	Variable entre 90° y 180°
TORQUE DE LOS SERVOMOTORES:	49 onzas/pulgada con 5V.
VELOCIDAD DE LOS SERVOMOTORES:	90° en 0.24 segundos

1.5.5. FUNCIONAMIENTO DEL BRAZO MANIPULADOR

El brazo mecánico o manipulador sujetará y moverá cuerpos con la presión necesaria y suficiente en función del peso y naturaleza de las superficies de contacto. El peso del objeto a sujetarse deberá ser de un valor constante dentro del rango comprendido entre los valores máximo y mínimo de peso que pueda sostener el manipulador; es decir, el cuerpo objeto de la experiencia no

objeto esté al alcance de la mano y se procede a sostenerlo en forma manual o automática o escogiendo el mismo en la pantalla.

CAPITULO 2

DISEÑO DEL HARDWARE PARA CONTROL DEL MANIPULADOR

2.1. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.

Quedó definido que se utilizaría una computadora para controlar el movimiento de las articulaciones del brazo manipulador. Este efectuaría el control de los servomotores y sensaría el peso del objeto a sostener.

Con el fin de lograr este objetivo se necesita una interfaz entre el brazo de robot y el computador: una tarjeta que contendrá los circuitos necesarios para el acondicionamiento de las señales provenientes de la balanza y para aquellas que a su vez controlarán todos y cada uno de los servomotores de las articulaciones. El medio de entrada/salida de estas señales al/desde la computadora puede ser: el pórtico serial, el pórtico paralelo o una tarjeta de adquisición de datos.

Para este proyecto se optó por emplear la tarjeta de adquisición de datos denominada DAS-128 instalada dentro de la computadora. Se utilizó esta tarjeta por 2 razones importantes: la primera, porque ofrece una mejor velocidad de transferencia de datos y, la segunda, porque existe en el Laboratorio de Instrumentación y, puesto que da buenos resultados tanto para medición como para control de ciertas variables industriales, se pensó probarla en esta nueva tarea. El diagrama de bloques del sistema utilizado es el siguiente:

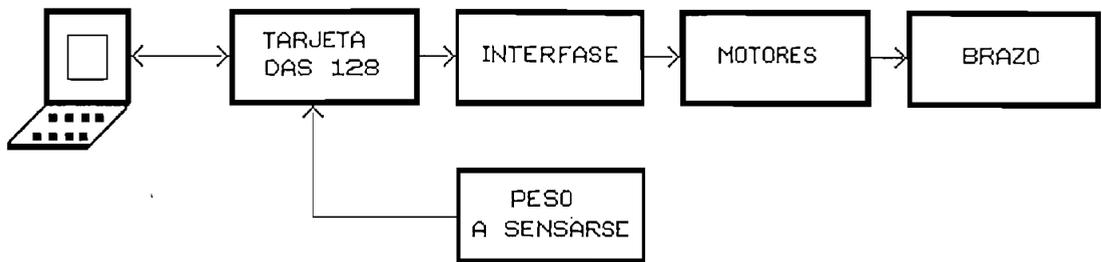


Figura 2.1. Diagrama de bloques del Sistema

2.1.1 TARJETA DAS-128.

Es una tarjeta de adquisición de datos de propósito general, diseñada como una tesis en la Facultad de Ingeniería Eléctrica e instalada en una de las ranuras ISA de la computadora. Posee 8 entradas analógicas de 8 bits, 8 salidas analógicas de 8 bits, 7 puertos digitales de entrada y 7 puertos digitales de salida de 8 bits.

Ocupa 15 direcciones consecutivas para direccionar los puertos disponibles, a partir de una dirección base asignada por un dip switch. Las direcciones base son: 200h, 210h, 220h, 230h, 300h, 310h, 320h y 330h.

Para el presente proyecto, se utilizaron: la entrada analógica 0 para recibir el dato del peso del objeto, y para controlar cada una de las partes del brazo, las salidas analógicas 0,1,2,3 y 5

La señal de entrada debe ser una señal analógica variable entre 0 y 10 voltios,

para aprovechar al máximo el rango dinámico de ofrecido por la tarjeta. Estos valores debían corresponder a un peso entre 0 y 4 libras, que es a su vez el rango dinámico de la balanza. No está por demás indicar que esta señal eventualmente deberá convertirse, luego de pasar por el conversor analógico – digital, a una señal digital de 0 a 255.

Por otro lado, la salida del computador es una señal digital de 8 bits que, al pasar por el conversor digital/análogo de la tarjeta de adquisición de datos, entregará un voltaje variable desde 0 hasta 10 voltios con los que se deberá controlar la operación de cada uno de los servos en todo su rango de movimiento que es de 180°. Por lo tanto el movimiento más pequeño del servo ocurrirá cuando el computador varíe su salida de bit en bit, y en tal caso estará definido por la ecuación siguiente:

$$180^\circ \div 255 = 0.70$$

Un valor que habrá que comprobar cómo afecta al comportamiento general del manipulador en la aplicación presente.

2.1.2. INTERFAZ O MODULO DE CONTROL

Consiste en una caja metálica independiente del manipulador y de la computadora pero que trabaja como interfaz entre los dos. El conjunto está formado por:

- Fuentes de +12V, -12V y 5V de DC

- Tarjeta electrónica de control
- Fusibles de protección

La tarjeta electrónica de control es la que contendrá los circuitos que se encargan de modificar las señales de salida de la computadora para que manejen los motores y la señal de la balanza que ingresarán a la computadora, procurando que estos se mantengan dentro de los rangos permitidos de voltaje, para evitar daños a la tarjeta de adquisición de datos y/o a la computadora, por parte del circuito.

La tarjeta electrónica de control consta de las siguientes partes:

1. Acondicionamiento de los voltajes de salida del computador
2. Acondicionamiento de los voltajes de entrada al computador

2.2. ACONDICIONAMIENTO DE LOS VOLTAJES DE SALIDA DEL COMPUTADOR.

A las salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos DAS-128 se tiene un voltaje variable de 0 a 10 voltios controlado con el programa desarrollado. Por otro lado, los servomotores necesitan para su funcionamiento una señal cuadrada, modulada por ancho de pulso, con una frecuencia entre 10 y 100 Hz. Esta señal cuadrada debe mantenerse durante 1 a 2 ms., con una amplitud de 4.8 a 6 voltios. La solución para conseguir este tipo de señal fue diseñar un generador de PWM a partir de una señal continua. Un generador de onda triangular se compararía con la

señal de salida de la DAS para generar la señal adecuada para ser aplicada a la base de los transistores que proveerían la corriente necesaria para el funcionamiento de los motores.

Adicionalmente, se pensó en un filtro ya que la señal de salida tiene un rizado debido a que la tarjeta mantiene una señal en su salida siempre y cuando exista la orden correspondiente para ello. Esto quiere decir que se debe enviar un valor en todo momento. En las pruebas del equipo se llegó a constatar que el programa de control, desarrollado en Visual Basic, corría a una velocidad máxima de 1 ms produciendo un rizado correspondiente a esta frecuencia.

Al final, el circuito que resolvió el problema de control para cada servomotor quedó compuesto de las siguientes partes constitutivas:

- Generador de onda triangular
- Filtro pasabajos
- Acondicionamiento de voltajes para comparación
- Comparación de señales
- Buffer de corriente
- Etapa de salida a los motores

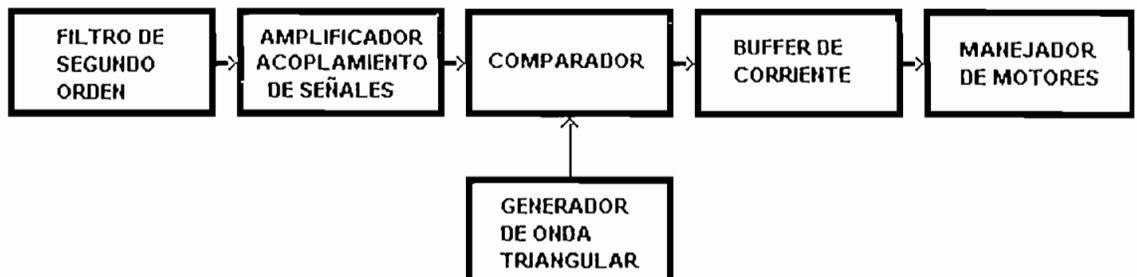


Figura 2.2. Diagrama de bloques de la interfaz de entrada .

2.2.1. GENERADOR DE ONDA TRIANGULAR.

Se diseñó en base a amplificadores operacionales LF347 para tener una señal de salida triangular de $\pm 15\text{ V}$ y frecuencia variable entre $1/10\text{ ms}$ y $1/50\text{ ms}$.

El resultado fue el siguiente circuito:

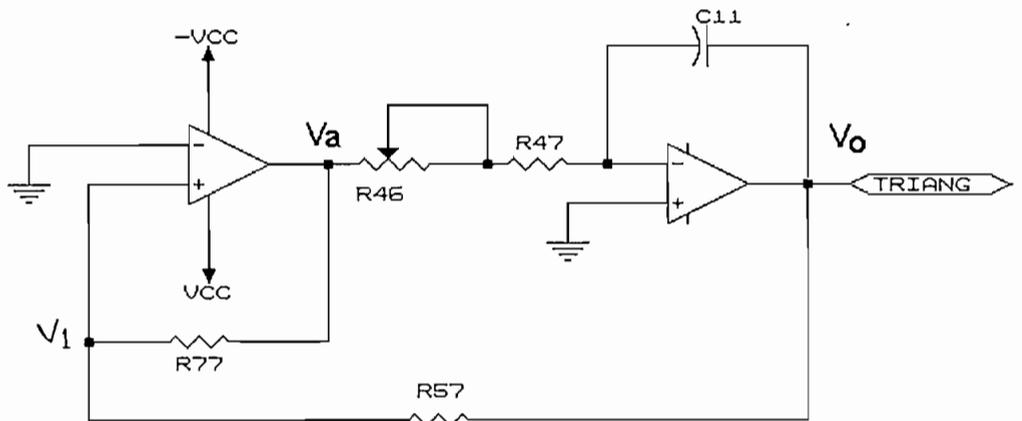


Figura 2.3. Generador de onda triangular

En donde las señales de las salidas V_a y V_o son las siguientes:

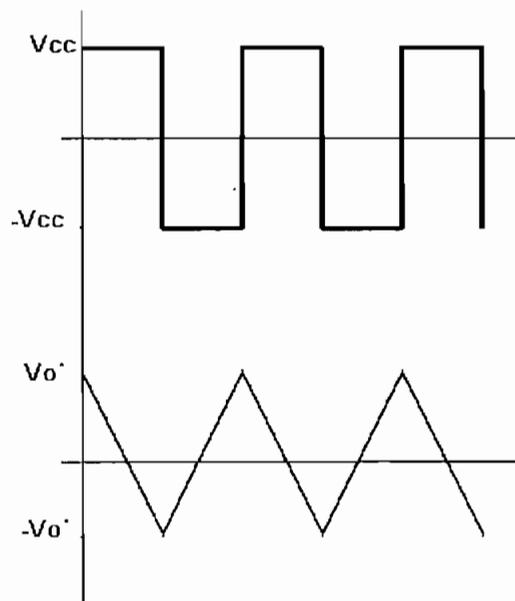


Figura 2.4. Formas de onda del generador

$$V_c = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{I}{C} T_c = \frac{I T}{C 2}$$

$$f = \frac{R_{77}}{4R_{57}(R_{46} + R_{47})C_{11}}$$

Puesto que se requería variar la frecuencia desde 20 a 100 Hz se escogió un condensador $C_{11} = 1 \mu\text{F}$.

$$V_1 = \frac{R_{57}}{R_{57} + R_{77}} V_A + \frac{R_{77}}{R_{57} + R_{77}} V_o$$

R_{77} debe ser mayor a R_{57} para que el circuito oscile ya que en caso contrario V_o' (amplitud de la onda triangular) es menor a V_A

$$V_o' = -\frac{R_{57}}{R_{77}} V_A$$

Se escogió $R_{57} = 7.5\text{K}$ y R_{77} un potenciómetro de 10K para calibrar la amplitud, con lo que se obtiene V_o' entre $+11.25\text{V}$ y -11.25V , y una frecuencia máxima de 3.33 KHz y una mínima de 6.66 Hz .

