ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELÉCTRONICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA ENTREGA DE HOJAS VOLANTES PUBLICITARIAS EN CENTROS COMERCIALES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

GEOVANNY FRANCISCO JACHO JAMI
geovanny_jacho@hotmail.com

ILIANA VERÓNICA PILLAJO TITUAÑA
veronica_pillajo@hotmail.com

DIRECTOR: NELSON SOTOMAYOR, MSc.
nelson.sotomayor@epn.edu.ec

Quito, agosto 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Geovanny Francisco Jacho Jami e Iliana Verónica Pillajo Tituaña, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____	_____
Geovanny Francisco Jacho Jami	Iliana Verónica Pillajo Tituaña

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Geovanny Francisco Jacho Jami e Iliana Verónica Pillajo Tituaña, bajo mi supervisión.

_____

Nelson Sotomayor, Msc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

CONTENIDO

RESUMEN…… iv
PRESENTACION…… v
CAPITULO 1…… 1
GENERALIDADES…… 1
1.1LA ROBOTICA…..... 1
1.1.1 CLASIFICACION DE LA ROBOTICA..... 1
1.2 SISTEMAS SIMILARES..... 4
1.2.1 ROBOT VIDEO..... 4
1.2.2 ROBOT C2..... 5
1.3 LA ROBOTICA EN EL ECUADOR……..... 6
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO..... 9
1.5 PARTES DEL PROTOTIPO..... 9
1.5.1 ESTRUCTURA DEL ROBOT..... 9
1.5.2 SENSORES..... 10
1.5.3 CONTROL……..... 15
1.5.4 ACTUADORES……..... 15
1.5.5 BRAZO ROBOTICO……..... 17

CAPITULO 2…… 24
DISEÑO Y CONTRUCCION DEL PROTOTIPO…… 24
2.1 INTRODUCCION…… 24
2.2 DISEÑO MECANICO…….. 25
2.2.1SOLIDWORKS…… 25
2.2.2 DISEÑO DEL CHASIS…… 28
2.2.3 DISEÑO DEL BRAZO ROBOTICO……... 30
2.3 DISEÑO ELECTRONICO……. 33
2.3.1 TRACCION DIFERENCIAL…….. 33
2.3.2 ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACION DE HOJAS…… 39
2.3.3 CABEZA DEL PROTOTIPO…….. 41
2.3.4 BRAZO ROBOTICO……. 42
2.3.5 SENSOR TERMICO……. 48
2.3.6 SENSOR ULTRASONICO…….. 50

2.3.7 REPRODUCCION DE SONIDO……. 51
2.3.8 CONTROL MANUAL……. 57
2.3.9 SISTEMA DE ALIMENTACION……. 60

CAPITULO 3……. 65
DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL…….. 65
3.1 INTRODUCCION……. 65
3.2 CINEMATICA DEL BRAZO ROBOTICO……. 65
3.2.1 PROBLEMA CINEMATICO DIRECTO……. 66
3.2.2 PROBLEMA CINEMATICO INVERSO……. 74
3.3 ARQUITECTURA DEL ROBOT……. 77
3.4 IMPLEMENTACION DE LOS PROGRAMAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO……. 78
3.4.1 RUTINA OPERACIÓN MASTER…….. 79
3.4.2 SUBRUTINA MOVER CABEZA…….. 83
3.4.3 SUBRUTINA ALIMENTAR HOJA……. 87
3.4.4 SUBRUTINA ENTREGAR HOJA…….. 88
3.4.5 SUBRUTINA CONTROL REMOTO…….. 94
3.4.6 SUBRUTINA DETECTAR OBSTACULOS……... 95
3.4.7 SUBRUTINA DETECCION DE PERSONAS……. 96
3.4.8 SUBRUTINA REPRODUCCION SONIDO…….. 98

CAPITULO 4……. 100
PRUEBAS Y RESULTADOS…… 100
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES…….. 100
4.2 PUESTA EN MARCHA…….. 100
4.3 TRACCION DIFERENCIAL……. 101
4.4 COMPORTAMIENTO ANTE OBSTACULOS…….. 102
4.5 CABEZA PROTOTIPO……. 102
4.6 ALIMENTACION DE HOJAS……. 103
4.7 BRAZO ROBOTICO……. 104
4.8 CONTROL REMOTO…….. 105
4.9 RESULTADOS……. 105

4.10 LISTA DE MATERIALES DEL PROTOTIPO…… 106

CAPITULO 5…… 109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 109
5.1 CONCLUSIONES…… 109
5.2 RECOMENDACIONES…… 111

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS…… 113
ANEXOS…….. 116

RESUMEN

Los últimos avances tecnológicos han implicado el reemplazo de mano de obra por autómatas programables desde tareas cotidianas en el hogar hasta actividades complejas en el área industrial.

El uso de la robótica móvil en tareas específicas es novedoso, aún más cuando estas tareas están orientadas a prestar un servicio al público. Esto implica la utilización de un sistema adecuado de interacción hombre – robot.

En el presente proyecto se desarrolla el diseño y construcción de un robot para la entrega de hojas volantes publicitarias en centros comerciales.

Para el movimiento del robot se ha implementado un sistema de tracción diferencial con dos motores y una rueda libre. El robot puede trabajar en dos modos de operación: automático y manual.

Para la operación de modo automático cuenta con el apoyo de varios sensores: un sensor térmico para la detección de personas, un sensor de ultrasonido para evitar obstáculos, sensores infrarrojos, etc. La entrega de las hojas volantes publicitarias se la hace a través de un brazo robótico. Para el almacenamiento y la alimentación de las hojas se utiliza un mecanismo de impresora.

A fin de tener un robot agradable a la vista y llamativo al público, éste cuenta con una cabeza que posee movimiento de párpados y luz en sus ojos, además tiene reproducción de sonido.

El sistema de control del robot cuenta con una serie de microcontroladores atmega que se comunican entre sí a través de red I2C.

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo se desarrolla el diseño y construcción de un prototipo de robot para la entrega de hojas de publicidad a través de un brazo robótico de cuatro grados de libertad.

En el Capítulo 1 se describe aspectos básicos relacionados con la robótica, se presenta sistemas similares al proyecto desarrollado, se analiza brevemente el desarrollo de la robótica en el Ecuador, así como también se explica de modo general los conceptos básicos de sensores y actuadores utilizados en el prototipo, para finalmente referir fundamentos de un brazo robótico.

En el Capítulo 2 se realiza el diseño mecánico y electrónico del prototipo. Para el diseño mecánico, utilizando el software de diseño Solidworks y empleando las herramientas de este paquete computacional se efectúa el análisis de esfuerzos de la estructura del robot. En cuanto al diseño electrónico, se hace el diseño de todos los componentes requeridos para el control de los elementos que integran el prototipo: sensores y actuadores.

La lógica de todos los programas de control y la explicación de las rutinas empleadas así como los respectivos diagramas de flujo, son explicadas en el Capítulo 3.

En el Capítulo 4 se describen las diferentes pruebas realizadas para verificar el adecuado desempeño del prototipo, tanto en modo manual como en modo automático. Inicialmente se realizan pruebas para supervisar que el sistema de tracción diferencial sea capaz de mover todo el mecanismo. Seguidamente se verifica que el mecanismo sea capaz de detectar clientes cercanos y que la entrega de hojas de publicidad sea efectiva. Finalmente se comprueba que todos los elementos adicionales como sonido funcionen adecuadamente junto

con todo el sistema. Para complementar este capítulo se realiza un listado de todos los elementos utilizados y sus respectivos costos.

Las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo de este proyecto se presentan en el Capítulo 5.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

En los últimos años la robótica a nivel mundial ha tenido un desarrollo importante y significativo, muestra de ello se tiene a nivel comercial una amplia gama de robots implementados para cumplir con diversos objetivos. En este capítulo se desarrolla aspectos básicos relacionados con la robótica, se hace referencia a robots comerciales similares al proyecto a desarrollar y se indican las características más importantes de los actuadores y sensores empleados en el prototipo, así como también se describe a breves rasgos los principales fundamentos de un brazo robot.

1.1 LA ROBÓTICA

La robótica es una rama de la ciencia encaminada a diseñar y construir aparatos y sistemas capaces de realizar tareas propias de un ser humano [1].

1.1.1 Clasificación de la Robótica

Existe una amplia gama de clasificación de la robótica orientada a los robots físicos, una de ellas se indica a continuación:

1.1.1.1 Robótica Industrial

Se dedica a la construcción de máquinas capaces de realizar tareas mecánicas y repetitivas de una manera muy eficiente, precisa y con costos reducidos. Estas tareas están vinculadas con la producción de fábricas e industrias. Muchos tipos de estos robots son utilizados para soldaduras, carga y descarga, paletizado y ensamblaje [1].

Figura 1.1 Robot industrial, tomado de [1].

1.1.1.2 Robótica de Servicio

Se centra en el diseño y construcción de máquinas capaces de proporcionar servicios directamente a los miembros que forman sociedad. Este tipo de robots pueden operar de forma parcial o totalmente autómata para ofrecer servicios útiles para el bienestar de los humanos [1].

En estos momentos estos robots están realizando principalmente tareas de transporte y mensajería (p. ej. en hospitales), limpieza, cirugía y asistencia a minusválidos, aunque se espera su extensión a otras aplicaciones en un futuro próximo [1].

Figura 1.2 Robot de servicio, tomado de [2].

1.1.1.3 Robótica Inteligente

Son robots capaces de desarrollar tareas que, desarrolladas en un ser humano, requieren el uso de su capacidad de razonamiento. Este tipo de robots permiten concebir sistemas avanzados con capacidad de autogobernarse con el concepto de inteligencia artificial. Los sensores para este tipo de robots le permiten percibir fenómenos externos o de su entorno local en base a los cuales toma decisiones. Los circuitos de control permiten el gobierno del sistema completo, acoplándose continuamente a las tareas solicitadas. Este circuito de control es el equivalente robótico del cerebro humano [1].

Figura 1.3 Robot inteligente, tomado de [3].

1.1.1.4 Robótica Humanoide

Se dedica al desarrollo de sistemas robotizados para imitar determinadas peculiaridades del ser humano. Un robot humanoide tiene como objetivo la capacidad de tratar fácilmente con humanos, realizando tareas útiles en ambientes complejos y cambiantes [1].

Comúnmente este tipo de robots poseen el mismo aspecto exterior que el cuerpo humano, pueden realizar tareas como caminar, pero no pueden interactuar completamente con el mundo. Otra ventaja de estos robots es que pueden realizar tareas adoptando posturas que un humano no puede realizar, el uso de sensores para adoptar precisión en movimientos es muy complejo.

Figura 1.4 Asimo, proyecto de investigación de Honda, tomado de [4].

1.2 SISTEMAS SIMILARES AL PROYECTO A DESARROLLAR

Como parte de la robótica de servicios se han desarrollado robots utilizados en eventos que ayudan a atraer y a entretener al público asistente. Algunos de estos forman parte de los robots más avanzados en la actualidad a nivel de movimientos, control e inteligencia.

Trackter es una empresa que ofrece elementos de alta tecnología aplicada a eventos, ferias, exposiciones, acciones promocionales y puntos de venta. Entre sus productos destinados a la promoción con robots destacan los siguientes [5].

1.2.1 Robot Video

Es un robot interactivo de última generación con 1,70m de altura, desplazamiento sobre orugas en todas las direcciones, movimiento de brazos, manos y dedos. Transporta una bandeja porta folletos de 48cm x 54cm, presenta diálogo interactivo con transmisión y recepción de voz. Su cabeza incluye un monitor LCD, que le permite: realizar presentaciones multimedia de marcas de productos, visualizar un rostro virtual para dialogar en tiempo real con el público y generar juegos tematizados con la marca a promocionar [5].

Figura 1.5 Robot Video, tomado de [5].

1.2.2 Robots C2

Robots como el C2 pueden desplazarse en todas direcciones, pueden dialogar en forma interactiva con el público presente, están controlados por un sistema a distancia y son ideales para la realización de acciones promocionales en la vía pública, centros comerciales, exposiciones, teatros y discotecas [5].

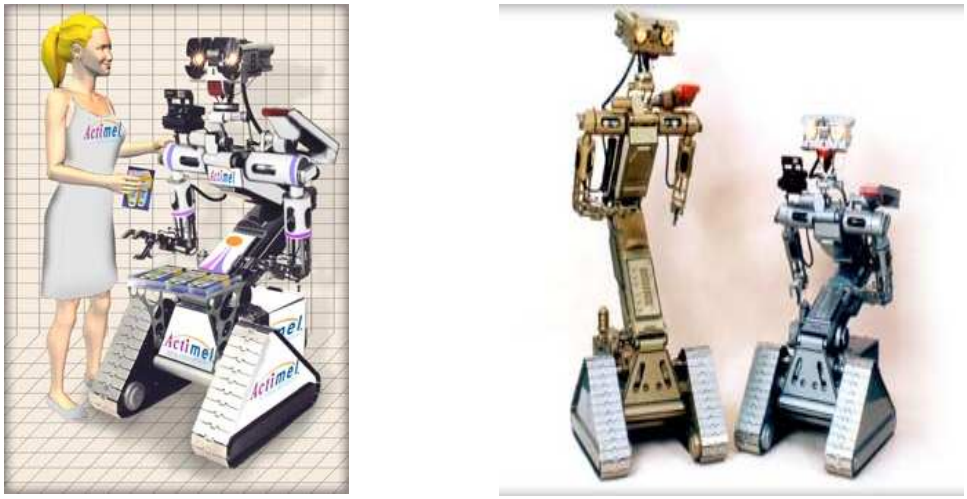

Figura 1.6 Robots C2, tomado de [5].

1.3 LA ROBÓTICA EN EL ECUADOR

En el caso del Ecuador no se puede decir que realmente existan empresas dedicadas a la robótica, lo poco que se ha hecho en este sentido son las pequeñas microempresas dirigidas por jóvenes profesionales que luego de la culminación de sus estudios pretenden abrirse campo en este mercado. Como muestra de lo mencionado, se tiene que en el país existen nacientes compañías dedicadas al desarrollo tecnológico tanto de software y hardware en el campo de la automatización de procesos, diseño de robots para ayuda a personas con discapacidad y el desarrollo de robots didácticos encaminados al aprendizaje y formación estudiantil.

El mayor aporte de investigación en el área de la robótica en el país se ha dado a nivel de universidades, en la Escuela Politécnica Nacional por ejemplo, se han desarrollado una serie de proyectos es esta línea, a continuación se indican algunos de ellos.

Iniciando la investigación en 1999, se desarrolló la Simulación y Ensamblaje de un Prototipo para Control y Navegación de un Robot Móvil. Se creó un programa en ambiente Windows 95/NT que simula un robot móvil de tracción diferencial, el programa permite editar ambientes de trabajo del robot. El prototipo ensamblado realiza tareas de navegación simple así como tiene la capacidad de buscar caminos alternativos evitando obstáculos. Adicionalmente, este robot tiene la opción de recoger información del medio ambiente que está explorando [6].