2.2.2. FILTRO PASABAJOS.

Es la etapa que sigue a la salida de la tarjeta DAS-128. Se la utiliza para filtrar la señal de alta frecuencia generada por el programa VBASIC ya que en él se tiene un timer que corre a 1ms mínimo; es decir, ejecuta las instrucciones contenidas en el timer cada 1 ms . Por lo tanto, las señales de salida desde un valor inicial tienden a subir hasta su máximo valor (10 voltios) cada 1 ms . Es

por ello que se genera una onda cuyo valor medio es el que interesa pero con un rizado de 1khz. (OUT COMP), que es el que se debe filtrar ya que, era obvio y se comprobó experimentalmente, daría problemas de movimiento al motor.

Después de probar algunas alternativas, al final se escogió un filtro Butterworth pasabajos de segundo orden debido a su respuesta suave y plana en todas las frecuencias y su decrecimiento monótono desde la frecuencia de corte especificada, con una pendiente de -40 dB/dec. El cálculo del filtro es el siguiente:

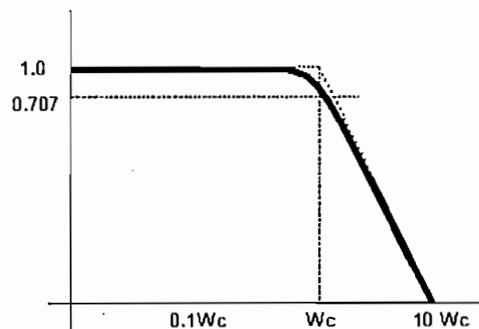


Figura 2.5. Respuesta del filtro pasabajos

$$R_2 = R_3 = \frac{0.707}{W_c C}$$

$$R_4 = 2 \times R_2$$

$$C_1 = 2C_4$$

$$W_c = 2\pi f = 2 * \pi * 1000 = 6283.2$$

Si se considera que la señal a filtrar es de 1 KHz, y se tienen las fórmulas siguientes se procedió a escoger como condensador uno de 10 uF para que

las resistencias no resulten demasiado altas De aquí da como resultado que:

$$R_2 = R_3 = 10 \text{ K}$$

$$R_4 = 22 \text{ K}$$

$$C_1 = 22 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 10 \mu\text{F}$$

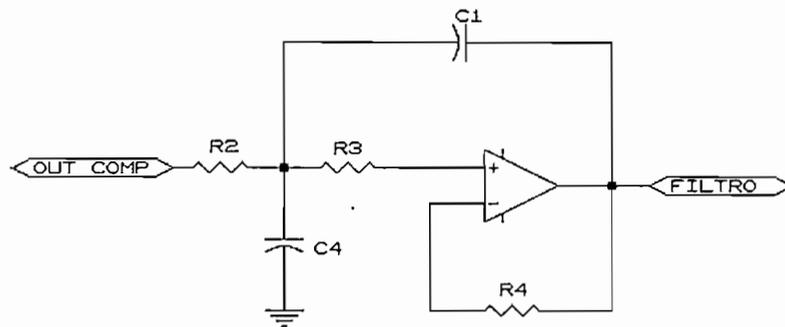


Figura 2.6. Filtro pasabajos

2.2.3. ACONDICIONAMIENTO DE VOLTAJES PARA COMPARACION.

La señal de salida del computador una vez filtrada es una señal continua que varía entre 0 y 10 voltios (0 y 255 en digital). En todo caso, el motor requiere una variación de apenas 1 voltio para recorrer todo su camino de izquierda a derecha, comenzando en los -8.5 voltios, que es la variación del valor medio de la señal que requieren los motores. Por lo tanto, el problema era convertir la variación total de 0 a 10 voltios a la salida de la computadora en una variación de -8 a -9 voltios para el movimiento del motor. Esto se obtuvo con un amplificador inversor de ganancia menor a la unidad al que se le suma una señal de -8 voltios.

El cálculo que se realizó es el siguiente:

$$V_{acondicion} = -\frac{R_{22}}{R_{21}} V_{filtro}$$

Si se escoge una resistencia R_{22} de 2.7K y R_{21} de 22K se tiene una ganancia de 0.12 y la señal de salida será:

$$V_{acondicion} = -0.12 * V_{filtro} + V_1$$

Escogiendo a R_{24} de 100Ω y R_{23} como 20K (dividido en P_x y P_y) para poder tener $-8V$ en V_1 . Y el circuito de acondicionamiento de la señal es:

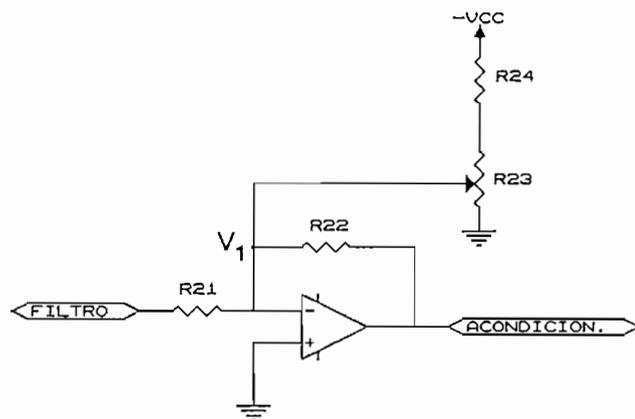


Figura 2.7. Acondicionamiento de señales

Si la señal de salida del filtro es de un valor comprendido entre 0 y 10 voltios y se reduce a un valor de 0 a $-1.12 V$, al sumarle los $-8V$. se tiene una variación de -8 a $-9.2V$.

2.2.4. COMPARACION DE SEÑALES.

Una vez acondicionada la señal de salida de la computadora se la debe comparar con la onda triangular generada para obtener una onda cuadrada que es la que necesita el motor para moverse. Esto se logró por medio de un comparador, en donde la entrada positiva es la onda triangular y la negativa es la señal acondicionada; su salida se recortó por medio de un zener ya que se necesitaba solamente la parte positiva de la señal en la base de los transistores para la operación de los motores.

La lógica con la que trabaja el circuito es la siguiente: Si el Voltaje de salida acondicionador es mayor que el voltaje de la onda triangular, la salida es alta (V_{CC}), y si es menor, la salida es baja ($-V_{CC}$)

La corriente que circula por R_{25} corresponde a:

$$I_0 = \frac{V_o}{R} = \frac{15}{6.2K} = 0.96mA$$

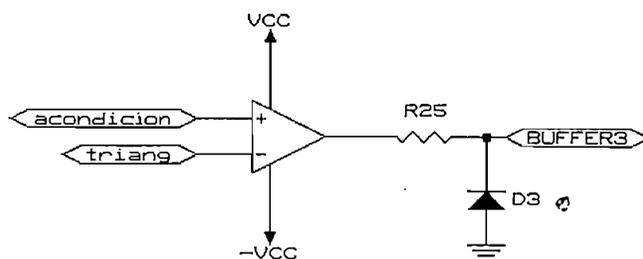


Figura 2.8. Comparador de señales

2.2.5. ETAPA DE SALIDA.

La señal recortada (solo positiva) necesita ser amplificada en corriente para poder manejar las bases de los transistores que se encargan de controlar el movimiento de los motores; aquí la solución es evidente; emplear un buffer. Inmediatamente después se hace pasar la señal por un divisor de tensión con el objeto de bajar el voltaje de la señal y luego se entra a la base del transistor por medio de una resistencia para controlar la corriente de base. El transistor se conecta en configuración de emisor común o seguidor de emisor para tener la misma forma de onda de la señal en la base y en el emisor; ésta es a su vez la salida para el motor correspondiente al que se lo alimenta con una fuente independiente de 5 voltios pues los motores funcionan con voltajes de 4.6 a 6 voltios.

Las señales en OB_1 , V_1 y V_E son las siguientes:

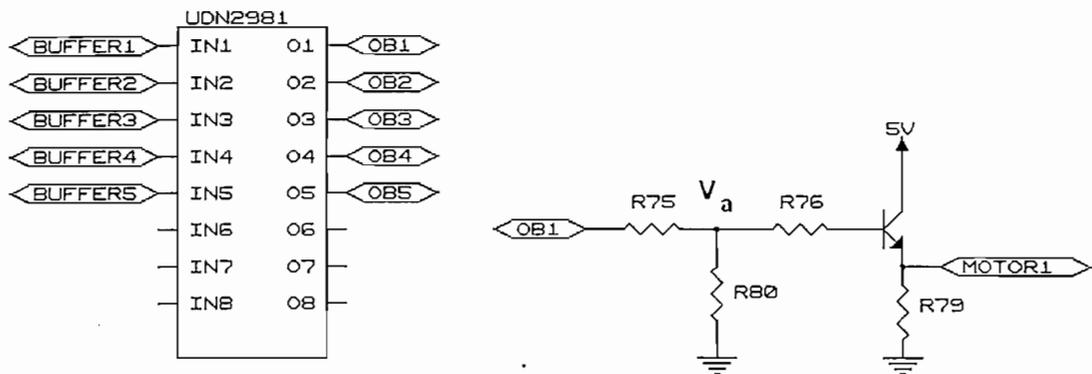


Figura 2.9. Buffer de corriente y etapa de salida

Para tener 7.5 voltios en V_a y que sea un divisor de tensión, la corriente que circule por R_{75} y R_{80} debe ser mucho mayor que la de R_{76} , lo que se consigue

al utilizar resistencias iguales a 1K, con lo que se tiene:

$$V_a = OB_1 * \frac{R_{75}}{R_{75} + R_{80}} = 15 * \frac{1K}{1K + 1K}$$

La corriente que necesitan los motores para funcionar es de 10 mA y su resistencia interna es muy pequeña (del orden de 10Ω). Por lo tanto $I_c = 10$ mA y los transistores tiene un β de 150, lo que da como resultado:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10mA}{150} = 0.066mA$$

por lo que I_B es mucho menor que la corriente de R_{75} y R_{80} que es de 7.5 mA.

Con una señal de salida de 5 voltios aplicada a los motores se obtiene el movimiento de los mismos y un torque de 49 onz/pulg. Al incrementar el voltaje, el 68% de ese incremento se refleja en el torque. Por ejemplo: con una señal de 5 voltios el torque es de 49 onzas/pulgada y si se sube a 6 voltios (20% de incremento de voltaje) el torque aumenta $20\% \times 68\% = 13.6\%$, lo que equivale a $49 + 13.6\%(49) = 55.6$ onzas/pulgada. De igual manera, el torque se ve disminuido si la señal aplicada es menor a 5 voltios.

En resumen, las formas de onda que se esperan obtener de cada parte del circuito de acondicionamiento de señal, para cada motor, son las siguientes:

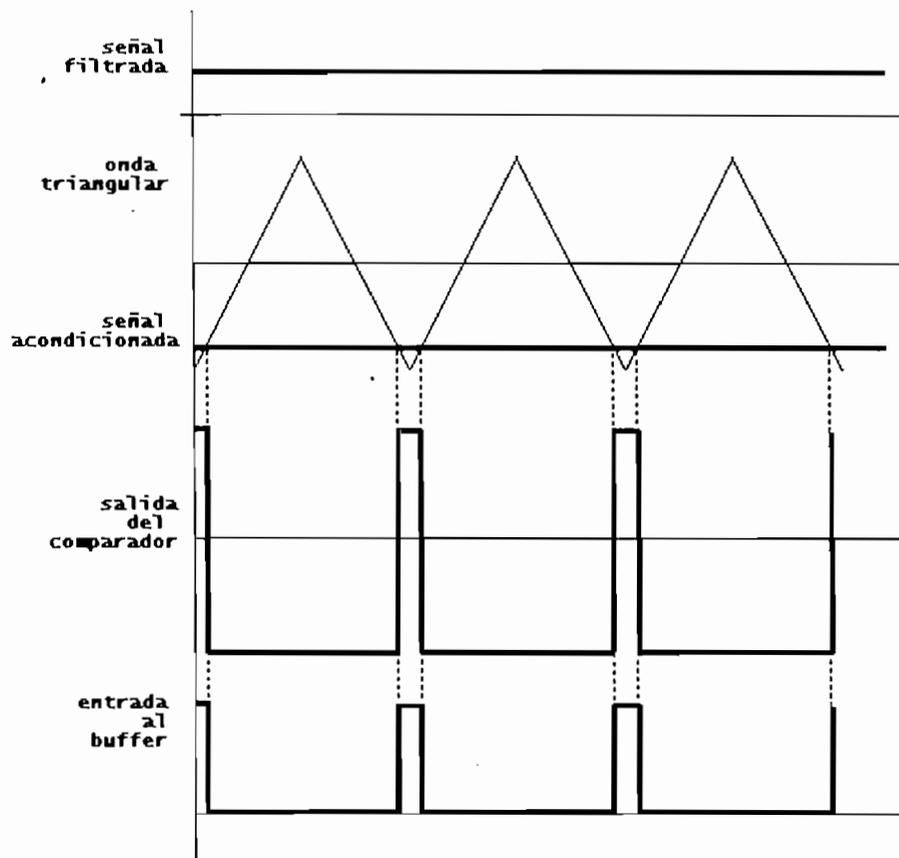


Figura 2.11. Formas de onda en distintos puntos

2.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS VOLTAJES DE ENTRADA AL COMPUTADOR.

Se usa para la medición del peso del objeto. Con este propósito se emplea una galga extensométrica colocada en una balanza y una serie de circuitos adicionales para acondicionar esta señal.

Al sensor o strain gage se le conoce también como indicador de fuerza, extensiómetro de resistencia, extensiómetro de hilo resistente, galga eléctrica de deformación o galga para determinar tensiones mecánicas

Las galgas extensométricas pueden ser:

- a) De alambre delgado: es el más común, el diámetro del alambre varía entre 0.0005 y 0.001 pulgadas.
- b) Laminar: por ejemplo una hoja de menos de 0.001 pulgadas de espesor.
- c) Semiconductor: Material a base de silicio sensible a la deformación, fabricado en barras de espesor de alrededor de 0.01 pulgadas. Tiene un alto coeficiente de resistencia por temperatura.

Las de alambre y laminar deben estar pegadas firmemente a su base. Esto se hace trabajando con temperaturas entre 300°F y 500°F (en montaje de bakelita)

La galga va pegada al elemento que va a ser tensado, consecuentemente, la galga experimenta la misma deformación. Estos son los llamados adheribles (usados con mayor frecuencia para medición de deformaciones unitarias), y no se pueden calibrar fácilmente ya que una vez que se fijan a una pieza para calibración no pueden desprenderse sin destruirse. Existen también extensiómetros no adheribles donde las placas se mantienen juntas con un

además de un seguidor de tensión y un recortador de señal que asegura que la señal no pase de 10V., puesto que es el valor máximo que debe entrar a la tarjeta de adquisición de datos en la computadora.

El diagrama de bloques del acondicionador de señal para el circuito que sensa el peso es el siguiente:

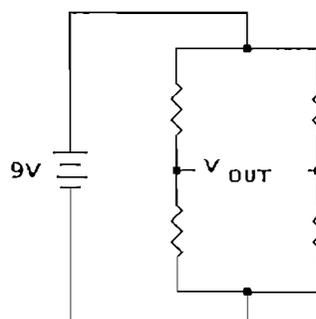


Figura 2.12. Diagrama de bloques del medidor de peso

Ya que el manipulador no puede sostener objetos muy pesados, el acondicionamiento de la señal se hizo para detectar pesos máximos de 4 lb.

2.3.1. PUENTE DE WEATSONE

Constituye el acondicionamiento inicial de la galga y viene como parte integral de ella. Son dos resistencias conectadas internamente en puente, junto con las dos resistencias de la galga para tener compensación de temperatura y medición lineal del peso ejercido sobre ella.



Se lo alimenta con una señal de 9 voltios y su salida diferencial tiene una variación entre 0 y 10 mA.

2.3.2. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACION.

Se utiliza un amplificador de instrumentación como medio de entrada de las señales de salida del puente al que está conectado la galga extensométrica, debido a los voltajes pequeños que ésta proporciona.

Un amplificador de instrumentación, básicamente tiene como características: alta impedancia de entrada diferencial, bajo corrimiento del voltaje de entrada de offset, baja corriente de polarización, alta relación de rechazo en modo común, lo que lo hace ideal para amplificar señales de valor reducido (en el orden de mV), como es este caso.

El circuito utiliza amplificadores operaciones LF347, con entrada diferencial, para reducir el ruido común, y con variación de ganancia lineal, que es dada por el amplificador operacional conectado en la realimentación de la salida La salida del circuito está determinada por la siguiente ecuación:

$$V_O = \frac{R_6}{R_5} (V_{IN+} - V_{IN-})$$

Con lo que la ganancia del amplificador se ajusta linealmente por medio del potenciómetro R_6

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

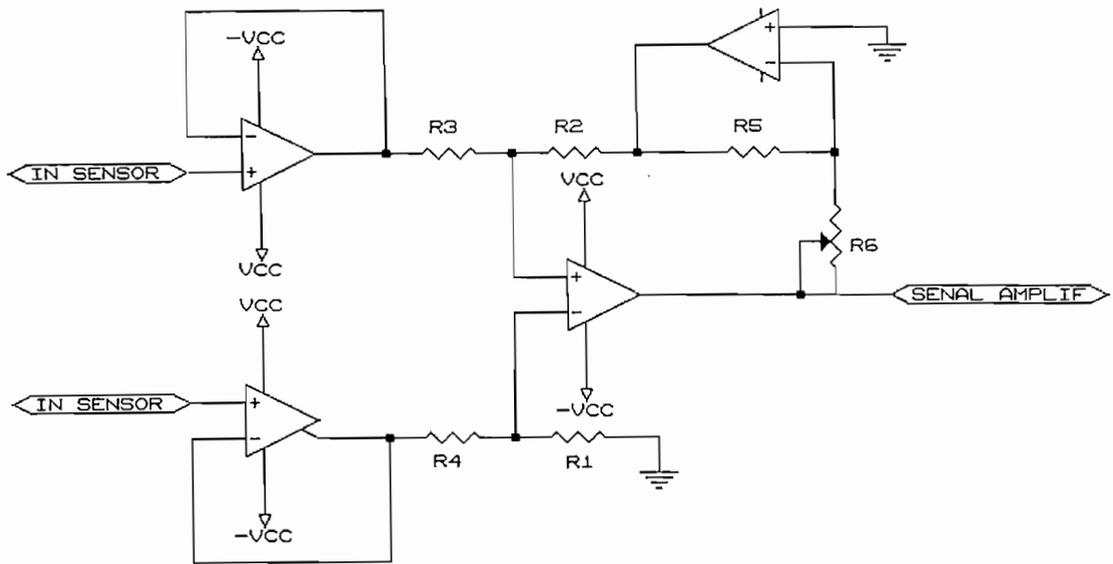


Figura 2.14. Amplificador de instrumentación

Si la variación de la señal de entrada es de 0 a 10 mV y se la amplifica por 50 con el amplificador de instrumentación se tiene que los valores de las resistencias del circuito son:

$$R_3 = R_4 = R_1 = R_2 = 10K$$

$$R_6 = 100K$$

$$R_5 = 1K$$

De acuerdo a estos datos la salida del amplificador de instrumentación será máxima de 0 a 1 voltios, pero se prefiere tener una ganancia menor para completar la amplificación en la siguiente etapa.

2.3.3. AMPLIFICADOR NO INVERSOR.

A continuación se coloca un amplificador no inversor ya que con el

amplificador de instrumentación no es conveniente amplificar toda la señal pues se también se amplificaría el ruido de entrada. Por lo tanto, la siguiente etapa es un amplificador por 100 para lograr lo siguiente:

Señal de entrada obtenida: 0 a 0.55 voltios

Señal de salida: 0 a 11.6 voltios

Amplificación: 21

Lo que se consigue con el siguiente circuito:

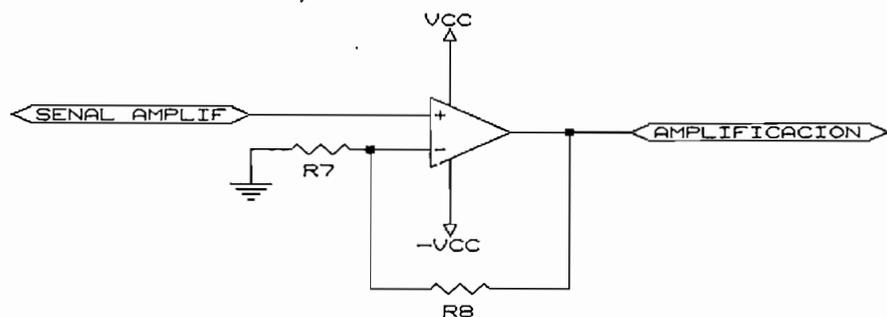


Figura 2.15. Amplificador no inversor

$$V_{\text{amplificación}} = \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) V_{\text{señalamplif}}$$

Si R_8 es igual a 47K y R_7 es de 1.5K, la ganancia total del circuito será 21

2.3.4. FILTRO PASIVO.

A la salida de los amplificadores, la señal es multiplicada por un factor de 21 pero tiene un pequeño rizado debido a que la galga es un sensor muy sensible y detecta pequeñas variaciones de peso, a las tolerancias de las resistencias, variaciones de la fuente, etc., que dan como resultado una variación pequeña de la señal que se presenta como un rizado en el orden

de 1 KHz, que debe ser eliminado puesto que la computadora al leer esta señal daría una medición de peso que cambia constantemente.

Para atenuar el problema descrito se optó por un filtro pasivo, con una resistencia y un condensador, calculados de tal manera de eliminar este rizado, de la siguiente manera:

$$R_9 = 5.1K$$

$$C_1 = 22\mu F$$

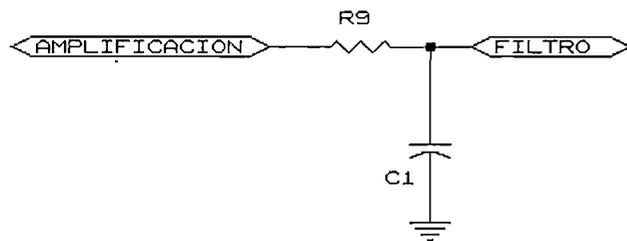


Figura 2.16. Filtro pasivo

2.3.5. ETAPA DE ENTRADA AL COMPUTADOR

Consiste en un seguidor de tensión para el acoplamiento de impedancias entre esta etapa y la de entrada al computador que es un amplificador reductor, y un recortador de tensión compuesto de dos zener en serie, cada uno de 5.1V para dar un voltaje máximo de entrada al computador de 10.2V.