Continuando en el campo de los robots móviles, se estudió la tracción con oruga en el robot explorador Arcangel, este es un prototipo robot orientado a la exploración de lugares remotos a la ubicación del usuario, dando la posibilidad de visualizar el entorno físico a través de una cámara móvil de video con la facultad de visión en la oscuridad y la recolección de pequeños objetos por medio de una pinza, todo ello controlado por comandos de voz [6].

El estudio de los robots sin patas no ha pasado desapercibido, en esta línea se realizó el diseño y construcción de un robot tipo gusano que se desplaza horizontalmente y en línea recta de forma análoga a como lo hacen los gusanos. Así mismo, se construyó un robot hexápodo con la capacidad de desplazarse en terreno irregular, subir obstáculos que tengan un tamaño inferior a cinco centímetros o evadirlos si estos son mayores a ese tamaño, además con la capacidad de detectar agujeros en el piso para no caer en ellos [6].

La idea de que las aplicaciones robóticas presten servicios al ser humano ha inspirado la realización de varios proyectos. Orientado a la ayuda de personas con discapacidad se desarrolló un prototipo de robot móvil para ser usado como un sistema de guía para no videntes, el cual tiene la capacidad de detectar obstáculos cercanos que se encuentren en su trayectoria dentro de su ambiente de trabajo, además el prototipo en caso de encontrar obstáculos decide sobre un camino alternativo, si es uno sólo, e informa al usuario si hay dos alternativas, para que él tome la decisión final [6].

Así mismo, orientado a la asistencia de personas discapacitadas se implementó un prototipo de silla de ruedas semiautomata que sirve de guía a personas minusválidas no videntes para permitirles mayor autonomía en lo que a su movilización se refiere [6].

Dirigido a la publicidad, se realizó el diseño y construcción de un robot para promoción de productos, el prototipo ofrece productos al público mediante una bandeja mecánica, la implementación de una pantalla gráfica, teclado y la reproducción de voz le permite interactuar con los clientes [6].

Los últimos proyectos en el área de la robótica desarrollados en la EPN han sido dirigidos a la investigación de nuevos avances tecnológicos como la visión artificial y brazos robóticos. En este campo se han realizado proyectos como el de un robot industrial con arquitectura antropofórmica dotado con visión artificial, el mismo que aborda diferente temática que convergen en el desarrollo de una aplicación específica orientada a la adquisición y

procesamiento de imagen. Así mismo se desarrolló el proyecto de construcción, ensamblaje y control de un robot de tres grados de libertad tipo Scara (Selective Compliance Assembly Robot Arm), cuyo sistema es capaz de realizar diferentes tipos de tareas como seguimiento de trayectorias definidas por el usuario y tareas de paletización sobre la base del estudio de la cinemática directa e inversa [6].

A nivel de otras universidades del país, la investigación de la robótica también tiene su espacio, a continuación se mencionan los proyectos más relevantes desarrollados.

En la línea de los robots móviles se han diseñado e implementado una serie de robots orientados a cumplir tareas específicas como es el caso de: robot jugador de fútbol controlado por radio frecuencia, robot de batalla controlado mediante dispositivo bluetooth, robot bailarín, robot de seguridad para un local comercial, prototipo de asistente de hogar; aspiradora autónoma [7].

Diseñados para realizar funciones difíciles de llevar a cabo por el ser humano, se han desarrollado: robot electroneumático escalador para inspecciones de lugares inaccesibles y robot móvil teleoperado para la localización de obstáculos en tuberías, entre otros [8].

En el Ecuador, el impacto tecnológico que conlleva la robótica ha motivado a que algunas universidades del país integren nuevas carreras a su pensum de estudios. Así es el caso de la Mecatrónica carrera orientada a optimizar los procesos de manufactura y fabricación, con la automatización de los mismos, sumando aplicaciones de ingeniería mecánica, electrónica y de programación computacional.

Para finalizar, la realidad es que en el país la industria ecuatoriana prefiere importar tecnología para la automatización de los procesos, se suma a esto el poco apoyo económico y científico por parte del Estado y del sector privado para el desarrollo de proyectos robóticos que puedan utilizarse en la industria,

por lo que la producción y masificación de sistemas robóticos realizados en el Ecuador, resulta difícil por los costos de producción que implica.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Se plantea realizar el diseño y construcción de un robot que será utilizado para entregar hojas volantes publicitarias en centros comerciales.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un robot que entregará hojas volantes publicitarias por medio de un brazo robótico. El robot contará con una plataforma móvil con tracción diferencial. Dispondrá de un mecanismo que permita almacenar y descargar hojas volantes las mismas que serán entregadas por el brazo robótico. Se implementará dos modos de funcionamiento: automático y mando por control remoto. En modo automático: el robot será capaz de llamar la atención del público por medio de movimientos y sonido, una vez detectada la presencia de una persona entrega una hoja volante con el brazo robótico. En el mando manual un operador con un control remoto manejará las funciones de movimiento y entrega de hojas. Para lograr un robot amigable en su desempeño se colocará una cabeza con movimiento de párpados y luz en sus ojos, así también se incluirá reproducción de audio.

1.5 PARTES DEL PROTOTIPO

Estructura: chasis
Sensores: térmico, infrarrojos, ultrasonido, encoders
Control: red de microcontroladores
Mecánica: motores dc y servomotores

1.5.1 ESTRUCTURA DEL ROBOT

El chasis es el encargado de dar soporte a todos los componentes del robot. Los materiales utilizados son: hierro, aluminio, plástico y acrílico.

La estructura ha sido diseñada con la finalidad de adecuar el mecanismo de desplazamiento, de almacenamiento de hojas, brazo robótico, cabeza y elementos adicionales como: baterías, módulos de control, parlantes, etc. La forma del chasis puede cambiar según el diseño lo permita.

1.5.2 SENSORES

Los sensores son elementos sensibles a magnitudes físicas (luz, temperatura, presión, etc) y mediante dispositivos intermedios transforman estas magnitudes en cambios eléctricos de manera que se puedan alimentar a un circuito de control. Los sensores proporcionan la información para que el robot pueda interpretar los fenómenos del exterior. En el proyecto se utilizaron sensores infrarrojos, térmico, ultrasónico.

1.5.2.1 Sensores de Proximidad

Los sensores de proximidad son elementos que detectan objetos o señales que se encuentran cerca del radio de acción del sensor. Este tipo de sensores actúan según el principio físico que utilizan: infrarrojos, ultrasónicos, magnéticos, capacitivos, etc [9].

Figura 1.7 Sensor de proximidad ultrasónico, tomado de [10].

1.5.2.1.1 Sensor Térmico

Son sensores térmicos los elementos que efectúan la conversión de la temperatura a medir en un valor de su resistencia eléctrica, que depende de la longitud de onda de la radiación del cuerpo caliente [11].

En este proyecto se utiliza el sensor térmico TPA81. Este sensor está formado por una matriz lineal de células sensibles a la temperatura que reciben el nombre de termopilas (TPA). Estas detectan luz infrarroja con una longitud de onda en el rango de 2µm a 22µm y que corresponde a la luz que desprenden los objetos calientes [12].

El sensor TPA81 consta de un total de 8 termopilas o pixeles agrupadas en una única hilera o matriz lineal, puede por tanto tomar temperaturas de 8 puntos adyacentes de forma simultánea. Cada termopila es capaz de detectar la llama de una vela a una distancia de 2m sin que se vea afectado por la luz ambiente. El sensor también dispone del control y las conexiones necesarias para gobernar un servo opcional al que puede estar fijado el propio sensor. El TPA81 utiliza el modo de comunicación I2C para su control [12].

Figura 1.8 Sensor TPA81, tomado de [12].

1.5.2.1.2 Sensores Ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos tienen como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas acústicas. Funcionan emitiendo un pulso ultrasónico contra el objeto a sensar, al detectar el pulso reflejado, se para un contador de tiempo que inició su conteo al emitir el pulso. Este tiempo es referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta con ello manda una señal eléctrica digital o analógica [9].

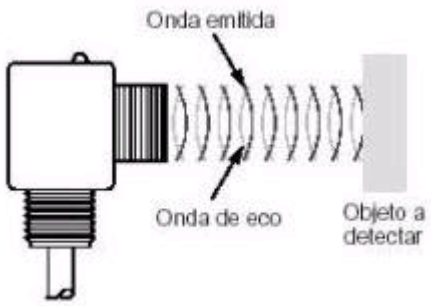

Figura 1.9 Principio de funcionamiento sensor ultrasónico, tomado de [9].

Este tipo de sensores operan en tres rangos de frecuencias: la baja, comprendida entre 20 y 100 KHz con mayores aplicaciones en la industria. Las de media frecuencia en el rango de 100KHz y 1 MHz para aplicaciones en equipos de rehabilitación y las de alta frecuencia ente 1 MHz y 13 MHz para equipos médicos [9].

1.5.2.1.3 Sensores Infrarrojos

Un sensor infrarrojo es un sensor de luz. Existen encapsulados en el que vienen incorporados tanto el emisor como el receptor. El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema puede entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez, esto es muy utilizado en esta aplicación [9].

Figura 1.10 Sensor infrarrojo, tomado de [13].

1.5.2.2 Encoders

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales, estos pulsos pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal.

El sistema de lectura se basa en la rotación de un disco graduado con un reticulado radial formado por líneas opacas alternadas con espacios transparentes. Este conjunto está iluminado de modo perpendicular por una fuente de rayos infrarrojos. El disco proyecta de este modo su imagen sobre la superficie de varios receptores, los receptores tienen la tarea de detectar las variaciones de luz que se producen con el desplazamiento del disco, convirtiéndolas en las variaciones eléctricas. Esta señal puede ser procesada electrónicamente para el control de velocidad o posición del dispositivo al cual esté acoplado [14].

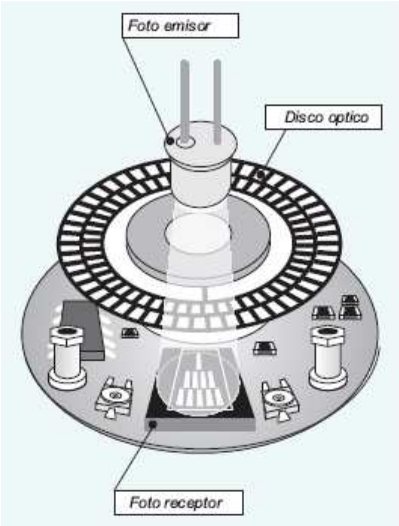

Figura 1.11 Estructura interna de un encoder, tomado de [14].

1.5.2.2.1 Encoder Incremental

Este encoder proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas desfasadas entre sí 90 grados los cuales por lo general son canal A y B. Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que con el otro canal es posible discriminar el sentido de rotación. Puede estar disponible otra señal llamada Z la que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder [14].

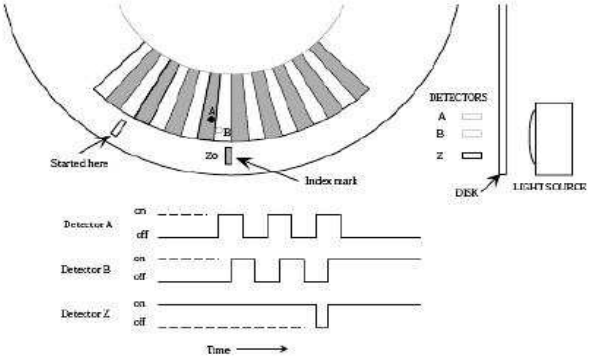

Figura 1.12 Disco óptico encoder incremental, tomado de [14].

1.5.2.2.2 Encoder Absoluto

El principio de funcionamiento de un encoder absoluto es muy similar a un encoder incremental en el que un disco que gira, con zonas transparentes y opacas interrumpe un haz de luz captado por foto receptores, luego estos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos, los cuales son tratados por la electrónica de salida. En este tipo de encoders la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. Por consiguiente los encoders absolutos no pierden la posición real cuando se corta la alimentación [14].

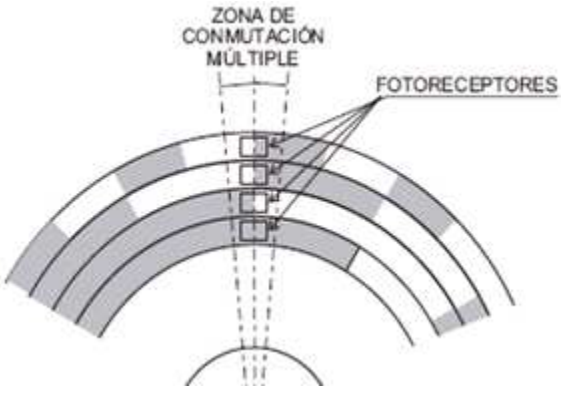

Figura 1.13 Disco óptico encoder absoluto, tomado de [14].

1.5.3 Control

Los circuitos de control son el cerebro del robot y en la actualidad están formados por componentes electrónicos complejos dependiendo de las funciones del robot y de lo que tenga que manejar. Actualmente los modernos microprocesadores y microcontroladores, así como otros circuitos específicos para el manejo de motores y relés, los conversores A/D y D/A, reguladores de voltaje, simuladores de voz, etc, permiten diseñar y construir tarjetas de control muy eficientes y de costo no muy elevado. El sistema de control y el lenguaje de programación forman el sistema de toma automática de decisiones, que incluye la planificación, el control de los movimientos y la interpretación de los datos que aportan los sensores.

1.5.4. Actuadores

Un actuador es un elemento que puede provocar un efecto sobre un proceso automatizado, es capaz de generar una fuerza a partir de la manipulación de la enegía eléctrica, líquidos o gases. Existen tres tipos de actuadores: eléctricos, hidraúlicos y neumáticos.

Como actuadores en este proyecto se han empleado varios motores dc, motor a pasos y servomotores, los mismos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica rotacional.

1.5.4.1 Motor dc

Es una máquina de corriente continua formada por dos partes; el estator y el rotor. El estator da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica, aquí se encuentran los polos que pueden ser de imanes permanentes o devanados, con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante las escobillas [15].

Figura 1.14 Motor dc, tomado de [16].

El fácil control de posición y velocidad de este tipo de motor, lo han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos.

1.5.4.2 Motor a pasos

Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres, si una o más de sus bobinas están energizadas [16].

Estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por cierto número de bobinas excitadoras. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Existen dos tipos de motores a pasos de imán permanente: bipolares y unipolares [16].

Figura 1.15 Motores a pasos, tomado de [16].

1.5.4.3 Servomotores

Un servomotor es un dispositivo que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia [17].

Los servomotores tienen un circuito de control y un potenciómetro, este está conectado al eje central del servo. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados [17].

La señal de control de estos motores se la puede obtener directamente desde un microcontrolador, mediante la adecuada programación de una señal PWM.

Figura 1.16 Servomotor, tomado de [18].

1.5.5 Brazo Robótico

Los brazos robóticos han tratado de asemejar los movimientos humanos, por lo que se han construido tomando en cuenta las articulaciones de los mismos; hombro, codo y muñeca.

1.5.5.1 Grados de libertad

Cada grado de libertad representa cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior [19].