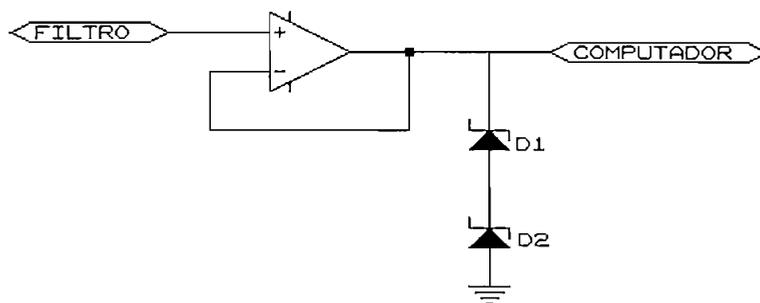


Figura 2.17. Seguidor de tensión y recortador de señal

2.4. ASIGNACION DE DIRECCIONES

Dentro de la DAS-128 se encuentra un dip switch con 8 interruptores, cada uno de los cuales permite asignar a la tarjeta una dirección base diferente.

En este caso se trabajó con el switch 5 en la posición ON, lo que significa 00010000; esto equivale a una dirección base de 300h u 768 decimal, que es una dirección no ocupada dentro de toda computadora personal.

De acuerdo a esto, las direcciones usadas para entrada o salida de datos son las siguientes:

Hexadec.	Decimal	Periférico	Operación	Instrucción
300h	768	servo 1	mov. Base	salida
301h	769	servo 2	mov. Brazo	salida
302h	770	servo 3	mov. Antebrazo	salida
303h	771	servo 4	mov. Muñeca	salida
305h	773	servo 5	mov. Dedos	salida
300 h	768	balanza	peso	entrada

Se puede ver que una misma dirección es usada como entrada y salida: la tarjeta habilita los circuitos correspondientes dependiendo de la instrucción realizada, si es entrada se direcciona la etapa del conversor analógico – digital, con la instrucción de lectura (input, read, etc.) y si es salida la etapa del conversor digital – analógico, con la instrucción de escritura correspondiente (output, write o su equivalente).

2.5. FUENTES DE PODER.

El control del manipulador requiere un suministro de energía continua para su funcionamiento y para el sistema de control.

Se requirió lo siguiente:

- Fuente de +12V @ 1 A.
- Fuente de -12V @ 0.5 A.
- Fuente de 5V @ 3 A.

Se utilizaron fuentes independientes de +12,-12 y +5 debido a las interferencias que causan los movimientos del motor, por lo tanto, se necesitó una fuente para potencia y otra para control

Todo el sistema se alimenta con la red de tensión de 110 VAC, la misma que es transformada en +12 y -12V para funcionamiento interno del módulo de control, y +5V para el movimiento de los motores. Además, la computadora da una salida variable entre 0 y 10V que va al módulo de control y es la que controla los motores.

Se tiene además una pila de 9V para el funcionamiento de la balanza. Esta debe ser independiente por cuanto es la que alimenta a la galga detectora de peso cuya salida es diferencial.

3.1. REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

El control de los motores requiere de un lenguaje de programación que puede ser de alto o bajo nivel, operado en una computadora personal compatible. El programa resultante manejaría las salidas y entradas analógicas de una tarjeta de adquisición de datos conectada en el mismo.

El programa ha realizarse, como es objetivo ya común en los programas de hoy en día, debía ser de fácil comprensión y manejo. Considerando lo que el programa debía controlar, se opto por hacerlo en un lenguaje de alto nivel.

3.1.1. LENGUAJE DE PROGRAMACION

El programa de control del movimiento de los motores del manipulador puede realizarse en varios lenguajes de programación: Visual Basic, Basic, C++, Asembler, etc.; sin embargo, se utilizó el lenguaje Visual Basic, de 32 bits, debido a su versatilidad, facilidad de uso, bajo costo y debido a que el control está orientado a un entorno gráfico como es Windows. En él se desarrollaron las subrutinas para realizar el control manual, automático o de acuerdo al objeto a sostener, y los gráficos respectivos. Todo esto se encuentra en un único archivo .EXE ya que Visual Basic está en capacidad de producir archivos ejecutables independientes.

Sólo se necesita disponer de copias de los siguientes archivos:

- Archivo de tiempo de ejecución de Visual Basic (VBRUN40032.DLL)
- Archivos .OCX requeridos

- Archivos .DLL adicionales que requieren la aplicación o los controles personalizados.

3.1.2. BIBLIOTECAS UTILIZADAS

Se usan básicamente:

Bibliotecas standar de Visual Basic: para la visualización de botones, cajas de diálogo y entorno general del programa, como son:

THREED32.OCX, COMCTL32.OCX, DBLIST32.OCX, TABCTL32.OXC, COMDL.OCX, REFERENCE.OCX

Bibliotecas de comunicaciones: Debido a que Visual Basic no puede leer pòrticos de comunicaciones se usa la librería PORT32.OCX que es un archivo personalizado para ser usado con VB 4.0 o 5.0 y da acceso a los pòrticos de entrada/salida de la computadora. PORT32 es un OCX de 32 bits compatible con WINDOWS 95

A más de las propiedades de NAME, INDEX, TAG, LEFT y TOP, tiene las siguientes propiedades

Address: Define la dirección del pòrtico de entrada/salida

Bits: Define los bits a leer

Value: Especifica el dato a ser escrito o leído en el pòrtico especificado. La opción de lectura produce que PORT32 lea un número especificado de bits

en una dirección dada y envía a VALUE el resultado. La escritura produce que PORT32 escriba en VALUE el valor especificado en la dirección fijada.

Por ejemplo, para leer un dato del pÓrtico 300h se deben utilizar las siguientes instrucciones:

```
Port32.Address = &h300
```

```
Dato = Port32.Value
```

Para escribir un dato a la dirección 3F8h se usa lo indicado a continuación:

```
Port32.Address = &h3F8
```

```
Port32.Value = dato
```

3.2. SOFTWARE DE CONTROL

El programa está realizado sobre la base de subrutinas para cada una de las pantallas de presentación del Visual Basic.

Se toma como base de partida la entrada al programa: desde este momento se tiene control sobre los puertos de la tarjeta DAS-128. Inmediatamente se pasa a una ventana de control general, en donde se puede ver el peso del objeto y realizar movimientos simples del brazo; también desde este punto se puede ingresar a hacer el control manual, automático o de acuerdo a la selección de un objeto determinado por el programa. En cada una de estas pantallas se

tiene la facilidad de mover todas las articulaciones del brazo manipulador a voluntad.

3.3. ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA

En el programa se tienen las siguientes pantallas:

Inicio

Menú

Control manual

Control automático por tamaño

Control automático por peso

Secuencia

Animación

Programación

Información

Salir

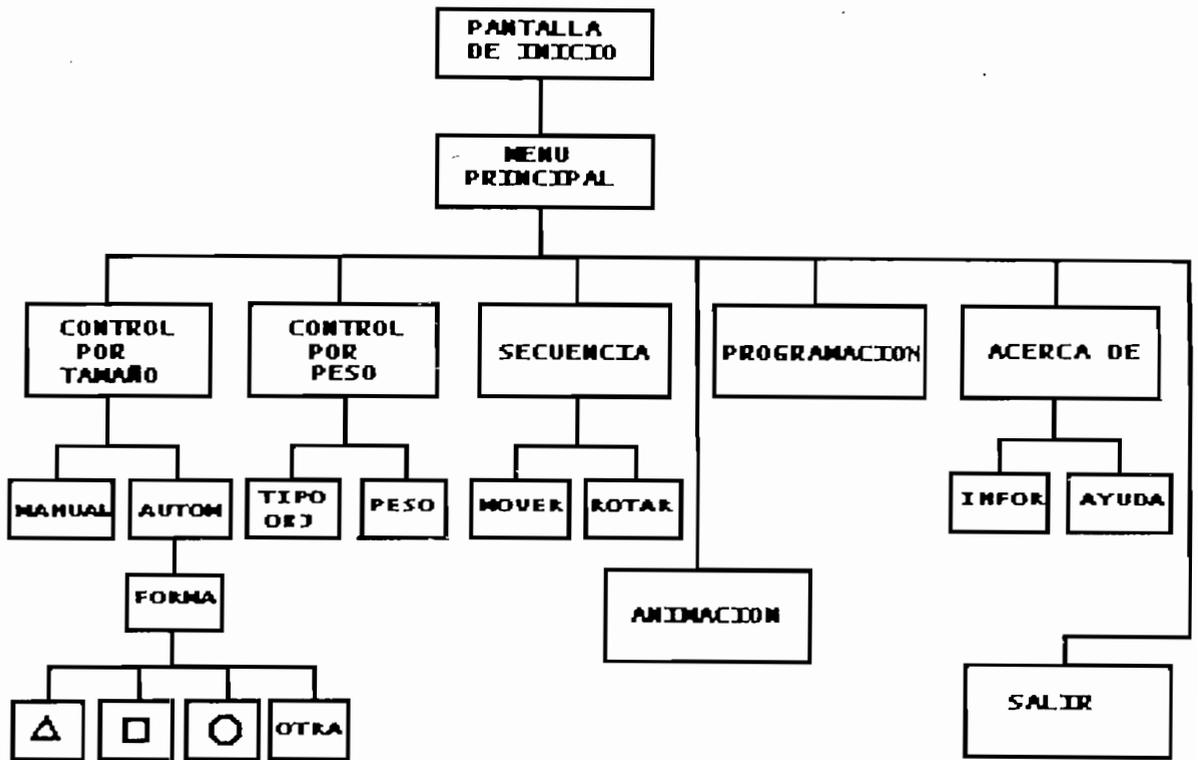


Figura 3.1. Diagrama de bloques del programa de control

3.3.1. INICIO

Es la subrutina de inicialización del programa en donde se encuentra el nombre de la tesis y la opción de entrar o salir: Desde este momento se tiene control sobre las salidas de la tarjeta, manteniendo las articulaciones del manipulador en una posición inicial, esto es:

Base: a 45°

Hombro: a 90°

Codo: a 0°

Muñeca: a 0°

Dedos: abiertos hasta 1 cm.

3.3.2. PANTALLA DE MENU

Es la pantalla principal del programa en donde se puede escoger la opción de control manual o automático por tamaño, control por peso, medición de peso, secuencia, programación de movimientos, información del tema o salir del programa. De aquí se pasa a las diferentes opciones, y de cada una de ellas se regresa a esta pantalla menú, manteniendo a las articulaciones del manipulador en la última posición determinada por cualquiera de las subrutinas utilizadas.

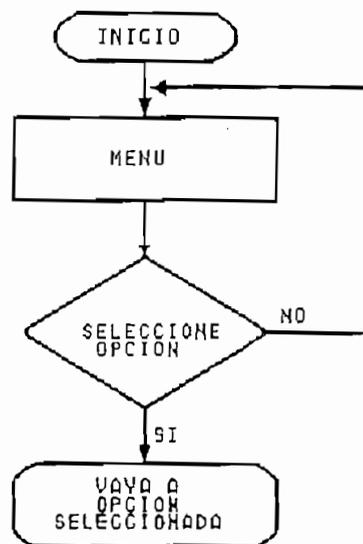


Figura 3.2. Diagrama de bloques de la pantalla menú

Las opciones que se pueden escoger en la pantalla menú son las siguientes:

En control por tamaño: Control manual y automático

En control por peso: Tipo de objeto y peso del objeto

En secuencia: Mover el hombro y rotar la base

En animación: Animación de los movimientos del manipulador

En programación: Definición de las diferentes posiciones que adoptarán las articulaciones del manipulador

En acerca de: Información y ayuda sobre el tema

Salir

3.3.3. CONTROL POR TAMAÑO

En esta opción se puede escoger entre tener un control manual de todos los movimientos del brazo del robot o un control automático. Las subrutinas implementadas son:

GRAFBRAZO: Permite un control manual de todos los movimientos del brazo, incluyendo la apertura o cierre de la pinza. En esta subrutina funcionan dos timers propios de la misma y se deshabilita el de la pantalla de menú. Uno de ellos sirve para dar las cinco señales de salida a los actuadores y para ingresar el peso del objeto y otro para poder modificar el color de la señalización que indica cuando se está moviendo una articulación.