Constituye un eje de movimiento, es un lugar donde el brazo puede curvar, rotar o trasladarse. El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los grados de libertad de las articulaciones que lo componen. Generalmente las articulaciones empleadas suelen ser únicamente de rotación, con un solo grado de libertad cada una, por lo que se puede identificar el número de grados de libertad por el número de actuadores presentes en el brazo robot. Es importante considerar el número de grados de libertad porque cada grado implica mayores requerimientos en cuanto a actuadores, encoders, complicados algoritmos de control y por supuesto mayor costo.

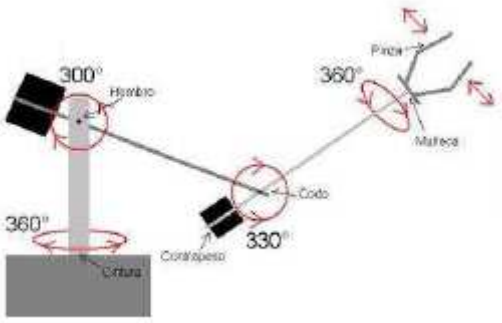

Figura 1.17 Representación de los grados de libertad, tomado de [20].

1.5.5.2 Tipos de configuraciones

La configuración del brazo robot hace referencia a su forma física. Existen algunas configuraciones básicas: cartesiana, cilíndrica, esférica o polar, scara y angular o antropofórmica.

1.5.5.2.1 Configuración cartesiana

Posee tres movimientos lineales, los cuales corresponden a los tres movimientos localizados en los ejes X, Y y Z. Se denomina interpolación lineal a la trayectoria realizada en línea recta, mientras que a la trayectoria efectuada en relación con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se denomina interpolación por articulación [21].

1.5.5.2.2 Configuración Cilíndrica

Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, el brazo robot con este tipo de configuración está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación [21].

1.5.5.2.3 Configuración esférica o polar

Presenta varias articulaciones, cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto, rotacional, angular y lineal [21].

1.5.5.2.4 Configuración Scara

En esta configuración el brazo puede ejecutar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales, además puede realizar un movimiento lineal mediante su tercera articulación [21].

1.5.5.2.5 Configuración angular o antropomórfica

Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares, el brazo en esta configuración también puede realizar interpolación lineal (moviendo simultáneamente dos o tres de sus articulaciones) [21].

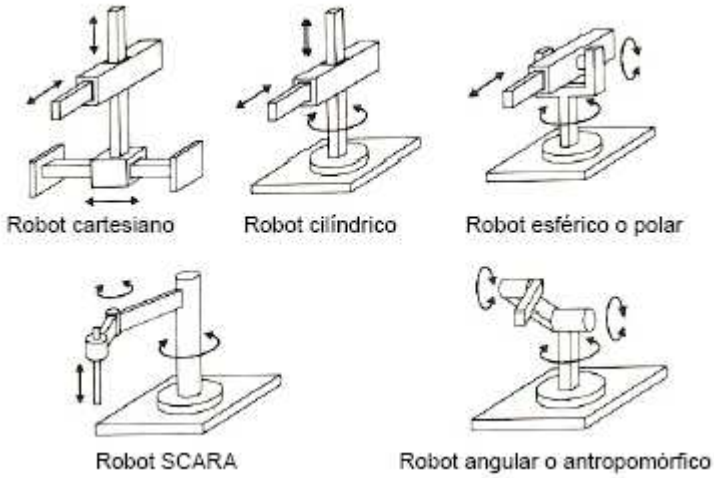

Figura 1.18 Configuraciones básicas de brazos robóticos, tomado de [20].

1.5.5.3 Efectores finales

Es el elemento que se coloca en el extremo del último enlace del manipulador y que suministra la capacidad de agarre del objeto que se pretende manipular, o la colocación de una herramienta apropiada para la tarea a realizar (pintura, soldadura, etc). Para su diseño deben considerarse características como: capacidad de carga, fuerza de agarre, geometría y dimensiones de los objetos que debe manejar, tolerancias, tipos de movimientos que pueda realizar, alimentación (neumática, eléctrica, hidraúlica), tiempo de actuación del mecanismo de agarre y las características de la superficie de contacto.

1.5.5.4 Cinemática del brazo robot

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares. Existen dos problemas fundamentales para resolver la cinemática del robot, el primero de ellos se conoce como el problema cinemático directo, y consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las

articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot, el segundo denominado problema cinemático inverso resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas [22].

1.5.5.4.1 Cinemática Directa [22]

Se utiliza fundamentalmente el álgebra vectorial y matricial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo. Dado que un robot puede considerar como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante articulaciones, se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación T que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta matriz T será función de las coordenadas articulares.

1.5.5.4.2 Cinemática Inversa [22]

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial. A diferencia del problema cinemático directo, en el que se aborda el problema a partir de la utilización de matrices de transformación homogéneas independientemente de la configuración del robot, en el problema cinemático inverso, el procedimiento de obtención de las ecuaciones es fuertemente dependiente de la configuración del robot.

Al contrario de lo que ocurría en el problema cinemático directo, con cierta frecuencia la solución del problema cinemático inverso no es única; existiendo diferentes trayectorias que posicionan y orientan el extremo del robot de mismo modo. En estos casos una solución cerrada permite incluir determinadas reglas o restricciones que aseguren que la solución obtenida sea la más adecuada

posible.

No obstante, a pesar de las dificultades comentadas, la mayor parte de los robots poseen cinemáticas relativamente simples que facilitan en cierta medida la resolución de su problema cinemático inverso.

Los métodos geométricos permiten tener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar el robot. Para ello utilizan relaciones trigonometrías y geométricas sobre los elementos del robot. Se suele recurrir a la resolución de triángulos formados por los elementos y articulaciones del robot.

Como alternativa para resolver el mismo problema se puede recurrir a manipular directamente las ecuaciones correspondientes al problema cinemático directo [22].

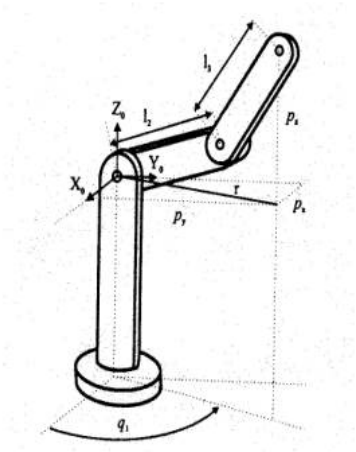

Figura 1.19 Eje de coordenadas para solucionar problema de cinemática inversa, tomado de [22].

1.5.5.5 Realimentación de Posición

Dependiendo de la aplicación que tenga un brazo robot se requiere que este cumpla con características como exactitud y precisión en la ubicación del efector final, para ello es necesario contar con sistemas de realimentación de

posición y velocidad, es decir sistemas de control en lazo cerrado que permitan verificar constantemente si la ubicación de las articulaciones es la esperada.

El uso de encoders resuelve de modo sencillo el problema de conocer la posición y dirección de sentido de giro de un motor, sin embargo, resulta complicado en nuestro medio acceder a motores con encoders y pero aún actuadores acorde a los requerimientos deseados. Por esta razón, para el presente proyecto se utiliza como parte del control de posición del motor principal del brazo, la realimentación potenciométrica, es decir, la lectura de un potenciómetro acoplado al eje del motor.

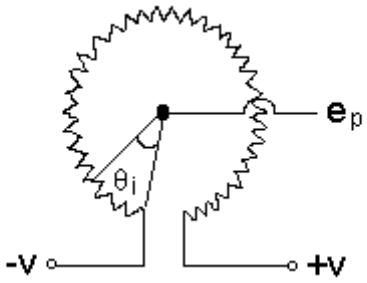

Figura 1.20 Potenciómetro de posición, tomado de [23].

La lectura de voltaje del potenciómetro es proporcional a la posición angular del actuador sobre cuyo eje esté montado el potenciómetro.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

2.1 INTRODUCCIÓN

En cuanto al diseño del prototipo de este proyecto se tiene dos aspectos fundamentales: el diseño mecánico y el diseño electrónico. Para el diseño mecánico se utilizó el paquete computacional SOLIDWORKS a fin de realizar un análisis virtual del posible diseño a construir de modo que se garantice un óptimo desempeño del mismo una vez elaborado físicamente.

Dada la aplicación que tendrá el prototipo objeto de este proyecto, se consideraron varios detalles al momento de planificar su diseño. Empezando por las dimensiones, ya que se trata de un robot que interactúa directamente con el público, entregándole publicidad, se pensó en hacerlo de un tamaño adecuado de modo que pueda entregar las hojas a una altura cómoda para que una persona la pueda tomar con facilidad. En cuanto a los materiales a emplear para el ensamblaje estos debían ser resistentes, manipulables y livianos a fin de no aplicar demasiado peso al sistema de tracción. Por otro lado, al estar dirigida la entrega de hojas volantes por parte del prototipo robot en centros comerciales se debía seleccionar adecuados elementos para el sistema de movilidad, las llantas a emplear debían asegurar un buen agarre sobre la superficie.

Para el diseño en lo que se refiere al chasis había que considerarse que era necesario contar con un soporte para el brazo y que vaya en relación con el mecanismo de almacenamiento y alimentación de las hojas.

A fin de contar con un diseño amigable y que pueda captar la atención del público a primera vista, se pensó en elementos complementarios como: una cabeza con iluminación en sus ojos y movimiento de sus párpados, así como un sistema de reproducción de sonido.

2. 2 DISEÑO MECÁNICO

Para el diseño mecánico del prototipo se utilizó el paquete computacional bajo Windows llamado SOLIDWORKS versión 2009.

2.2.1 SOLIDWORKS

Solidwoks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico. Este programa permite modelar piezas y conjuntos extrayendo de ellos planos, así como otro tipo de información necesaria para su construcción. Este programa funciona en base a técnicas de modelado con sistemas CAD [24].

2.2.1.1 SimulationXpress

SimulationsXpress es un módulo de SOLIDWORKS 2009 que ayuda a determinar que tan bien rendirán nuestros diseños en ciertas condiciones, como si la pieza se romperá o se deformará al aplicar determinado peso.

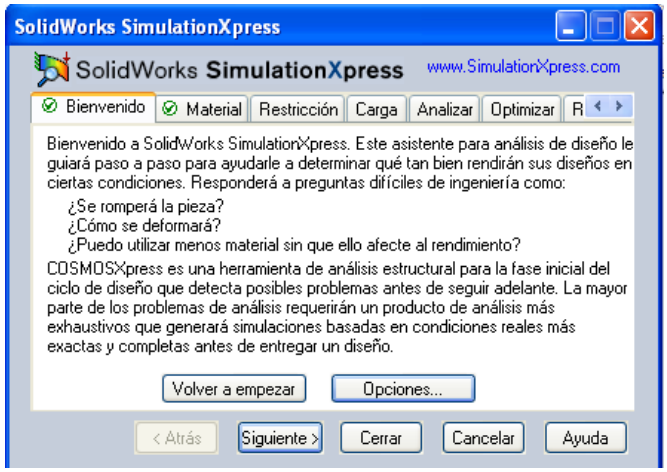

Figura 2.1 Ventana de SimulationXpress de SOLIDWORKS 2009

Al ingresar a SimulationXpress se tiene una ventana como la de la figura anterior, en la cual se indica claramente el procedimiento a seguir para realizar el análisis de esfuerzos de una pieza sólida previamente diseñada en

SOLIDWORKS. Para el análisis de esfuerzos de cualquier pieza, se requiere ingresar la siguiente información:

En primer lugar se define el material con el que se construirá la pieza, dando clic en siguiente se accede a la ventana donde se puede seleccionar de un amplio listado, el tipo de material a utilizar.

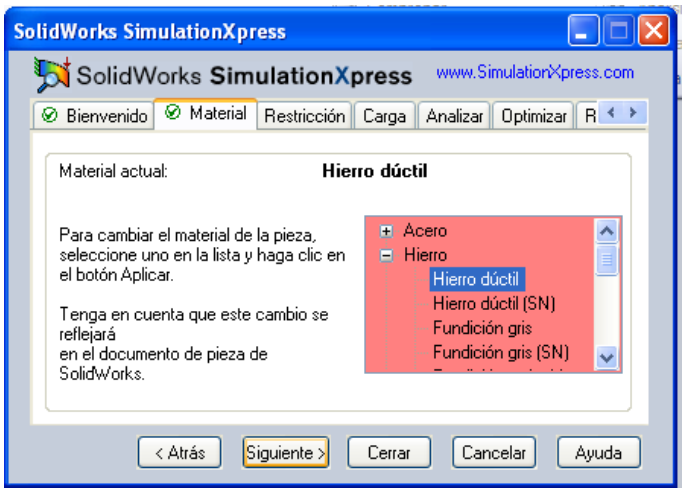

Figura 2.2 Selección de tipo de material

A continuación, se pasa a la pantalla de restricciones donde se recopila la información de las partes de la pieza que permanecerán fijas para el análisis.

Figura 2.3 Especificación de restricciones

Una vez establecidas las restricciones se accede a la pantalla de cargas, en donde se selecciona el tipo de carga con su respectivo valor: fuerza o presión, a la que la pieza será sometida en el análisis.

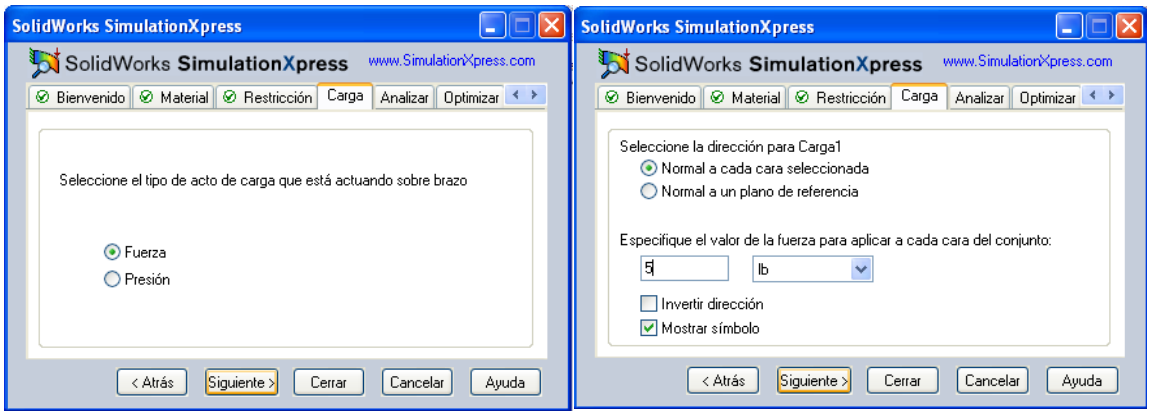

Figura 2.4 Selección de tipo y valor de carga

A continuación se despliega la pantalla analizar donde se indica el valor del factor de seguridad más bajo del diseño. Un factor de seguridad inferior a 1 significa que el material ha cedido y que el diseño no es seguro. Un factor de seguridad superior a 1 significa que el material no ha cedido, es decir que el diseño es seguro. Por lo que se debe garantizar que el factor de seguridad siempre sea mayor a 1.