Al salir de aquí se va nuevamente a la pantalla de menú y se pasa la información de las últimas posiciones obtenidas por cada una de las partes del manipulador al timer de la misma.

GRAFICO1: Permite que la pinza se abra o se cierre dependiendo de las dimensiones del objeto a sostener. A esta subrutina le llega la información de la pantalla menú respecto a la forma del objeto: cuadrada, circular, triangular u

otra, y sus dimensiones. Si éstas son mayores a 3.5 cm la pinza no la podrá sostener, lo que indicará al tratar de ejecutar la operación; caso contrario, dependiendo de las dimensiones del objeto, se calcula hasta que valor de salida debe llegar la señal para agarrar al objeto. Si la pinza estuvo cerrada y el objeto tiene una dimensión más grande, primero se abre completamente y luego empieza el proceso de cierre. Si la pinza estuvo abierta y lo que se trata es de sostener un objeto de dimensiones menores a 3.5 cm empieza a cerrarse hasta ajustarlo y sostenerlo. Al entrar en esta subrutina el control lo tiene su propio timer que inicia con los datos de la pantalla anterior, realiza la operación de movimiento y termina entregando los datos finales a la pantalla menú, una vez que se sale de la misma.

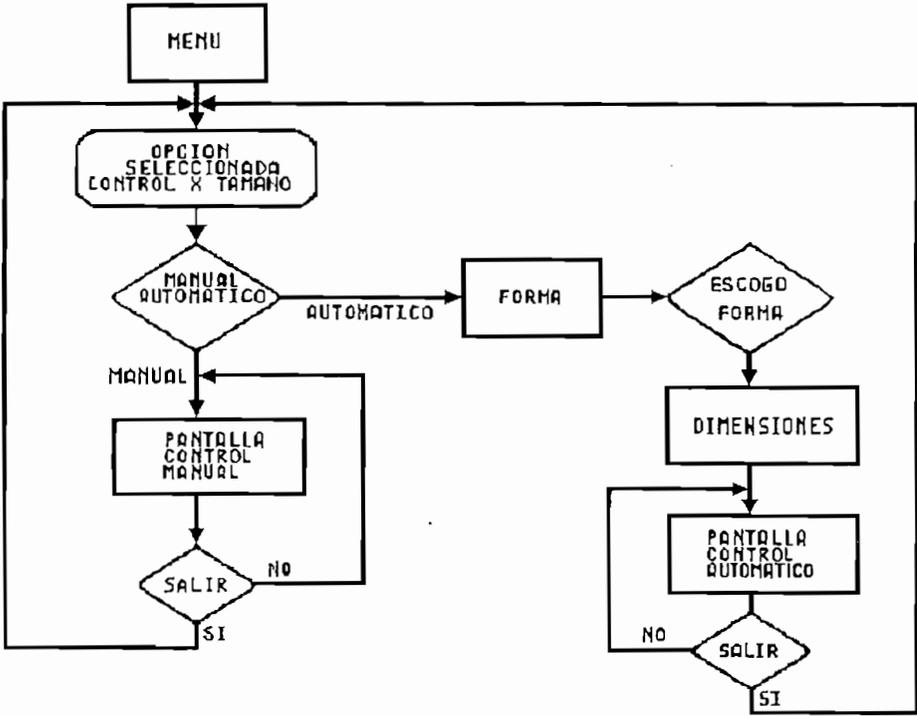


Figura 3.3. Diagrama de bloques de control por tamaño

3.3.4. CONTROL POR PESO

En la opción control por peso existe la posibilidad de ver en la pantalla el peso del objeto a sostener o también la opción de determinar el tipo de objeto de una tabla para que automáticamente la mano se abra o cierre a tal posición para sostenerlo. Las subrutinas implementadas son:

PANTALLA OBJETO: Permite que la pinza se abra o se cierre dependiendo del tipo de objeto a sostener. Aquí se tiene la posibilidad de sostener un objeto de las mismas dimensiones pero con diferente peso, para lo que, a más de calcular hasta que valor debe cerrar la pinza, debe considerar el hecho de si es un objeto rugoso o no; en el caso de no serlo el valor de la salida será tanto menor cuanto más frágil sea el objeto, para sostenerlo fuertemente sin dañarlo.

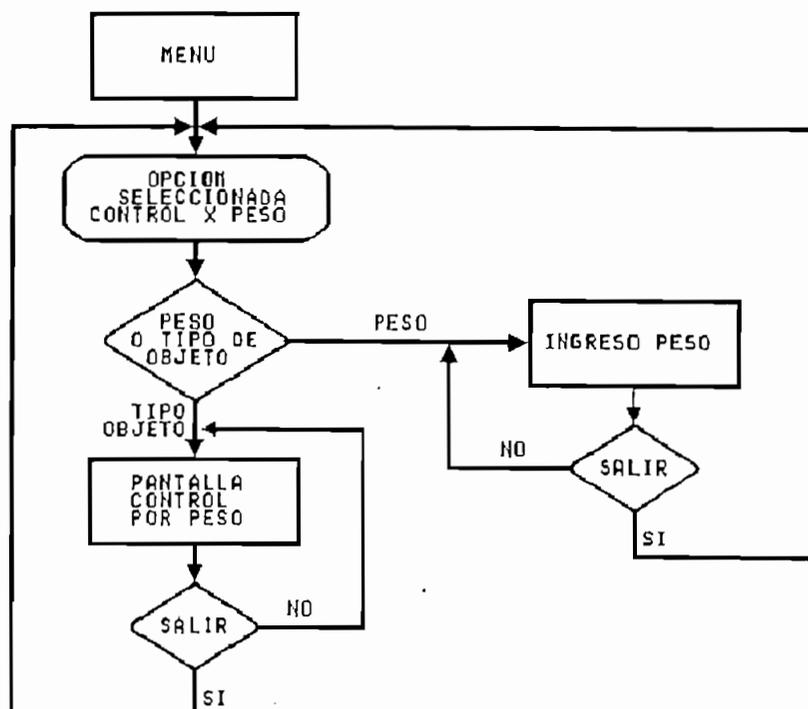


Figura 3.4. Diagrama de bloques de control por peso

PESO: Permite visualizar en la pantalla de menú el peso del objeto en libras, máximo hasta 4 lb, al mismo tiempo que se mantiene el control de las salidas hacia los motores que controlan los movimientos del manipulador.

3.3.5. SECUENCIA

Posibilita el movimiento o rotación del brazo. En esta opción únicamente se puede rotar la base u hombro hacia la izquierda o derecha dentro de sus límites de operación, y subir o bajar todo el manipulador mediante un movimiento hacia arriba o hacia abajo del hombro. Esto se lo hace con el objeto de que una vez sostenido el cuerpo se lo pueda llevar a otro lugar para depositarlo, y no afecta a las posiciones del antebrazo, muñeca y efector final.

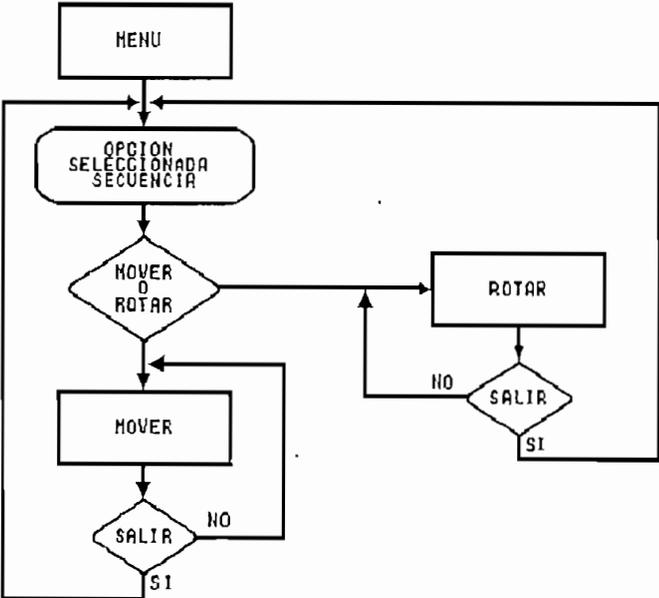


Figura 3.22. Diagrama de bloques de secuencia

3.3.6. ANIMACION

Permite poder ver gráficamente las posiciones que adoptarían las diferentes partes del manipulador al mover cada una de las articulaciones. Se lo hace únicamente en simulación gráfica del movimiento y no afecta a la ubicación que mantiene el brazo.

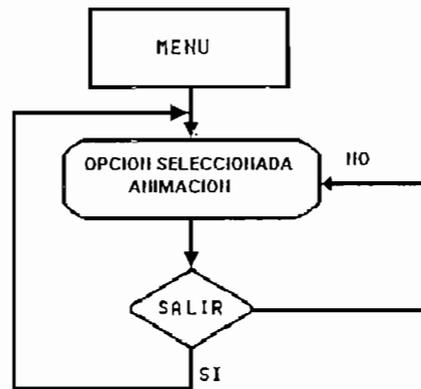


Figura 3.6. Diagrama de bloques de animación

3.3.7. PROGRAMACION

Esta rutina permite posicionar el brazo manipulador en un sitio específico colocando los ángulos de cada una de las articulaciones. Posibilita además grabar en un archivo estas coordenadas para ser usadas posteriormente.

Se puede colocar los valores para posicionar la base, hombro, codo y muñeca y manualmente se abren o cierran los dedos de la pinza de manera similar a

como lo haría un manipulador industrial: su posición está determinada totalmente por una sola orden y en ese momento se controla el gripper

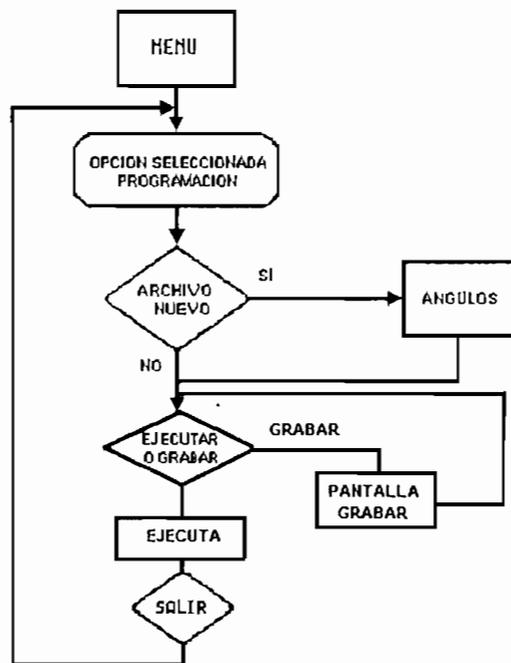


Figura 3.7. Diagrama de bloques de programación

3.3.8. ACERCA DE

Tiene una pantalla en donde se proporciona información sobre el tema, respecto al manipulador en sí, sus movimientos y lo que se puede realizar con el programa.

Las subrutinas de esta pantalla son:

INFORMACION: Proporciona nombre de la tesis, fecha y datos generales.