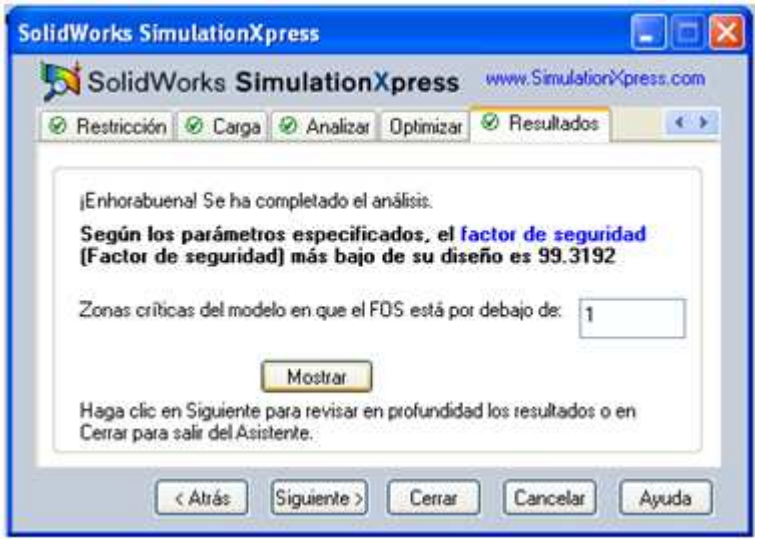

Figura 2.5 Análisis Factor de Seguridad

Dando clic en siguiente aparece la pantalla criterio de Mises, el cual establece que un material dúctil empieza a ceder o cortarse en cualquier punto donde la tensión de von Mises sea igual al límite elástico del material, este criterio es el que permite determinar el factor de seguridad de la pieza, al dividir el valor

límite elástico para la tensión de von Mises. El límite elástico del material es una propiedad de todo material [25].

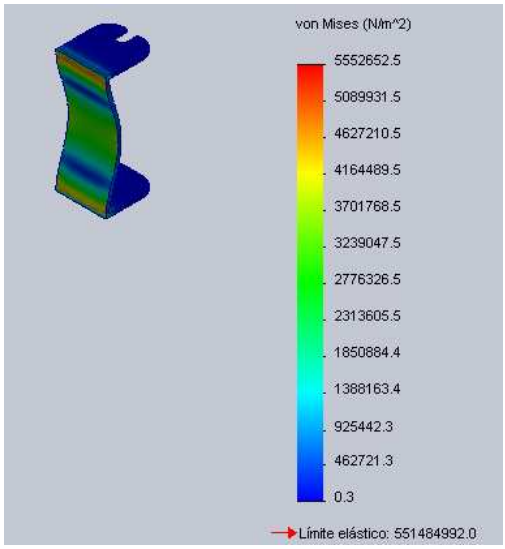

Figura 2.6 Criterio de Von Mises

La herramienta SimulationXpress permite realizar otros análisis dependiendo del tipo de información que se necesite, pero para el presente diseño el análisis ya detallado es suficiente para cumplir con los objetivos.

2.2.2 DISEÑO DEL CHASIS

Considerando todos los elementos mecánicos a utilizar en el robot, se diseñó una estructura desmontable, fácilmente transportable, adecuada para el ensamblaje de todas sus partes.

Tomando en cuenta el peso de elementos como: motores, batería, y chasis; se empleó como material el hierro para la estructura principal puesto que el aluminio causó en un principio deformaciones en el mecanismo.

El robot terminado completamente tiene una altura aproximada de 1.15m.

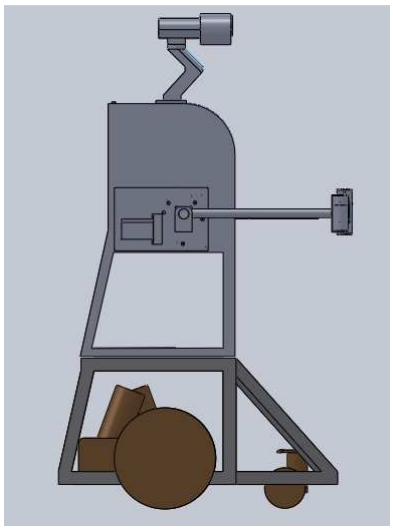

Figura 2.7 Estructura del prototipo, vista lateral

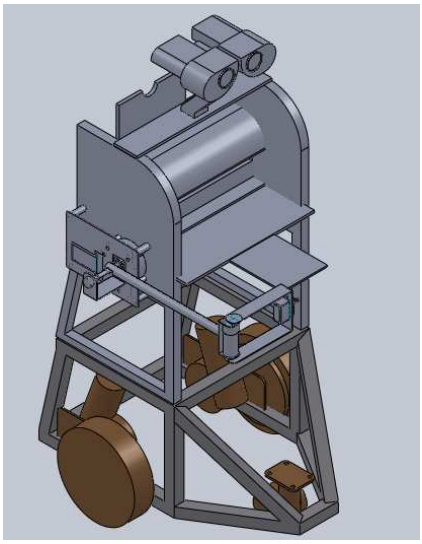

Figura 2.8 Estructura del prototipo, vista en 3D

2.2.2.1 Análisis de esfuerzos del chasis

Se realizó un análisis de esfuerzos para la estructura del chasis que soportará la tracción diferencial y todo el peso del robot. Considerando que sea 70 libras el peso máximo aproximado que soportará el chasis tomando en cuenta la suma del peso de los elementos más representativos como: batería 25 libras, chasis completo 35 libras, brazo 2.5 libras y 5 libras adicionales en accesorios complementarios como parlantes, módulos de control y soporte, en simulationxpress se obtuvo un factor de seguridad mayor que 1 con lo que el

diseño en hierro soporta sin problemas todo el peso del mecanismo del prototipo.

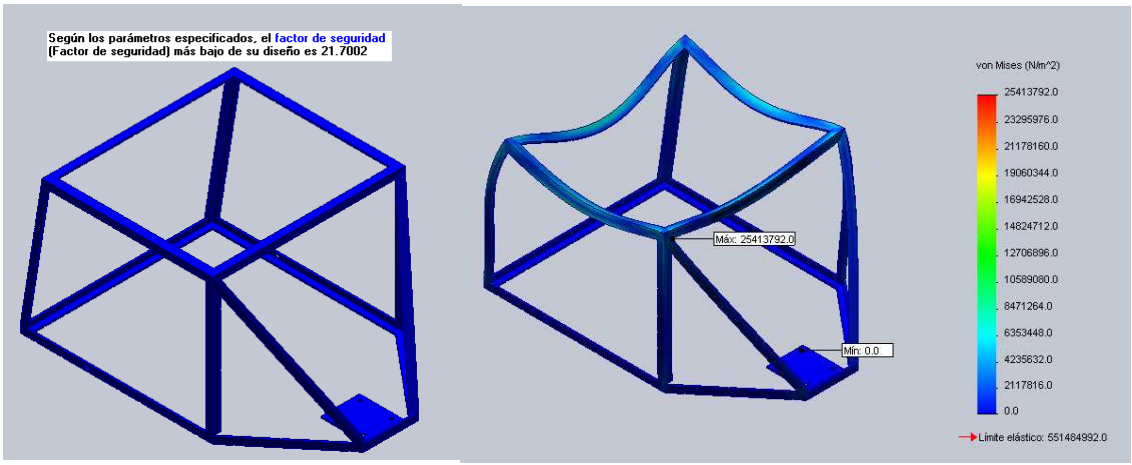

Figura 2.9 Factor de seguridad y criterio de Von Mises en el chasis

2.2.3 DISEÑO DEL BRAZO ROBÓTICO

El robot para la entrega de hojas volantes utiliza un brazo robótico de cuatro grados de libertad. La estructura mecánica del brazo robótico consta de las siguientes piezas:

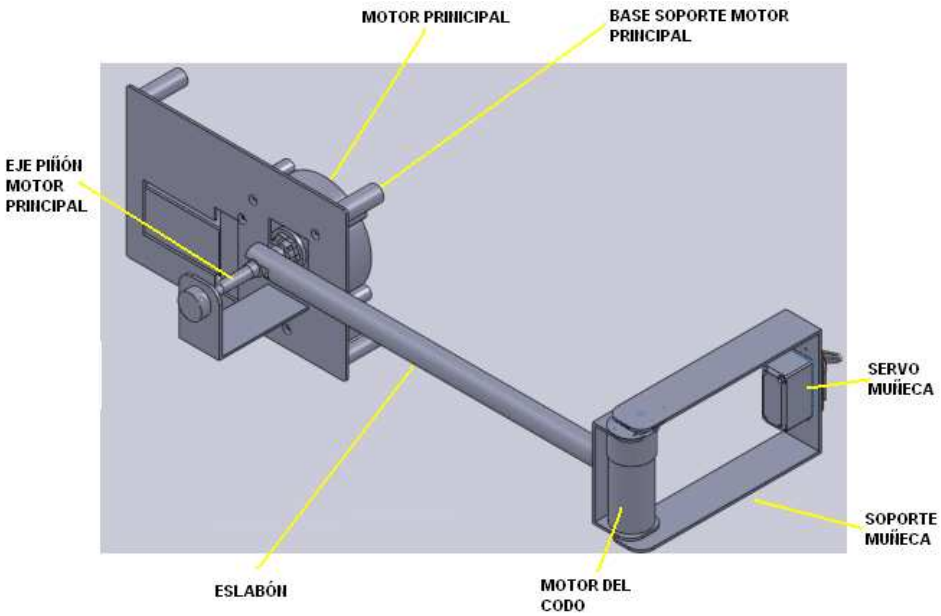

Figura 2.10 Estructura del brazo robótico

2.2.3.1 Análisis de esfuerzos del brazo robótico

En base a los ensamblajes realizados en el brazo robot, se puede efectuar un análisis de esfuerzos, considerando el peso que soportará cada una de estas piezas.

2.2.3.1.1 Análisis de esfuerzos de la base soporte del motor principal

Para este análisis se consideró una fuerza que simula el peso máximo de todo el brazo robótico que es de 2.5 libras. La estructura que soportará todo el esfuerzo es la base soporte del motor principal del brazo.

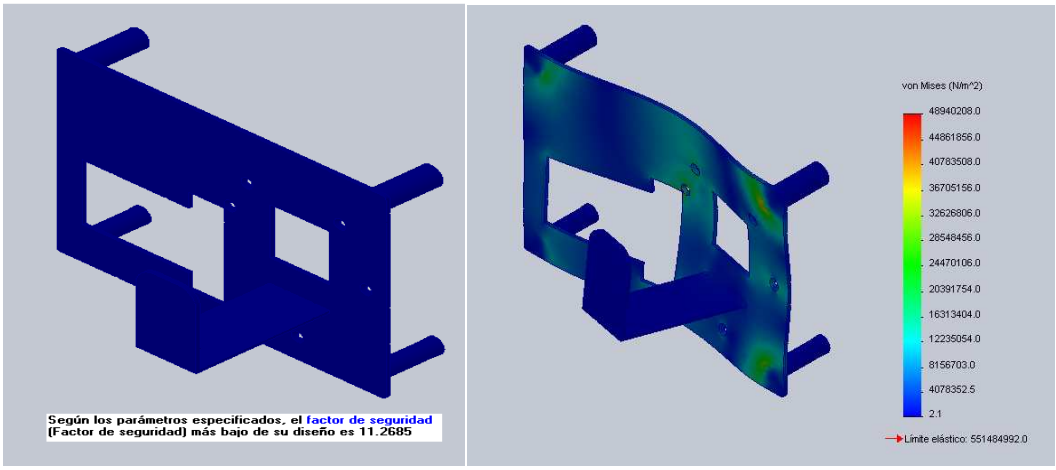

Figura 2.11 Factor de seguridad y criterio de Von Mises en el soporte del motor principal

Según el análisis se tiene un factor de seguridad ampliamente mayor que 1 con lo que el diseño es confiable para soportar todo el peso del brazo. Hay que indicar que el material seleccionado para esta pieza es el hierro.

2.2.3.1.2 Análisis de esfuerzos del eje piñón del motor principal

Sobre el eje piñón del motor principal va montado el eslabón que lo conecta con el motor del codo, por lo cual para este análisis se ha considerado el peso del eslabón, del motor del codo, del soporte de la muñeca y de la pinza. Se

estima que el peso total que soportará el eje piñón es de 1.5 libras. Del análisis realizado en SimulationXpress se obtuvo los siguientes resultados:

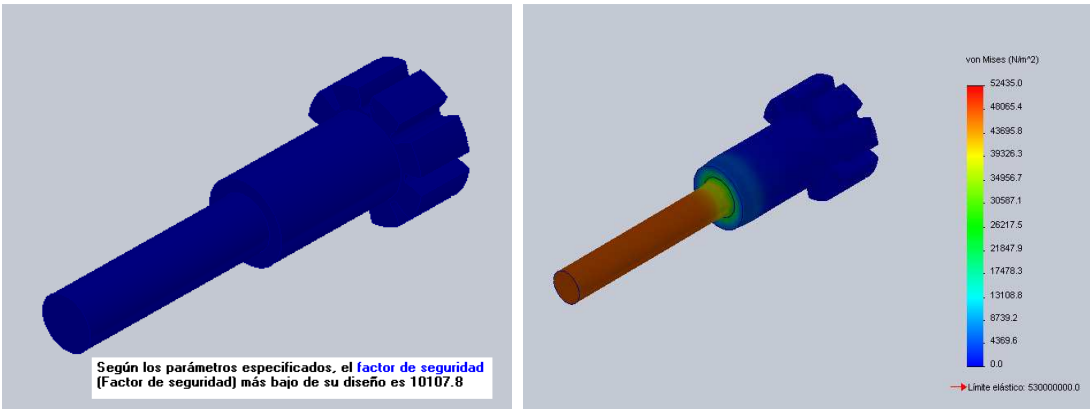

Figura 2.12 Factor de seguridad y criterio de Von Mises para eje pinón

El material utilizado para este eje piñón es el acero en aleación 10-45, con lo cual el factor de seguridad es mayor que 1, garantizando el diseño.

2.2.3.1.3 Análisis de esfuerzos del eslabón

Para el análisis de esfuerzos del eslabón se consideró el peso del motor del codo, del soporte de la muñeca y de la pinza, aproximando a un valor de 0.3 libras. Con esta información se tiene el siguiente análisis.

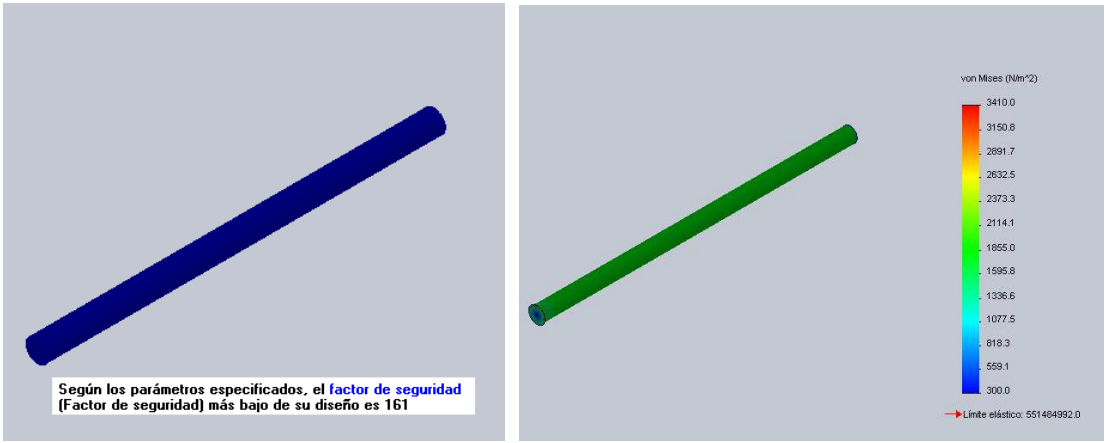

Figura 2.13 Factor de seguridad y criterio de Von Mises para el eslabón

El amplio factor de seguridad obtenido garantiza que el eslabón soportará sin problemas todo el peso a manejar, el material utilizado para esta pieza es el hierro.

2.2.3.1.4 Análisis de esfuerzos del soporte de la muñeca

El soporte de la muñeca es de aluminio tomando en cuenta que el peso a soportar por el mismo es el peso de la pinza aproximado de 0.2 libras y el peso de la carga a manejar, que en este caso al ser una hoja es considerado despreciable.

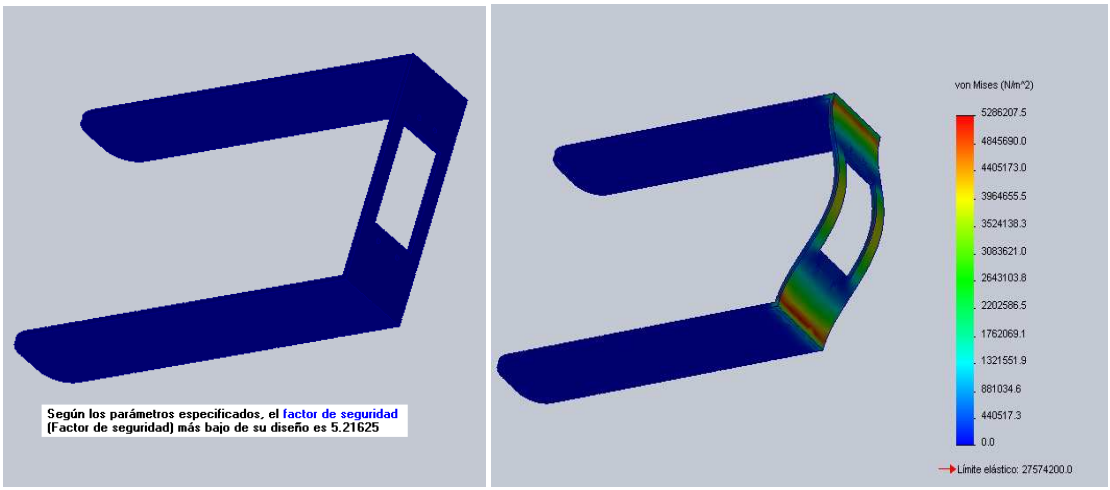

Figura 2.14 Factor de seguridad y criterio de Von Mises soporte muñeca

2.3 DISEÑO ELECTRÓNICO

2.3.1 TRACCIÓN DIFERENCIAL

La configuración diferencial se presentó como la más adaptable para el traslado del prototipo. Consta de dos ruedas situadas diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del robot. Cada una de ellas va dotada de un motor que opera de modo independiente. Se tiene además una tercera rueda que sirve de apoyo.

Para el sistema de tracción implementado en este proyecto se buscó motores con adecuadas características en cuanto a torque, voltaje, velocidad con el fin de que responda adecuadamente ante las condiciones de trabajo a las que serán sometidos.

Se utilizó dos motores dc con caja reductora, cuyas principales características son:

Voltaje: 12 V dc

Torque: 26Nm

Velocidad: 200 rpm

Peso: 2.7 lb

Resistente al agua

Figura 2.15 Motor utilizado para la tracción diferencial

Para el acople de las llantas con los motores se adaptó un sistema de engranajes a fin de disminuir la velocidad y aumentar el torque, se utilizó una relación de dientes entre los piñones de 11:75.

Figura 2.16 Relación de engranajes entre eje del motor y la llanta

2.3.1.1 Circuito de control del sistema de tracción diferencial

Para el control de los motores de tracción se usa la configuración de un circuito puente H, esta configuración en su forma básica consta de cuatro interruptores, que para este caso serán dos transistores NPN (Q3,Q4) y dos transistores PNP (Q1,Q2) dispuestos en forma de “H”. Si se activa los transistores Q1 y Q4, mientras están libres Q2 y Q3, se puede activar la dirección del motor en un sentido, mientras que si se activa los transistores Q2 y Q3 dejando libres a Q1 y Q4, se puede activar la dirección en el otro sentido. Es importante notar que no se podrán activar los cuatro transistores al mismo tiempo ya que esto ocasionaría un corto circuito, para evitar este tipo de activación se establece una rutina de protección interna en la programación del microcontrolador de manera que nunca ocurra lo indicado.

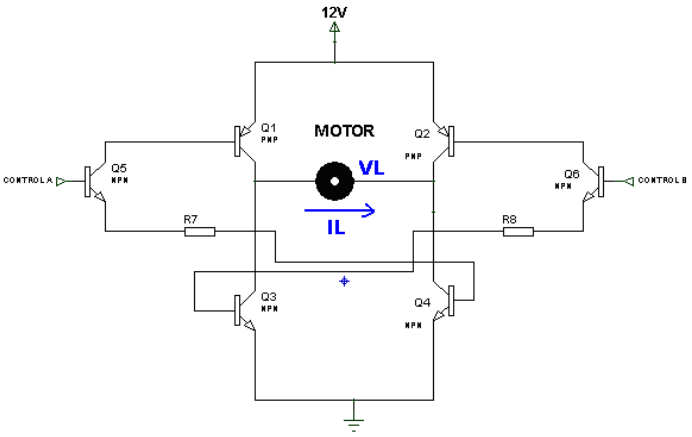

Figura 2.17 Circuito para el control de los motores tracción diferencial

Los transistores del puente H son del tipo Darlington capaces de soportar la corriente que demandan cada uno de los motores de la tracción que es de 3A. En la parte superior son transistores TIP127 PNP y los de la parte inferior son TIP122 NPN cada uno de estos soporta una circulación de corriente de 5A, además constan de diodos internos de protección para este tipo de arreglo, lo que garantiza el diseño. El control de los transistores Darlington se realiza por medio de transistores de propósito general 2N3904.

Para el cálculo de las resistencias R7=R8 que son las resistencias limitadoras de corriente para cada sentido de giro, se analiza el siguiente circuito.

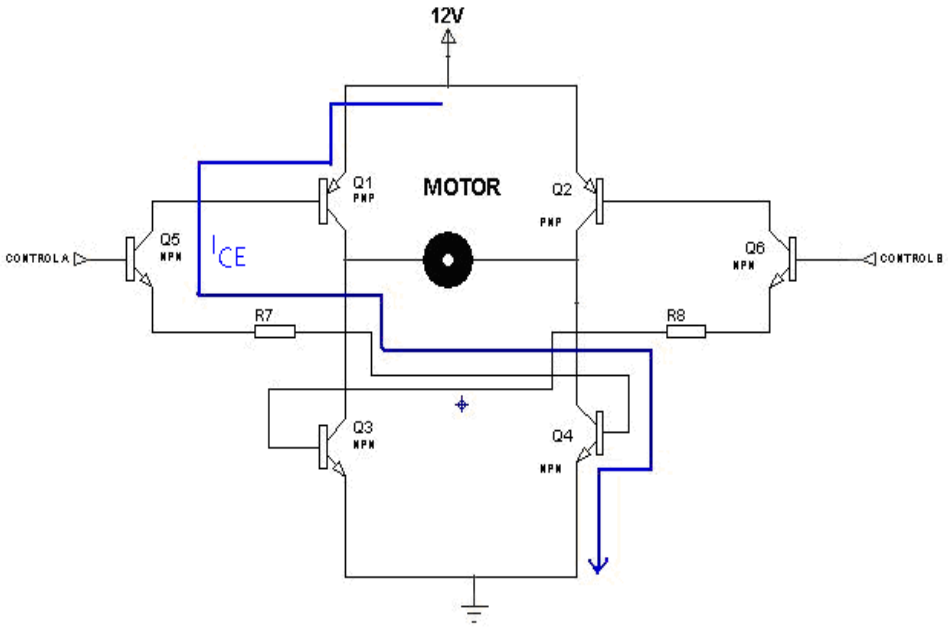

Figura 2.18 Sentido de corriente I_{CE} por Q5 para disparo de Q1 y Q4

Se requiere de la polarización de Q5 para la circulación de corriente I_{CE}, esta corriente es la que polariza a Q1 y Q4. La misma debe ser suficiente para mantener activos a Q1 y Q4.

Para el presente trabajo se realiza sumatoria de voltajes en el ramal indicado en el grafico anterior:

$$Vcc - VebQ1 - R7 \times IeQ5 - VbeQ4 = 0$$

Como en Q5 Ie=Ic y además $Ic = IeQ1 / hfe$ se tiene:

$$Vcc - VebQ1 - (R7 \times \frac{IeQ1}{hfe}) - VbeQ4 = 0$$

Se considera para el cálculo las siguientes condiciones:

Hfe=100 (peores condiciones de ganancia de corriente de Q1).
Corriente de colector máxima por Q1, Ic max=5A.
Caída de voltaje de la juntura de los transistores Darlington de 1.3V.

Entonces reemplazando estos datos en la ecuación anterior, se tiene:

$$R7 = \frac{Vcc - VebQ1 - VebQ4}{Ic / hfe}$$

$$R7 = \frac{12V - 1.3V - 1.3V}{5A / 100}$$

$$R7 = 188\Omega$$

$$P = I^2 \times R = (50mA)^2 \times 188\Omega = 0.47W$$

Normalizando se tiene R7=160Ω, 1/2w.

Por la simetría del diseño se tiene que R7=R8 por lo tanto:

R8=160 Ω, 1/2W.

La resistencia R5 es calculada en base a los datos del fabricante, el mismo que indica que debe circular una corriente de base de 5mA para el correcto funcionamiento en corte y saturación de los transistores de propósito general, además se toma en cuenta la caída de voltaje en la juntura de polarización de opto acoplador que será el encargado de aislar la parte de potencia y la parte de control, según se ve en la entrada de uno de los controles del puente:

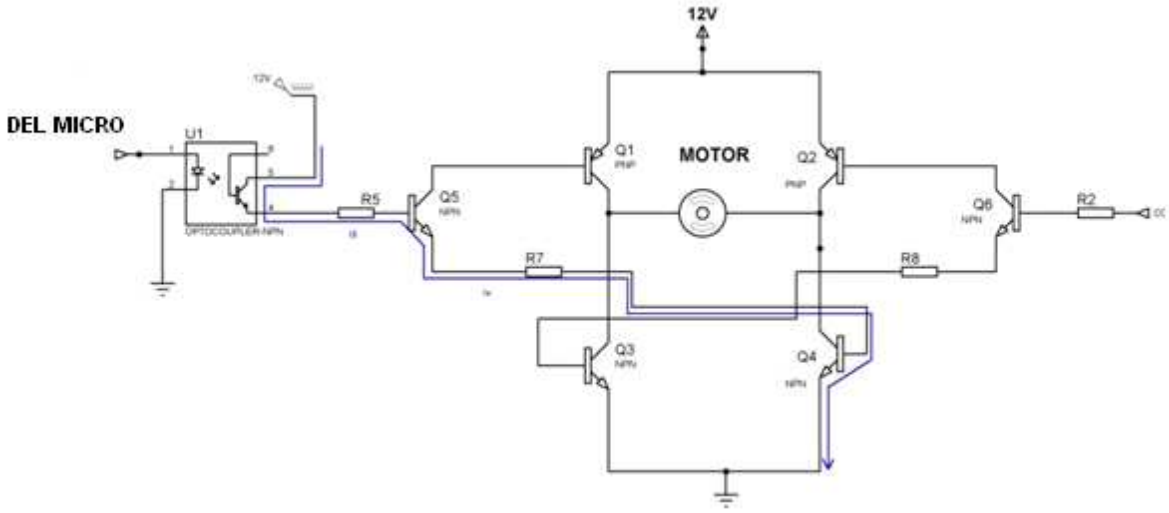

Figura 2.19 Ramal de corriente para activación del puente H

De la misma manera haciendo sumatoria de voltajes en el ramal se tiene:

$$12V - V_{CESAT} - R5 \times I_{BQ5} - I_C \times R7 - V_{BESAT} = 0$$

$$12V - 1V - R5 \times 5mA - 50mA \times 160\ \Omega - 1.3V = 0$$

$$R5 = 340\Omega \Rightarrow 360\Omega$$

$$P = I^2 \times R_5 = (5mA)^2 \times 360\ \Omega = 0.009\ W \Rightarrow 1/4W$$

Por la simetría del puente se tiene que R2 tiene los mismos valores que R5 ya calculada.

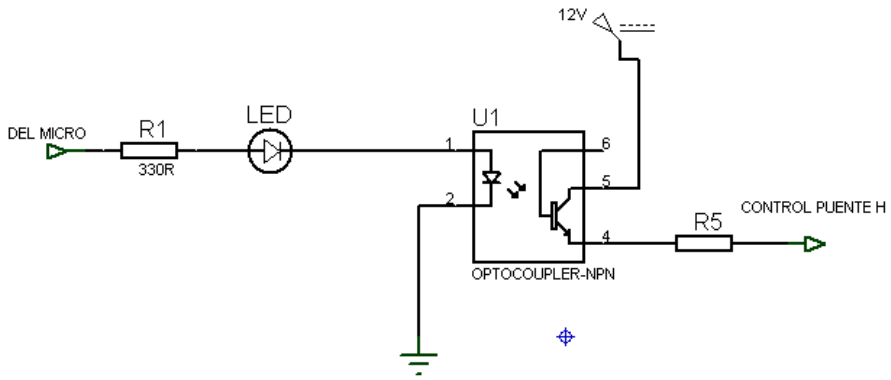

Figura 2.20 Conexión del control del puente con la salida del microcontrolador

Para el dimensionamiento de R1 se toma en cuenta la corriente que circula por R5 la misma que es de 5mA y tomando en cuenta que la tasa de trasferencia es del 100%, se diseña para que circule una corriente de 5mA.

$$R1 = \frac{5V}{5mA} = 1000 \Rightarrow 1k\Omega$$

Para polarizar los opto acopladores se utiliza la batería principal del prototipo que provee 12V.

2.3.2 MECANISMO DE ALMACENAMIENTO Y ALIMENTACIÓN DE HOJAS

Para el almacenamiento y alimentación de las hojas volantes a entregar por medio del brazo robot del prototipo, se utilizó el mecanismo de una impresora Lexmark Z32 que se acopla perfectamente a las dimensiones del chasis, ajustándose al espacio diseñado para tal en la estructura del robot. El tamaño máximo de las hojas a entregar puede ser A4.