AYUDA: Indica un esquema del manipulador usado y explica brevemente las formas de controlar el mismo en un archivo de texto

3.3.9. SALIR

La opción salir sirve para ir a la pantalla inicial del programa y de allí se puede salir, momento en el cual se deja de tener control sobre el movimiento del manipulador

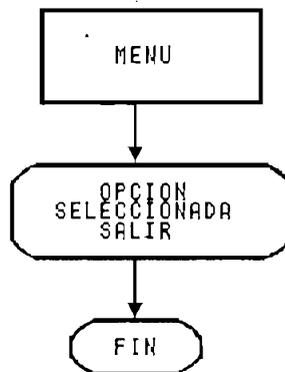


Figura 3.8. Diagrama de bloques de salir

3.4. ALGORITMOS DE CONTROL

La estructura de las tareas del algoritmo de control se describen a continuación en lenguaje estructurado.

INICIO

- Escoger entre entrar al programa o salir de él
- Al escoger entrar
- Habilitar el timer
- Determinar los valores iniciales
- Enviar los valores a las salidas
- Al escoger salir

- Salir del programa
- Deshabilitar salidas
- Apagar timers

Fin de tarea

MENU

- Cargar valores iniciales de las salidas
- Arrancar el timer y enviar esos valores hacia la tarjeta de adquisición de datos
- Esperar que se escoja una opción
- Ir a la opción seleccionada

Fin de tarea

CONTROL POR TAMAÑO

- Seleccionar control manual o automático
 - Al escoger control manual
 - Deshabilitar el timer del formulario Menu
 - Entrar al formulario de control manual
 - Arrancar el timer de control manual
 - Enviar las señales a las salidas
 - Al cambiar los valores
 - Enviar los nuevos valores
 - Al escoger la opción salir
 - Mantener los últimos valores
 - Salir al formulario Menu
 - Detener el timer de control manual

- Al escoger control automático
- Deshabilitar el timer del formulario Menu
- Determinar la forma y dimensiones del objeto
- Entrar al formulario de control automático
 - Arrancar el timer de control automático
 - Si las dimensiones superan un cierto valor
 - Enviar datos anteriores
 - Detener el timer de control automático
 - Salir al formulario Menu
 - Si las dimensiones son correctas
 - Al escoger iniciar
 - Calcular el valor de la salida
 - Enviar los nuevos datos
 - Al escoger la opción salir
 - Mantener los últimos valores
 - Salir al formulario Menu
 - Detener el timer de control automático

Fin de tarea

CONTROL POR PESO

Seleccionar tipo de objeto o peso

- Si escogo tipo de objeto
- Deshabilitar el timer del formulario Menu
- Entrar al formulario tipo de objeto
- Arrancar el timer de tipo de objeto
- Determinar el objeto a sostener
- Enviar los nuevos valores
- Al cambiar cualquier otro parámetro
- Enviar los nuevos valores
 - Al escoger la opción salir
 - Mantener los últimos valores
 - Salir al formulario Menu
 - Detener el timer de tipo de objeto

- Al escoger peso
- Activar el timer para medir el peso del objeto
- Leer el pórstico de entrada analógico de la tarjeta
- Convertir el valor leído en peso
- Presentar en pantalla
 - Al escoger la opción salir
 - Desactivar el timer de peso

Fin de tarea

SECUENCIA

Seleccionar mover o rotar

- Al escoger mover
- Mantener activado el timer del formulario Menu para enviar los datos a la salida de la tarjeta
- Al cambiar el valor de la opción mover variar una de las señales de la salida

- Al escoger rotar
- Mantener activado el timer del formulario Menu para enviar los datos a la salida de la tarjeta
- Al cambiar el valor de la opción rotar variar una de las señales de la salida

Fin de tarea

ANIMACION

- Mantener habilitada el timer del formulario Menu
- Al escoger la parte del manipulador a mover
- Modificar el gráfico con el movimiento respectivo

Fin de tarea

PROGRAMACION

Mantener el timer del formulario Menu
Al colocar los ángulos y presionar Enter
 Calcular los valores a enviar
 Colocar esos valores en la salida
Al colocar los ángulos y presionar Grabar
 Abrir un archivo y colocar el nombre
 Guardar los datos
Al colocar Abrir datos
 Escoger un archivo
 Colocar esos datos en ángulos

Fin de tarea

ACERCA DE

 Seleccionar información o ayuda
 Al escoger información
 Entrar al formulario para presentación
 Mantener activado el timer del formulario Menu

 Al escoger ayuda
 Mantener activado el timer del formulario Menu
 Traer a la pantalla un archivo de WORD con información sobre el
 brazo de robot

Fin de tarea

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Como en todo trabajo de investigación, luego de diseñar un sistema en base a cálculos teóricos, es necesario realizar una serie de pruebas que permitan comprobar que los circuitos cumplen con la función para la que fueron concebidos. En el caso, como en el presente, de tener tanto hardware como software, es incluso necesario comprobar si la integración de estos 2 componentes, en conjunto se comportan correctamente.

El sistema en si debe permitir el control, automático o manual, de cuatro articulaciones del robot para llevarlo a una posición fija y luego posibilitar el abrir o cerrar de la pinza, también en forma manual o automática para agarrar y sostener el objeto seleccionado previamente. Para comprobar si el sistema podía efectivamente realizar lo indicado, se diseñaron las pruebas siguientes:

4.1. PRUEBA DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL COMPUTADOR

Para determinar los valores de salida hacia los motores se tiene que definir el ángulo de movimiento de cada articulación y, de acuerdo a esto, la señal mínima y máxima de salida. Esto es, con movimientos de 0° a 180°, los valores digitales van de 0 a 255, lo que significa una variación de voltaje de 0 a 10 voltios. Esto a su vez implica una variación del ancho del pulso de control de 1ms. a 2 ms; es decir:

GRADOS	S BINARIA	S SALIDA	MOTORES
0	0	0	1 ms
180	255	10	2ms

Si se quiere mover una articulación un ángulo de 30° , el método de cálculo es de la siguiente manera: 0° corresponde a 1 ms y, dependiendo de la articulación, el máximo ángulo debe corresponder a 2 ms. (ejemplo 90°). Con un ángulo de 30° se tiene que realizar la operación:

1ms. corresponde a una variación de 90°

1° corresponde a una variación de $\frac{1ms.}{90^\circ} = 0.011$

30° corresponderán a una variación de $30 * 0.011ms. = 0.33ms.$

Por lo que la señal de salida deberá ser de: $1 + 0.33 = 1.33$ ms.

Para lograr una variación angular de 180° se debe sacar por la tarjeta de adquisición de datos 10 voltios. Este voltaje será menor cuanto menor sea el ángulo de giro deseado; lo que significa, por ejemplo, que para 90° la salida deberá ser de 5 voltios.

Para 30° , la salida deberá ser de 1.67 voltios, que corresponde a un número binario de 43 y equivalente a una señal de 1.33 ms. para el movimiento del motor. Al enviar este pulso, el motor se mueve a la posición de 30° . Si existe una fuerza externa que trata de apartarlo desde dicho ángulo, el servo se opondrá a este movimiento; lo que quiere decir, que si algo mueve el brazo externamente, el servomotor del manipulador tiene las señales de entrada para corregir el error.

Con estos cálculos y los movimientos permitidos por las diferentes articulaciones se tiene como resultado la siguiente tabla:

	MOVIMIENTO (GRADOS)	SEÑAL BINARIA	SEÑAL DE 2 MS.	SEÑAL DE 1 MS.
BASE	105°	0 – 149	5.8	0
BRAZO	130°	0 - 184	7.2	0
ANTEBRAZO	92°	0 – 131	5.1	0
MUÑECA	106°	0 – 150	5.9	0
PINZA	Apertura o Cierre	0 – 130	5.1	0

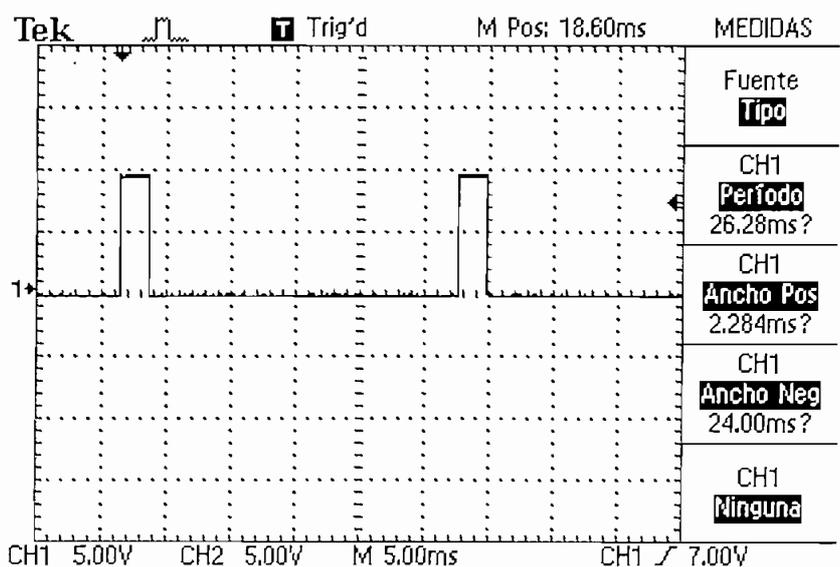
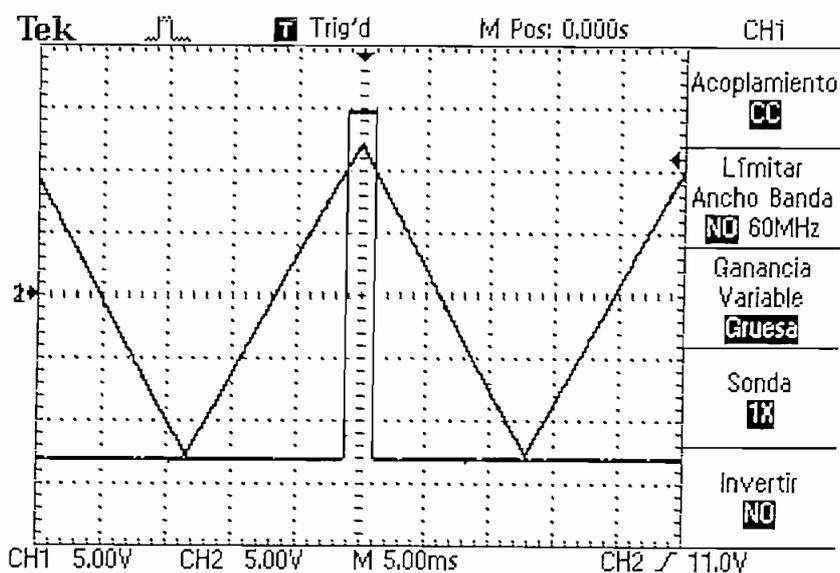
4.2. SEÑALES DE LA INTERFAZ

Ya se mencionó que la señal necesaria para el movimiento de los motores es una señal que varía de 1 a 2 ms. Falta puntualizar que esta señal puede tener una frecuencia de 15 a 30 Hz. En este proyecto se procedió a trabajar con una señal de frecuencia igual a 30 Hz., pues en las pruebas que se hicieron ésta es la que dio mejores resultados. Con un cambio de 1.2 ms. el servomotor gira hasta 130°. Sin embargo, el servo puede girar hasta 180° con un pulso un poco mayor, pero tal cosa no es necesaria por la forma física del brazo, que no permite movimientos del brazo más allá de 130°. En las articulaciones del codo y la base, incluso el ángulo máximo de giro es más pequeño. Más allá de 180° el servo R/C no puede ir debido a topes mecánicos que posee y que se evidencian por la emisión de un zumbido

Al hacer la prueba pertinente; es decir, al ingresar un valor aleatorio al sistema,

se comprobó que la articulación bajo chequeo efectivamente giraba el ángulo previsto. Los ángulos fueron medidos con un graduador común y tomando como referencia el ángulo y posición de la articulación antes de la prueba. Estas mediciones de hicieron para todas las articulaciones.