Figura 2.21 Mecanismo utilizado para almacenamiento y alimentación de las hojas

El sistema consta de un dispensador para almacenar las hojas y para la alimentación de cada una de ellas utiliza un mecanismo controlado por el motor a pasos bipolar M42SP-6TA que maneja una corriente de 250mA y opera a una

tensión de 12V, además consta de un sensor H21A1 que es del tipo opto electrónico infrarrojo utilizado para la detección del papel.

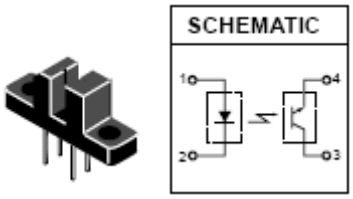

Figura 2.22 Sensor H21A1, tomado de [26].

Para el control del motor a pasos se utilizó el circuito integrado L293B que es un driver de cuatro canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta un amperio por canal, suficiente para manejar el motor en ambos sentidos.

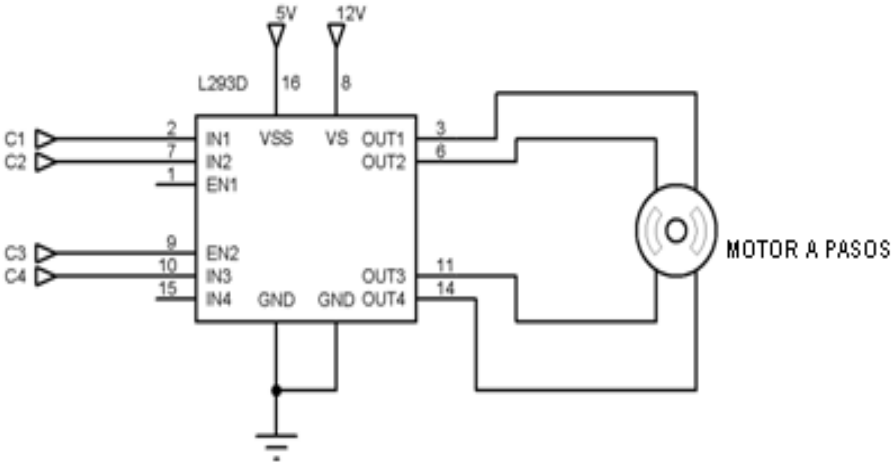

Figura 2.23 Motor a pasos controlado con L293B

En la Figura 2.23 se tiene C1, C2, C3 y C4 que son las señales de control provenientes del microcontrolador.

Para la alimentación del motor a pasos se utiliza la fuente de alimentación general de 12V, mientras que para el circuito integrado L293B se utiliza 5V.

2.3.3 CABEZA DEL PROTOTIPO

Un diseño novedoso del robot permite captar la atención del público, por ello se eligió como parte del prototipo, un mecanismo llamativo que cuenta con dos ojos luminosos tipo led, movimiento de párpados controlados por motores dc y movimiento de ojos bajo el control también de motores dc y fines de carrera.

Figura 2.24 Cabeza del robot

Para el control del encendido y apagado de los ojos se envía la señal directamente desde el microcontrolador. Se utilizan dos leds de color azul de alta luminosidad, uno para cada ojo.

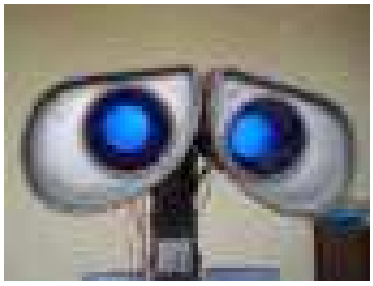

Figura 2.25 Cabeza del robot con los ojos encendidos completamente

En cuanto al movimiento de párpados se utiliza un motor de dc en operación en sentido horario para abrir los párpados y sentido antihorario para cerrarlos.

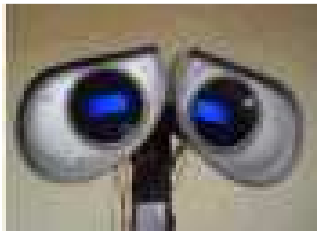

Figura 2.26 Cabeza de robot con los ojos pestañeando

El movimiento de los ojos es hacia arriba y abajo, controlados por dos fines de carrera. Los motores para mover los ojos y mover los párpados son controlados por el circuito integrado L293 en configuración para inversión de sentido de giro de motores. Como los motores no consumen más de 250mA cada uno y el driver L293 utilizado proporciona una salida de 1A se garantiza la operación adecuada de los motores. El diagrama de conexiones se indica en el siguiente circuito.

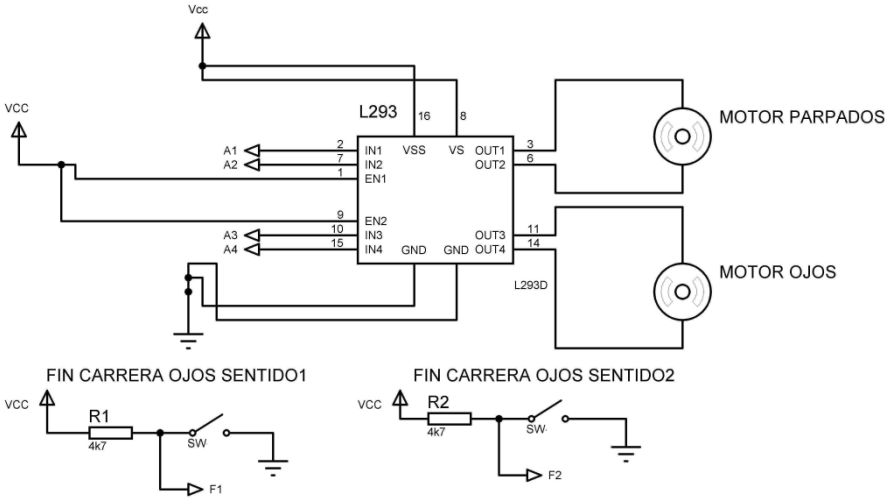

Figura 2.27 Circuito de control de la cabeza

Donde:
A1, A2, A3 y A4 son los pines que controlan el movimiento horario y anti horario de los dos motores.
F1 y F2 son las señales de conmutación de los fines de carrera.

2.3.4 BRAZO ROBÓTICO

Para la elección de los actuadores a utilizar en las distintas articulaciones del brazo robótico es importante partir del cálculo de torque, para ello es necesario definir todas las fuerzas a las que será sometido el brazo, y además señalar que para este análisis el peso de la carga que levantará el brazo mecánico es considerado despreciable por lo que el cálculo se basará en el peso mismo de

las partes mecánicas del brazo. Partiendo de estas consideraciones se definen los parámetros necesarios para el cálculo del torque a manejar por cada actuador.

Peso de cada eslabón
Peso de cada articulación (peso de actuador)
Peso del objeto a levantar (despreciable para este caso)
Distancia entre articulaciones

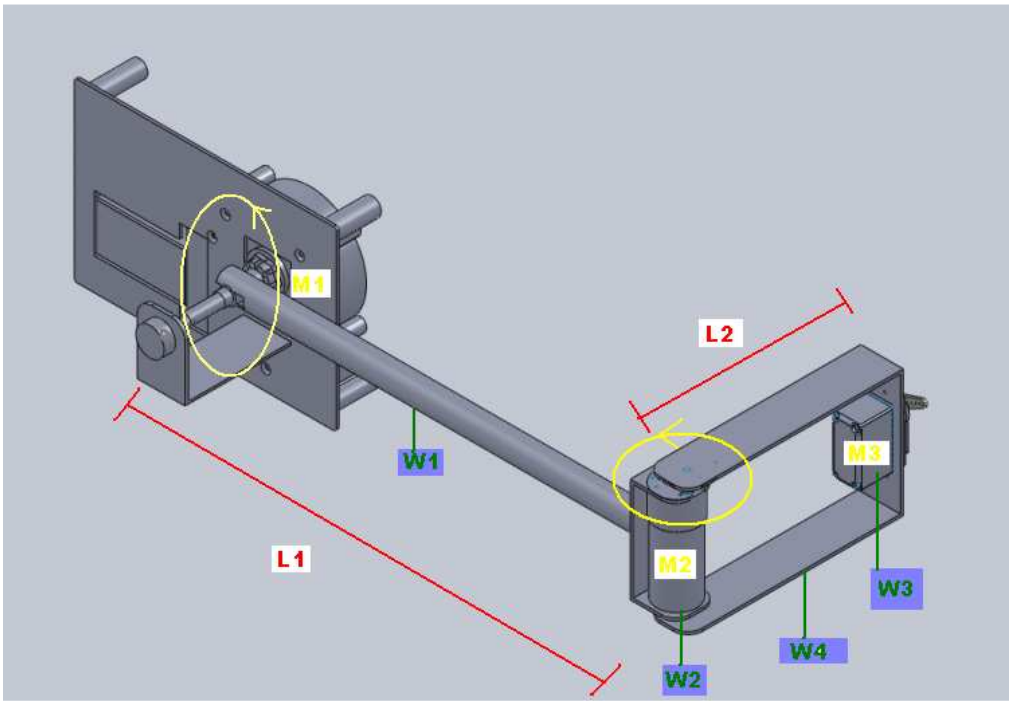

Figura 2.28 Fuerzas brazo mecánico

Donde:

M1 motor principal (motor del hombro)
M2 motor con encoder (motor del codo)
M3 Servo Mecanismo de muñeca y pinza (compuesto por dos servos)
L1 distancia del primer eslabón: 30cm (eslabón hombro-codo)
L2 distancia de soporte muñeca-pinza: 10cm (eslabón codo-muñeca)
W1 peso de primer eslabón: 0.45 kg
W2 peso de motor con encoder: 0,18 kg

W3 peso de servo mecanismo de muñeca y pinza: 0.09 kg
W4 peso de soporte de muñeca-pinza: 0,045 kg

Se conoce que el torque es la fuerza aplicada sobre una palanca que sirve para hacer girar un eje. El torque es la fuerza aplicada que se multiplica por el largo de la palanca. Entonces:

Torque = Fuerza x Distancia

El torque requerido por cada actuador estará dado por la sumatoria de los productos entre la distancia y la fuerza de los elementos a soportar. Para cada eslabón se considera que el peso esta en el centro de gravedad o sea en la mitad de la longitud, por lo cual se divide para dos.

Para el actuador M1:

$$TorqueM\ 1 = \frac{L1}{2} xW1 + L1xW\ 2 + \frac{L2}{2} xW\ 4 + L2xW\ 3 \qquad (2.1)$$

$$TorqueM\ 1 = \frac{30cm}{2} x0{,}45kgr + 30cmx\,0.18kgr + \frac{10}{2} x0.045kgr + 10x0.090\,kgr$$

$$TorqueM\,1 = 13{,}27kgr.Cm$$

Para el actuador M2:

$$TorqueM2 = \frac{L2}{2} xW4 + L2xW3$$

$$TorqueM\ \ 2 = \frac{10cm}{2} x0.045\,Kgr\ + 10cmx\,0.09\,Kgr$$

$$TorqueM\ \ 2 = 1{,}1Kgr.Cm$$

En los cálculos se tiene el torque requerido por los actuadores de las articulaciones del brazo robótico: hombro y codo, puesto que la tercera articulación como ya se dijo, no manejará esfuerzo alguno, no se consideró ese cálculo.

Tabla 2.1 Requerimiento de torque de actuadores

Articulaciones	Torque calculado	Actuador elegido	Torque del actuador
M1	13,27Kgr.Cm	Motor Dc Serie 208	80Kgr.Cm
M2	1,1Kgr.Cm	EMG30	1,5Kgr.Cm
M3		Hitec HS-311	3Kgr.Cm

2.3.4.1 Actuador M1

El actuador M1 es el motor del hombro y es considerado el principal puesto que tendrá que soportar todo el peso del brazo en sí, de acuerdo al requerimiento de torque para esta articulación, se eligió el motor dc serie 208, cuyas principales características son [27]:

Voltaje: 12
Torque: 8 Nm
Corriente sin carga: 2 A máximo
Corriente con carga: 3 A máximo

Figura 2.29 Motor del hombro, tomado de [27].

Cada uno de los actuadores del brazo robot deben ser controlados para girar en ambos sentidos, esto permite posicionar con el ángulo adecuado cada una de las articulaciones.

En el caso del actuador M1, la máxima corriente requerida es 3A por lo cual se utilizó el mismo diseño del puente H utilizado para la tracción diferencial. Si bien el motor dc utilizado M1 para el hombro del brazo robot satisface plenamente el requerimiento en cuanto a torque, presenta la necesidad de un sistema de control en realimentación a fin de conocer exactamente su posición. Para solucionar esto se utilizó la realimentación potenciométrica acoplando al eje del motor un potenciómetro. La lectura del potenciómetro es proporcional a la posición angular del motor, este dato ingresa al conversor A/D del microcontrolador cerrando el lazo de control para la posición.

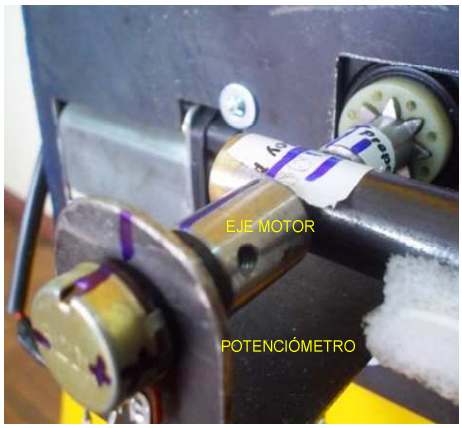

Figura 2.30 Potenciómetro acoplado al eje del motor M1 brazo

2.3.4.2 Actuador M2

El actuador M2 corresponde al motor utilizado en el codo del brazo robot. En esta articulación se utilizó el motor dc con caja reductora EMG30 con encoder, cuyas más relevantes características son [28]:

Voltaje: 12V dc
Velocidad: 170 rpm
Velocidad sin carga: 216 rpm
Torque: 1.5 Kg-cm
Corriente nominal: 530 mA
Potencia nominal: 4.22 w
Incluye encoder o codificador de cuadrante
Pulsos por vuelta: 360

Figura 2.31 Motor EMG30, tomado de [28].

Por su bajo consumo de corriente, el control de sentido de giro del motor M2 se maneja con un driver L293B. Los impulsos generados por el encoder incremental que tiene incorporado este motor, permiten conocer la posición y el sentido de giro del motor, esta lectura es ingresada al microcontrolador para su respectivo control.

2.3.4.3 Actuadores M3

Para la articulación de la muñeca y la pinza del brazo robot se utilizaron dos servomotores de modelismo. Para la muñeca se empleó un servo HITEC-311 cuyas características son [18]:

Voltaje de operación: 4.8 - 6 V

Rango de Temperatura de operación: -20ºC a 60 ºC

Velocidad sin carga (4.8 V): 0.19/60º

Velocidad sin carga (6 V): 0.15/60º

Torque (4.8 V): 3 kg/cm

Torque (6 V): 4.5 Kg/cm

Corriente sin carga (4.8 V): 160mA

Corriente sin carga (6 V): 180mA

Peso: 43 gr

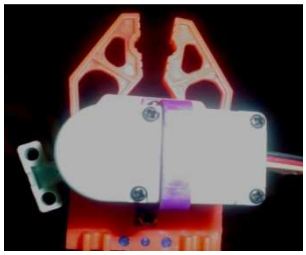

Figura 2.32 Pinza del brazo robot

2.3.5 SENSOR TÉRMICO

La detección de personas por parte del robot es importante, en la operación en modo automático del prototipo robot, cuando este detecte la presencia de una persona debe acercarse a ella para proporcionarle una hoja de publicidad. Para cumplir con este objetivo se utilizó el sensor térmico TPA81.

Figura 2.33 Sensor térmico TPA81, tomado de [12].

El sensor TPA81 tiene la capacidad de medir la temperatura de un objeto a distancia, está formado por una matriz de 8 sensores que pueden medir ocho puntos adyacentes simultáneamente. El campo de visión de cada uno de los pixeles es de 5.12º en ángulo horizontal y de 6º en ángulo vertical, dando un campo de visión normal del TPA81 de 41ºx 6º.

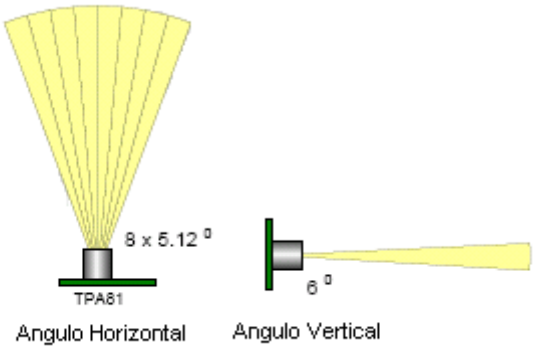

Figura 2.34 Campo de visión del sensor TPA81, tomado de [12].

La comunicación entre el sensor térmico y el microcontrolador es a través de I2C, para esto el sensor utiliza la conexión de 5 pines, donde las líneas SCL y SDA deben de disponer de resistencias de polarización a +5V en algún punto

del bus I2C. El sensor TPA81 actúa en modo esclavo dentro del bus y de fabricación tiene la dirección 0xD0. Este sensor tiene además tres pines de conexión adicional que permiten controlar la posición de un servo, enviando comandos de posicionamiento desde el sensor se puede ubicar al servo en cualquiera de las 32 posibles posiciones.

El sensor TPA81 aparece como un conjunto de 10 registros, el registro 0 es de comando utilizado para colocar la posición del servo y cambiar la dirección I2C, mientras que los registros restantes presentan 9 lecturas de temperatura expresadas en grados centígrados, en el registro 1 se indica la temperatura ambiente y en los registros dos a nueve, las temperaturas de los 8 pixeles.

Tabla 2.2 Registros del sensor TPA81, tomado de [12].

Registro	Lectura	Escritura
0	Revisión de Software	Registro de comando
1	Temperatura ambiente °C	Utilizado para la calibración- no escribir
2	Temperatura Píxel 1 °C	Utilizado para la calibración- no escribir
3	Píxel 2	Utilizado para la calibración- no escribir
4	Píxel 3	N/A
5	Píxel 4	N/A
6	Píxel 5	N/A
7	Píxel 6	N/A
8	Píxel 7	N/A
9	Píxel 8	N/A

La adquisición de los datos de temperatura por parte del sensor es constante y una lectura será correcta luego de haber transcurrido 40ms después de que el sensor haya apuntado en una nueva dirección.

Para el control del sensor TPA81se utilizó el diagrama de control que se indica a continuación:

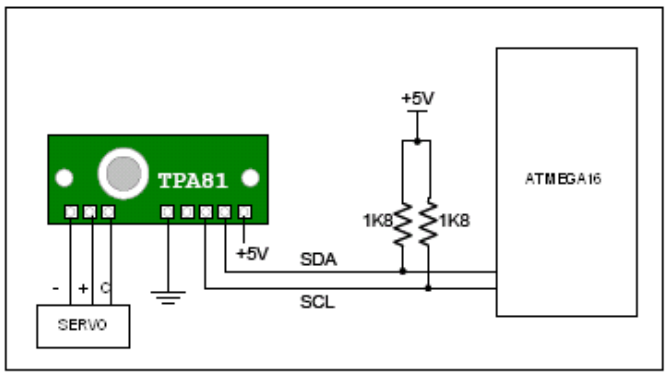

Figura 2.35 Diagrama de control sensor TPA81

Se utilizaron dos resistencias de polarización de 1.8KΩ en el bus I2C según recomendación del fabricante del sensor. De acuerdo a las lecturas de temperatura obtenidas, ante la presencia de una persona se establece una diferencia importante entre las lecturas, la misma que es analizada en el microcontrolador.

2.3.6 SENSOR ULTRASÓNICO

Para evitar que el robot prototipo choque con algún obstáculo se empleó el sensor ultrasónico SRF05, el mismo está ubicado en la parte delantera del robot.

El SRF05 es un sensor de distancias que en modo estándar mide hasta 4 metros, emplea un solo pin para controlar el sensor y hacer una lectura de la medida, para ponerla a trabajar se envía un impulso para iniciar la lectura y luego se pone el pin en modo entrada. Luego basta con leer la longitud del pulso devuelto por el sensor que es proporcional a la distancia medida [30].

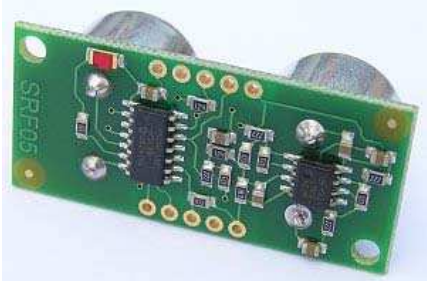

Figura 2.36 Sensor ultrasónico SRF05, tomado de [31].

2.3.6.1 Diagrama de pines del SRF05

Para facilidad de configuración se utilizó un solo pin para las señales de activación y eco, para utilizar esta configuración se conecta el pin de MODO a tierra entonces la señal de eco aparecerá en el mismo pin que la señal de activación.

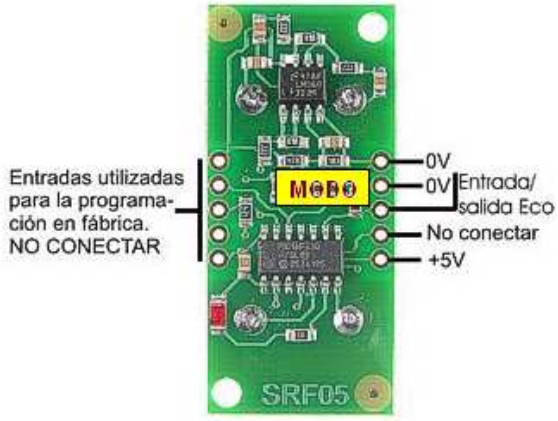

Figura 2.37 Diagrama de pines SRF05, tomado de [31].

2.3.7 REPRODUCCIÓN DE SONIDO

El robot para la entrega de hojas volantes dispone de un sistema de reproducción de sonido a fin de que sea más llamativo. Para este efecto se utilizó el circuito integrado ISD25120.

La serie ISD2500 provee alta calidad en la grabación/reproducción de sonidos o mensajes con una duración máxima entre 60 y 120 segundos, de aquí que se puede encontrar en el mercado las siguientes denominaciones ISD2560/65/90/120 siendo los últimos parámetros la duración máxima de grabación en segundos [32].

Este dispositivo incluye en su estructura interna un oscilador, un preamplificador para micrófono, un módulo de control automático de ganancia, un amplificador para la salida y entre otras cosas una gran capacidad de memoria no volátil para el almacenamiento de mensajes [32].

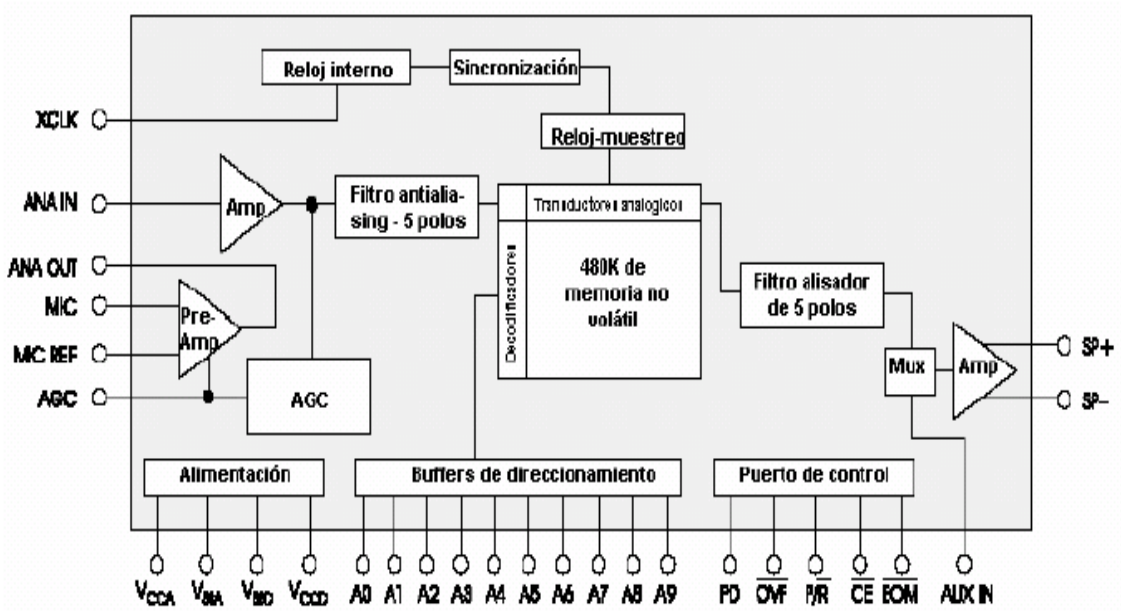

Figura 2.38 Estructura interna del ISD25120, tomado de [32].

2.3.7.1 Características del ISD25120 [32]

Fácil grabación/reproducción
Alta calidad de reproducción de voz/audio
Operación manual o mediante un microcontrolador
Duración máxima de grabación de 120 segundos
Permite conectar en cascada varios ISD para lograr mayor duración
Bajo consumo de potencia (1uA) en operación en modo “Bajo consumo”
Almacenamiento en memoria no volátil
Direccionamiento para manejar múltiples mensajes
100 años de retención en memoria
Fuente de reloj interno
Fuente única de 5V
Temperatura de operación: -40ºC a +80ºC

2.3.7.2 Diagrama de pines del ISD25120

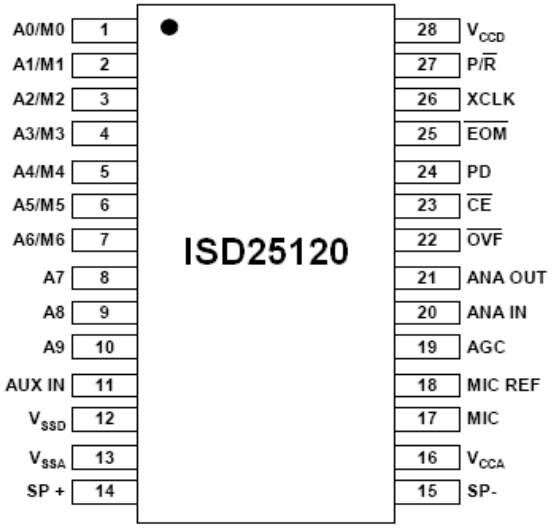

Figura 2.39 Diagrama de pines del ISD25120, tomado de [32].

- Alimentación (V_{CCA}, V_{CCD}, V_{SSA}, V_{SSD}):

La tensión de alimentación es de 5 voltios. Para reducir al mínimo el ruido, las partes digital y analógica de los circuitos disponen de entradas de alimentación independientes.

- Entrada de corte de corriente (PD - POWER DOWN):

Cuando la señal PD se pone a nivel alto el circuito entra en el modo de muy bajo consumo. Cuando se produce la condición de desbordamiento de la memoria, PD se utiliza para llevar el direccionamiento al inicio de la zona de grabación o reproducción.

- Entrada para habilitar circuito (CE – CHIP ENABLE):

La entrada CE debe ponerse a nivel bajo para habilitar la operación del circuito. Las direcciones de entrada y la señal de grabación/reproducción (P/R) son capturadas durante el flanco de bajada de la señal.

- Entrada de reproducción/grabación (P/R – PLAYBACK/RECORD):

La entrada P/R permite seleccionar entre el modo de reproducción (nivel alto) y el de grabación (nivel bajo). Durante un ciclo de grabación la dirección de

comienzo se proporciona a través de las correspondientes entradas y se detiene cuando se pone a nivel alto cualquiera de las señales PD o CE, o cuando se produce un desbordamiento. Cada vez que se termina un ciclo de grabación mediante las señales PD o CE, se pone una marca de fin de mensaje (EOM) en la dirección de memoria donde se finalizó. Durante un ciclo de reproducción se proporciona la dirección de comienzo y la grabación se reproduce de manera continua hasta que se encuentra una marca de fin de mensaje (EOM).

- Señal de fin de mensaje y funcionamiento (EOM):

Genera un pulso a nivel bajo al final de cada mensaje.

- Señal de desbordamiento (OVF):

Se genera un pulso a nivel bajo cuando se agota el espacio de memoria. La salida OVF sigue a la entrada CE hasta que se reinicia el puntero de memoria con la señal PD. Esta salida puede utilizarse para la conexión de varios dispositivos en cascada.

- Entrada de micrófono (MIC):

La entrada va conectada a un preamplificador integrado junto con un control automático de ganancia (AGC) que regula la ganancia de éste desde –15 hasta 24 dB. La conexión de un micrófono externo deberá hacerse a través de un condensador serie de desacoplo que, junto con la resistencia interna de 10 KΩ de la entrada, determina la frecuencia de corte inferior.

- Entrada de referencia de micrófono (MIC REF):

Es la entrada no inversora del preamplificador para la conexión del micrófono y proporciona una cancelación de ruido gracias a su elevado grado de rechazo al modo común.

- Entrada del control automático de ganancia (AGC):

El control automático de ganancia permite cubrir un amplio margen de niveles de entrada procedentes del micrófono, que van desde un pequeño susurro

hasta sonidos muy altos. El tiempo de activación viene determinado por la constante de tiempo que conforma un condensador externo conectado entre AGC y V_{SSA} y la resistencia interna de 5KΩ. El tiempo de desactivación viene determinado por la constante de tiempo asociada al condensador externo anterior junto con una resistencia externa conectada en paralelo con él. Los valores de 4.7μF y 470KΩ para el condensador y la resistencia respectivamente dan en la mayoría de los casos un resultado satisfactorio.

- Salida analógica (ANA OUT):

La salida del conjunto preamplificador – control automático de ganancia se conduce a través de este pin.

- Entrada analógica (ANA IN):

A través de esta entrada se conduce la señal al chip para su grabación. La señal de entrada debe desacoplarse con un condensador externo de 0.1μF en serie con una resistencia de 5.1KΩ, incluso si procede de la salida ANA OUT (caso de un micrófono), debiendo tenerse en cuenta que este condensador junto con la resistencia interna de 3KΩ de la entrada conforma un filtro paso bajo que pudiera recortar la señal.