Las señales de control a los servos son muy similares a las que se esperaba teóricamente obtener, y son las siguientes:



Señales de control

4.3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE TRABAJO DEL MANIPULADOR

Se procedió a comprobar el volumen de trabajo del manipulador de acuerdo a las ecuaciones que se determinaron en el capítulo primero y que son las siguientes:

$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

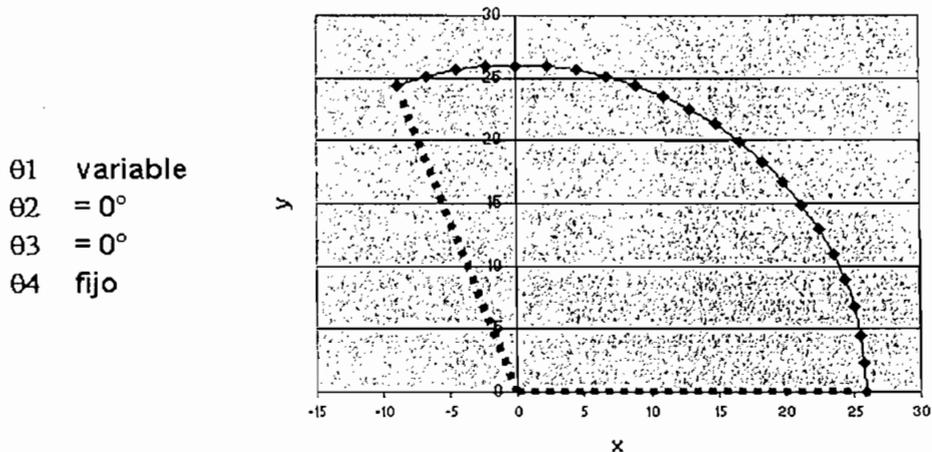
$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$z = (\cos \theta_4 \sqrt{x^2 + y^2}, \sin \theta_4 \sqrt{x^2 + y^2})$$

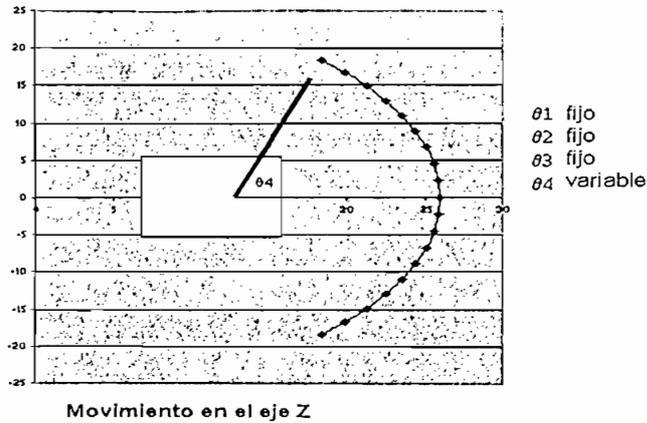
Al colocar estos valores en Excel y variar los diferentes ángulos se tiene los siguientes resultados:

- El área de variación de la estructura en el plano XY, moviendo únicamente el ángulo del brazo, con los demás en cero es:

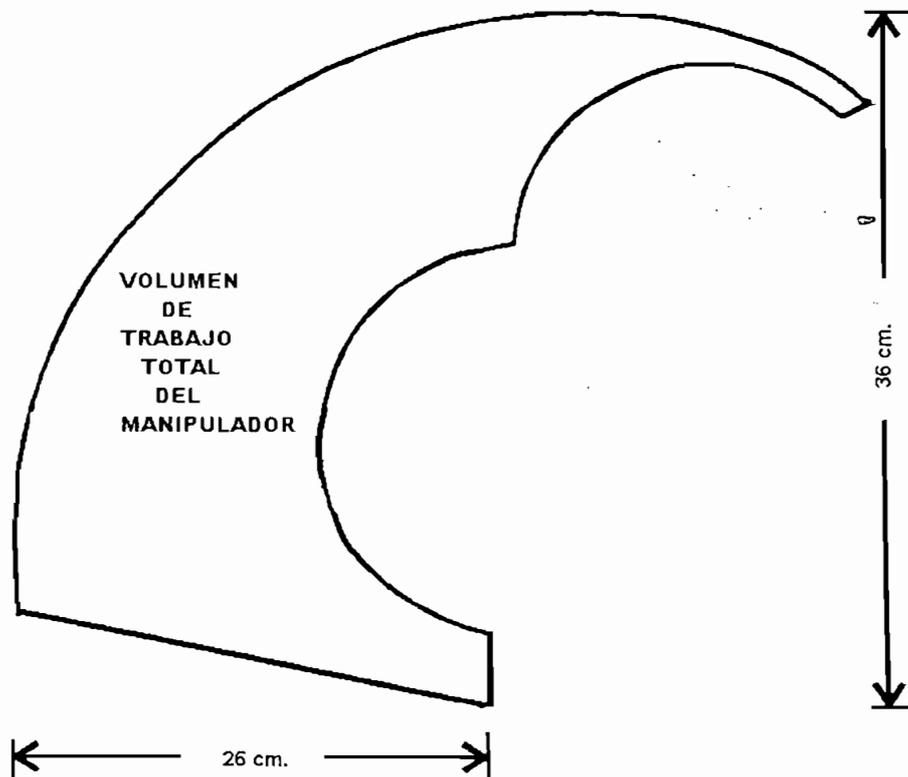
Movimiento en el eje XY



El plano de variación en el eje Z, considerando un punto XY fijo en el espacio de trabajo es:



Se puede ver que el volumen de trabajo es una semiesfera desde 0° hasta 120° , con movimiento únicamente del brazo y con el antebrazo y la muñeca mantenidas en un ángulo de 0° . Sin embargo, por limitaciones en cuanto a la fabricación pobre del brazo se ve que no puede ir hasta 0° , sino que empieza en 10° .



En cuanto a los otros resultados, es decir, movimientos de las demás articulaciones, el brazo cumplió lo que se determinó gráficamente en el programa. Su elongación máxima es de 26 cm. en forma horizontal y 36 cm. en forma vertical.

4.4. PRUEBAS CON EL PROGRAMA EN VISUAL BASIC

Se realizaron pruebas con las distintas opciones que presenta el programa y los resultados fueron los siguientes:

4.4.1. PRUEBA DE LA OPCION: CONTROL MANUAL

En donde se tiene la posibilidad de posicionar cada articulación del manipulador en un sitio determinado a voluntad, dentro de las limitaciones físicas propias del brazo adquirido, es decir, es el operador quien determina todos y cada uno de los movimientos del manipulador.

Se pudo constatar que el brazo se movía satisfactoriamente al lugar determinado. Se efectuaron pruebas de movimiento para determinar los valores máximos y mínimos de movimiento de los motores para llegar a la posición deseada. Se obtuvieron tres respuestas:

- Movimiento mínimo: cuando se incrementa en pasos de 1 bit, o lo que es lo mismo de 0.71° cada vez que se presiona el ratón
- Movimiento medio: cuando se incrementa en pasos de 10 bits, o de 7.1° al pulsar el ratón.

- Movimiento máximo: al mover con el ratón la barra correspondiente, la velocidad es determinada por el operador.

En todo caso, la velocidad máxima de movimiento de los servomotores es 0.24 segundos para 90° de giro.

Aparte de esto se realizaron pruebas de estabilidad; es decir, girar una articulación un cierto ángulo y comprobar visualmente si el brazo permanecía estático en la posición deseada. Se comprobó que el brazo era capaz de mantenerse permanentemente en la misma sin oscilaciones, hasta volverlo a cambiar de posición

4.4.2. PRUEBA DE LA OPCION: CONTROL AUTOMATICO POR TAMAÑO

Uno de los objetivos era permitir sujetar y cambiar de posición objetos de diversas formas definidas: circular, cuadrada, triangular u otra de forma, con el ingreso de las dimensiones del mismo. El manipulador cierra su gripper hasta la medida indicada, sin importarle la textura del mismo. En esta opción se pusieron como límites de tamaño objetos no mayores de 3.5 cm por el tamaño real del efector final. Las piezas deben ser sujetas por su lado mayor, pues es de esta forma se tiene una mayor superficie de contacto y de allí se logra un agarre más satisfactorio, más estable y con la mínima presión necesaria. Al sujetar los objetos desde su lado más pequeño, el manipulador tendría que realizar mayor esfuerzo.

Se comprobó que el brazo puede sostener satisfactoriamente los objetos

definidos. Se hicieron pruebas con cajas pequeñas, bolas de diferente diámetro pero rugosas, ya que el manipulador no toma en cuenta si el objeto es liso o no, y al tener objetos con menor coeficiente de rozamiento se necesita ejercer mayor presión, lo que implica más ajuste.

4.4.3. PRUEBA DE LA OPCION: CONTROL POR PESO

En cuanto al control por peso se hicieron pruebas con diferentes objetos de la misma forma y textura pero con distinto peso. Como ya se explicó, la mano humana detecta el peso y la forma del objeto y de acuerdo a esto cierra los dedos y ejerce una fuerza para levantarlo, tanto mayor al tener objetos más pesados. El programa de control sensa el peso con una balanza y de acuerdo a esto y a las dimensiones del objeto cierra los dedos de la pinza hasta cierto punto, más mientras mayor sea el peso.

Debido a que no se tiene un sistema de visión para poder identificar las dimensiones del objeto, se le debe indicar al programa y por su intermedio al manipulador cuáles son éstas. Por lo tanto, las pruebas se hicieron con objetos de dimensiones conocidas: una caja de 1 cm. vacía y llena, para poder variar el peso, una bola liviana y una pesada (tomando en consideración que el manipulador no puede sostener objetos mayores de 5 onzas, por su constitución física), esferográficos livianos y pesados del mismo diámetro, etc.

En todas estas opciones, a más de sujetar el objeto, se pudo realizar el movimiento de las otras articulaciones sin que el mismo se caiga o resbale, para llevarlo a otro lugar. Esto es lo que hacen los manipuladores industriales:

cogen un objeto de un sitio determinado y lo llevan a otro.

4.4.4. PRUEBA DE LA OPCION PROGRAMACION

Consiste en darle al manipulador los ángulos de cada una de las articulaciones: base, hombro, codo y muñeca para que con una sola orden, el brazo se sitúe en un punto de su espacio de trabajo. Una vez allí puede agarrar el objeto de manera manual. Al realizar esta operación, todas las articulaciones deben moverse al mismo tiempo, lo que implica que los cinco servomotores (uno en la base, codo y muñeca, y dos en el hombro) deben recibir la orden de posicionamiento y ejecutarla; es por ello que en esta opción se consume la mayor cantidad de corriente de la fuente.

La manera de indicar la posición es mediante el ingreso de los valores en binario para las diferentes articulaciones:

Para la base entre 0 y 150

Para el hombro entre 0 y 184

Para el codo un valor entre 0 y 131

Para la muñeca un valor entre 0 y 150

Existe también la posibilidad de grabar estas posiciones en un archivo de texto (sin extensión) y poderlas recuperar en cualquier momento. El archivo puede ser creado y editado en cualquier procesador de palabras.

4.4.5. PRUEBA DE LA OPCION PESAR

Al escoger la opción peso del objeto se habilita el timer correspondiente que permite la lectura del puerto de entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos, en donde está la señal correspondiente al peso del objeto colocado sobre la balanza. Debido a que la lectura se la hace a la velocidad del computador y como la señal de entrada tiene un pequeño rizado, natural en toda señal, la lectura del peso estaría cambiando continuamente, a no ser que se lea cada cierto tiempo o en su defecto se lea todos los valores y cada cierto número de ellos se sume y saque el valor promedio, para ser éste el que se visualice en la pantalla. Esta última opción es la que se realiza: se leen 2000 valores y se saca el peso promedio de ellos, presentándolos en pantalla con dos dígitos de aproximación.

Se hicieron pruebas con pesos entre 0.1 y 4 libras, que son los valores para los que se diseñó el circuito de acondicionamiento de señal de la galga extensométrica colocada en la balanza y sus lecturas fueron comprobadas con una balanza comercial para establecer si existían diferencias, lo cual ocurrió dentro de un margen de error del 5%. La balanza puede, sin embargo, pesar objetos hasta de 12 libras. Para hacerlo se debería modificar el valor del potenciómetro de ganancia del acondicionador, con el fin de obtener a la salida señales variables entre 0 y 10 voltios con pesos de 0 a 12 libras.

4.4.6. PRUEBA DE LA OPCION ANIMACION

Es una opción hecha para poder visualizar gráficamente lo que hace el

manipulador al mover sus articulaciones y no interfiere para nada en su posicionamiento. Permite, mediante sus movimientos determinar los puntos de alcance del brazo.

Es de anotar que, al ser el programa de control ejecutado en un lenguaje de alto nivel, la secuencia de instrucciones de movimiento, implican una serie de operaciones que deben ser realizadas y que consumen tiempo de ejecución. Es por esto que, al salir de una pantalla a otra, el brazo se mueve ligeramente debido a que en un entorno gráfico se necesita un tiempo relativamente largo para poder graficar las pantallas y esto demora la salida de las señales a la tarjeta de adquisición de datos que, como se dijo anteriormente, debe ser constantemente alimentada por la señal de salida para poder mantenerla y, por lo tanto, para poder enviar la señal exacta a los servomotores que controlan la posición de las articulaciones.

Este problema es más notorio en computadores de baja velocidad. Obviamente, al ir aumentando la misma, las instrucciones se ejecutan más rápidamente y el movimiento del brazo durante los cambios de pantalla es casi imperceptible.

4.5. PRUEBA DEL SENSOR DE PESO

Se realizaron pruebas a la balanza de medición del peso de los objetos que debían ser sujetados por el manipulador. Se determinó que puede medir hasta 12 libras de peso, siempre y cuando los objetos, generalmente de formas regulares como cuadrados, rectángulos, polígonos, etc. puedan caber

sobre la balanza, cuyo tamaño es de 12 cm x 5 cm de ancho.

La señal de salida del acondicionador da valores entre 0 y 10 voltios, totalmente proporcionales al peso, para medidas entre 0 y 4 libras. Sin embargo, el brazo levanta objetos no mayores a 5 onzas debido a su estructura. Esto no es una incongruencia sino que se debía probar el programa de control para pesos más significativos (que son los que en la práctica ameritarían ser levantados) y así asegurar de que todo estaba trabajando correctamente en el caso de la balanza y el programa de control.

En el computador se puede ver el peso del objeto en las pantallas de control manual por tamaño, control automático por tamaño, control por peso y en la pantalla de menú.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se debe anotar que las pruebas con el manipulador fueron orientadas netamente a comprobar si realmente los cuerpos son sostenidos por la pinza con la presión necesaria para no resbalarse. De ahí que no se tengan datos numéricos de mediciones, sino más bien, una experiencia práctica del mismo. Por lo mismo, las conclusiones y recomendaciones que se exponen a continuación son el resultado de las observaciones que se hicieron de todo el sistema, durante el diseño y posteriormente durante el empleo de éste.

5.1. CONCLUSIONES.

Los manipuladores industriales tienen la particularidad de manejar por lo general un solo tipo de pieza y necesitan de cierta reprogramación para cambiar a otro tipo o dimensiones del objeto. El manipulador del presente trabajo, en cambio, no necesita programación, sino tan solo escoger de una lista cual es el objeto a ser sostenido y de acuerdo a esto ejerce la acción correspondiente. Esta alternativa considero menos complicada que tener que reprogramar el software de control.

El sistema de control toma en cuenta la forma del objeto o el tipo de objeto para sostenerlo, sin que intervengan otros factores como temperatura, humedad y demás. Los sensores naturales que tiene la mano del hombre, por el contrario, permiten evaluar casi instantáneamente estas otras variables y considero que eventualmente se tendrán que instalar otros sensores que proporcionen a este primer prototipo de tales habilidades.

En parte de la literatura técnica revisada, se mencionan ciertos robots más

sofisticados que, a nivel experimental, poseen sensores "dactilares" de contacto y/o de fuerza para determinar si la pieza entró en contacto con el efector final y luego determinar la fuerza que se debe aplicar. Como se comprenderá, llegar a dotar de esta habilidad "humana" a la pinza no es solo de la inquietud de nuestra Institución sino también de otros equipos de trabajo al nivel mundial. Y es que solo así se logrará emplear un manipulador y el software aquí desarrollado para que un operador del sistema pueda recoger piezas de peso muy variable sin rayarlas o destruirlas en el intento.

Este trabajo demostró que el uso de la computadora en el control del movimiento de un brazo de robot si es factible y facilitaría muchas tareas. También demuestra que la programación se la puede hacer en un lenguaje de alto nivel, lo que implica más facilidad de programación y que para el enlace se puede emplear uno de los pórtilos del mismo, ya sea serial, paralelo o por medio de una tarjeta de adquisición de datos para el ingreso y/o salida de los datos hacia o desde la computadora.

Para trabajar con objetos más grandes o más pesados definitivamente que se debe cambiar a un manipulador más robusto (aunque lamentablemente más caro); sin embargo, con el software desarrollado después de unos pocos cambios (unas pocas variables) estaría listo para cumplir con el objetivo global que se persigue: levantar pesos con un sistema que incluye un manipulador e información visual sobre las características física y de ubicación del objetivo.

transformaciones adecuadas.

El diseño del efector final definitivamente que debe mejorarse para tener un control más preciso de la apertura o cierre del mismo. En lugar de tener un cable siguiendo el método de los frenos de una bicicleta para ejecutar los movimientos, se debería optar mejor por un sistema de engranajes para realizar dicha acción.

Otra alternativa de mejora en el agarre podría ser que en lugar de tener dos dedos se puedan tener manos mecánicas con tres dedos idénticos separados uniformemente.

Lo ideal sería diseñar manos mecánicas con cuatro o cinco dedos usando nudillos con resortes y varias articulaciones en cada dedo. Debe notarse que todavía no se ha logrado una versión satisfactoria a nivel comercial y, por lo mismo, hay una puerta abierta para trabajos futuros que den más prestigio a nuestra Institución.

Para evitar el movimiento que se produce al pasar de una pantalla a otra se debería optar por un lenguaje y programa que trabajen a una velocidad más alta, para que el refrescamiento de la pantalla sea más rápido. Se podría intentar desarrollar en assembler las rutinas de control hechas en VISUAL BASIC. En el lado del hardware, el avance en la velocidad de las nuevas computadoras ayudarán a superar este inconveniente, espero, en un futuro no muy lejano.

ANEXOS

:

ANEXO A
BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCTION TO ROBOTICS. Phillip John McKerrow. Adisson Wesley.
1993

ROBOTICA INDUSTRIAL. TECNOLOGIA, PROGRAMACION Y APLICACIONES. Mikell P. Groover, Mitchell Veiss, Roger N. Nagel y Nicholas G. Odrey. McGraw-Hill. 1990

AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES. Robert F. Coughlin. Federick F. Driscoll. Prentice Hall Hispanoamericana. 1993

NATIONAL SEMICONDUCTOR. Linear Data Book. National Semiconductor.
1982

ELECTRO CRAFT CORPORATION. DC Motors - Speed Controls - Servo Systems. Electro Craft Corporation. 1973

INTRODUCTION TO ROBOTICS IN CIM SYSTEMS. James A. Rehg. 1997

CIRCUIT CELLAR INK. The computer Applications Journal. #73. Agosto de
1996

MICROSOFT VISUAL BASIC. PROGRAMMER'S GUIDE. Microsoft Corporation. 1992

MICROSOFT VISUAL BASIC. LANGUAGE REFERENCE. Microsoft Corporation. 1992

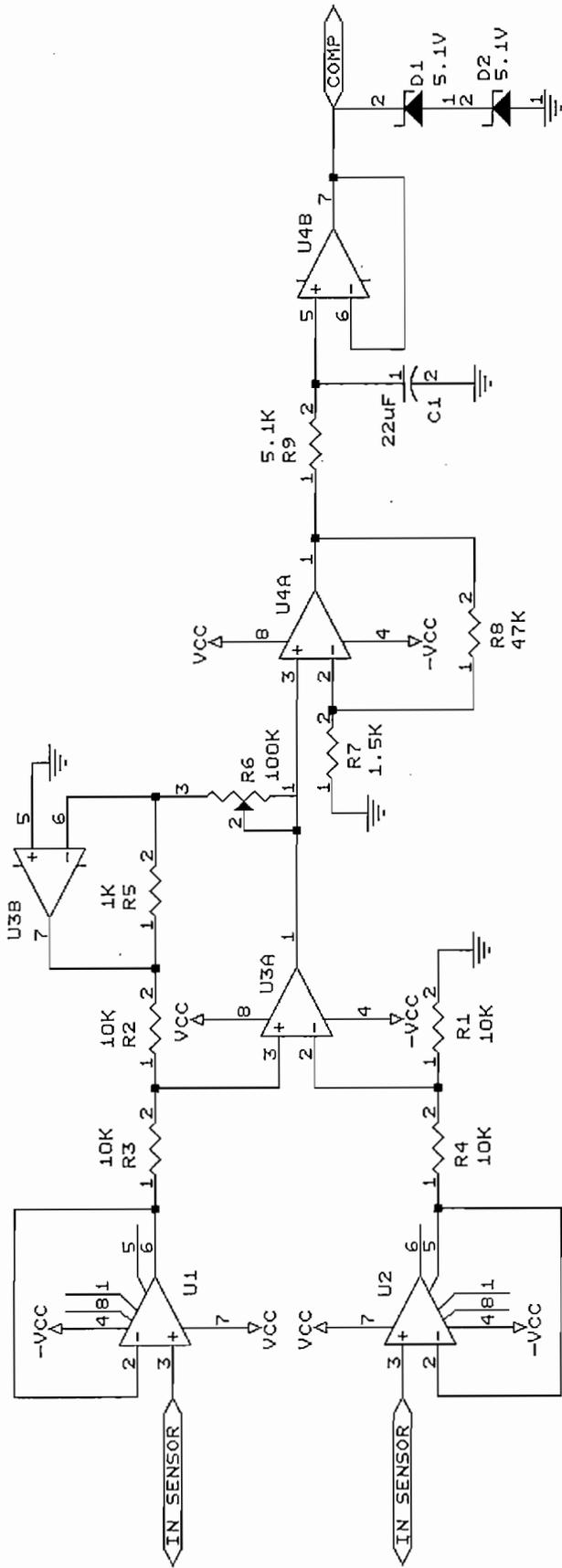
BUILD A SERIAL SEVO CONTROLLER. COMPUTER CRAFT. Scott Edwards. Mayo de 1993

SIEMENS. COMPONENTS. Volumen XXXI. Mayo/Junio de 1996

CONTROL OF ROBOT MANIPULATORS. F.L.Lewis, C.T.Abdallah, D.M.Dawson. MacMillan. 1993

ROBOTICA, UNA INTRODUCCION. D. McCloy, D.M.J.Harris. Limusa. Grupo Noriega Editores. Mèxico. 1993

FUNDAMENTOS DE ROBOTICA, Barrientos Antonio, Peñin Luis Felipe, Balaguer Carlos, Aracil Rafael, Mc.GrawHill, 1997



Title	SENSOR DE PESO
Size	Document Number
A	REV
Date:	November 4, 1999
Sheet	1 of 1