- Salidas de altavoz (SP+ y SP-):

Salida diferencial para altavoces capaz de proporcionar 50 mW sobre un altavoz con impedancia de 16Ω si la señal procede de AUX IN o 12.2 mW si procede de la memoria. Cuando se usan varios dispositivos no se deben conectar en paralelo las salidas de altavoz, ya que podría dañar los dispositivos. Nunca se deben poner a masa las salidas de altavoz.

- Entradas de dirección y modo (AX / MX):

Las entradas de dirección y modo tienen dos funciones dependiendo de cómo se conecten los dos bits más significativos (A8 y A9). Si cualquiera de estos dos bits o ambos se conectan a masa, las entradas desde A0 a A8 se interpretan como bits de dirección. Cuando ambos bits A8 y A9 se conectan a

nivel alto, las entradas desde M0 a M6 se interpretan como bits indicativos de cada modo de función. De los siete modos posibles sólo seis están operativos.

Es posible combinar varios modos a la vez. En las especificaciones técnicas del ISD 25120P se detalla plenamente los modos de función pero en este caso no se los describirán, ya que la grabación de los mensajes de voz se los hará en base a direcciones.

2.3.7.3 Esquemas de conexión para grabación y reproducción

El circuito que se indica a continuación detalla la conexión básica según el datasheet del ISD25120 en modo grabación de mensajes usando un pc, de esta manera se utilizará 4 direcciones con las que tendrá la capacidad de grabar 16 mensajes, lo cual es más que suficiente para el proyecto.

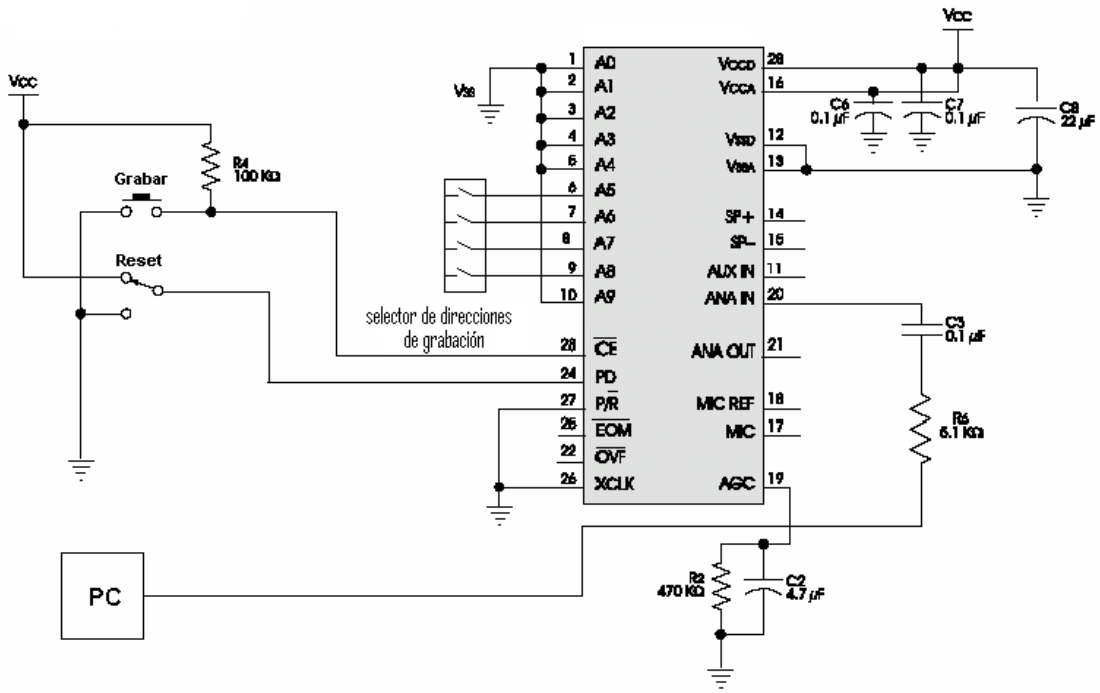

Figura 2.40 Diagrama conexión ISD25120 en modo grabación, tomado de [32].

En el siguiente esquema se muestra el diagrama de conexión del ISD25120 en modo reproducción comandado por un microcontrolador, el mismo que

manejará los cuatro canales de direccionamiento, así como también sus tres entradas de control.

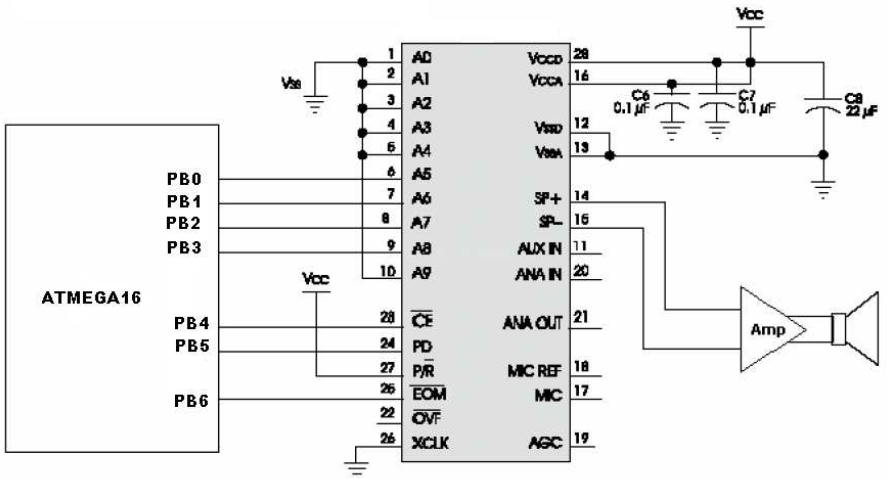

Figura 2.41 Conexión del ISD25120 en modo de reproducción, tomado de [32]

La etapa amplificadora conectada a los pines 14 y 15 del ISD25120 corresponde a un módulo de amplificación de parlantes externos de computadora, cuya salida combinada es de 5w.

2.3.8 CONTROL MANUAL

El control manual utilizado en el robot está formado por un circuito transmisor y un circuito receptor. El circuito transmisor y receptor está formado por dos módulos de radio frecuencia el FC201SP, cuya descripción se realizará más adelante.

El control empleado consta de dos palancas que manejan dos opciones diferentes cada una, la palanca de la izquierda controla la marcha hacia delante y marcha atrás, mientras que la palanca de la derecha tiene control para hacer girar el robot en los dos sentidos laterales. Además dispone de 4 pulsadores adicionales, empezando desde la izquierda, el primer botón, ordena la alimentación de una hoja hacia la bandeja delantera, el segundo pulsador envía la orden de entrega de la hoja a través del brazo robótico, con el tercer

pulsador se realiza el movimiento de ojos y párpados de la cabeza del prototipo, el cuarto pulsador tiene asignada una reproducción de sonido.

Para la operación del prototipo robot a control remoto, el operador accionará las palancas dependiendo de la dirección a la que quiera guiar al robot, o los pulsadores si quiere que realice las otras tareas. Para cada acción a realizar se enviará una señal diferente al circuito receptor, localizado en el interior del prototipo. Este circuito será el encargado de interpretar las instrucciones ordenadas por el operador.

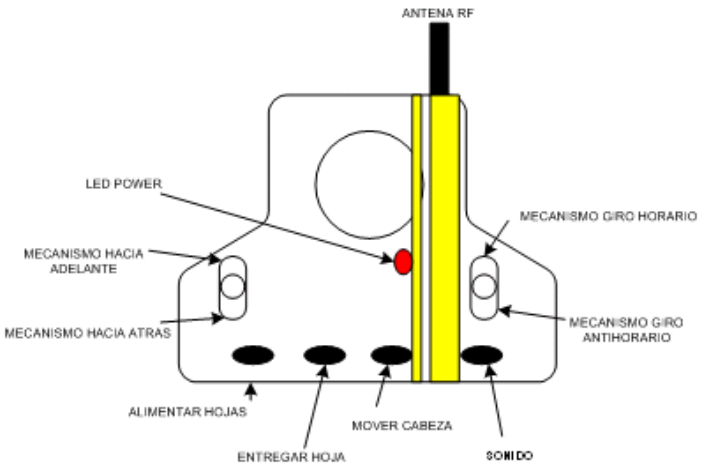

Figura 2.42 Control remoto

2.3.8.1 Módulo RF FC-201/SP

Para el mando a control remoto se utilizó el módulo FC-201/SP el cual es un transmisor RF capaz de soportar interfaz RS232, para lo cual se necesitó acoplar el voltaje TTL proveniente del microcontrolador al estándar RS232 de este módulo a través de un circuito integrado MAX232.

Figura 2.43 Módulo RF FC-201/SP, tomado de [33].

Se escogió este transmisor por la simplicidad de su configuración, por medio del software facilitado por el fabricante de estos módulos, se puede establecer los parámetros de comunicación como: canal, velocidad de transmisión, etc.

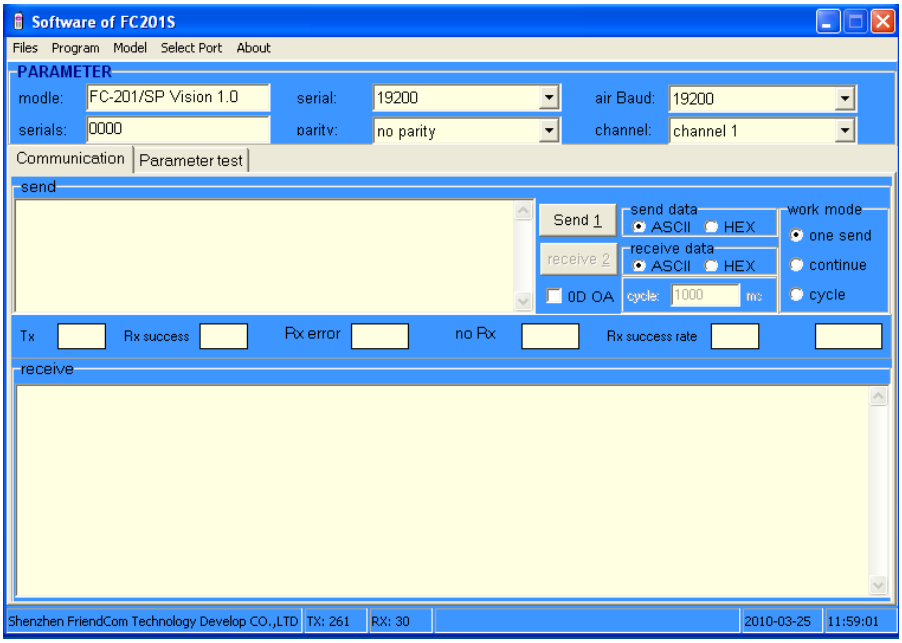

Figura 2.44 Software para configuración del módulo FC-201/SP

El módulo FC-201/SP presenta las siguientes características [33]:

Frecuencia: 433 MHz, optimizado para 315 MHz, 868 MHz y 915 MHz.
Potencia salida: 30mW
Velocidad: 1.2 Kbps – 19.2 Kbps
Sensibilidad: - 105 dBm
Compatible RS-232, RS-485, TTL/UART
Conectividad: FC-201/S

Otra de las ventajas de este módulo RF, debido a su modulación de frecuencia es la inmunidad al ruido, por lo cual puede ser utilizado en ambientes industriales donde la interferencia electromagnética es excesiva. La fuente de voltaje se adapta a 5V y el consumo de corriente es menor a 13mA.

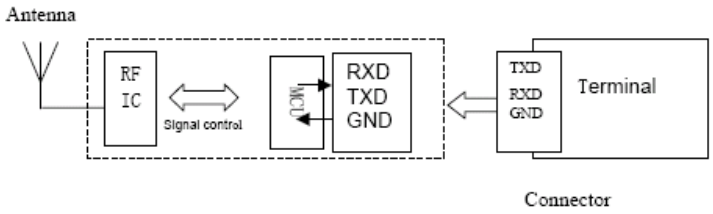

Figura 2.45 Diagrama de conexión del Módulo RF FC-201/SP, tomado de [33].

Este transmisor puede transmitir en cuatro canales cuyas frecuencias son las siguientes:

Tabla 2.3 Frecuencia de operación del módulo RF FC-201/SP, tomado de [33].

Channel No.	Frequency	Channel No.	Frequency
1	428.0028Mz	2	429.0012MHZ
3	433.3020Mz	4	433.9164MHZ

Para este proyecto se utilizó la configuración en el canal 1, cuya frecuencia está en el rango utilizado para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

2.3.9 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Todos los circuitos de control del prototipo de robot funcionan con voltajes de alimentación de 5V y 12V. Mediante el regulador de voltaje 7805 se consigue obtener 5V de la batería de 12V utilizada. Se eligió una batería de 12V con la suficiente capacidad de Ah para que pueda alimentar sin problemas a todo el sistema.

Para la elección de la batería se analizó la operación de todo el sistema considerando las peores condiciones. Se considera como ciclo normal de operación del robot a la secuencia de actividades formada por las siguientes tareas: buscar clientes, avanzar mecanismo, preparar hoja y entregar hoja.

Cada tarea tiene que cumplirse en cierto intervalo de tiempo, y dependiendo de la operación a realizar actúan ciertos actuadores y tarjetas de control con su respectivo consumo de corriente.

Como tarea inicial se tiene que el robot buscará clientes para entregar las hojas, en esta tarea estarán en operación: el módulo de control, el mecanismo de la cabeza, el barrido del sensor térmico y la reproducción de sonido. La segunda tarea inicia cuando el prototipo ha localizado un cliente y se traslada hacia él, en este lapso actúan: la tracción diferencial, el barrido del sensor térmico, el módulo de control, la cabeza y el sonido. Seguidamente, a cierta distancia del cliente el prototipo robot se detiene y se inicia la tarea de preparar hoja, para lo cual estarán en operación: el motor del mecanismo de alimentación de las hojas, la cabeza, el módulo de control y el sonido. Finalmente la cuarta tarea es la entrega de la hoja, trabajando para ello: el módulo de control, la reproducción de sonido y obviamente el mecanismo del brazo robot formado por: motor principal, motor codo, servo muñeca y servo pinza. A continuación se detalla una tabla con el consumo de corriente de todos los actuadores y módulos de control utilizados en el ciclo de operación normal del robot.

Tabla 2.4 Tiempo y corriente en tareas de funcionamiento

ACTUADORES	BUSCAR CLIENTES	AVANZAR MECANISMO	PREPARAR HOJA	ENTREGAR HOJA
	40 segundos	**15 segundos**	**5 segundos**	**20segundos**
MOTORES TRACCION DF		8		
MOTOR PRINCIPAL BRAZO				3
MOTOR CODO				0,6
SERVO MUÑECA				0,5
SERVO PINZA				0,5
MOTOR A PASOS IMPRESORA			0,5	0,5
MOTORES DC CABEZA	0,6	0,6	0,6	0,6
SENSORES	0,5	0,5	0.5	0.5
TARJETAS DE CONTROL	1.5	1.5	1.5	1.5
TARJETA SONIDO PARLANTES			0,5	0,5
CORRIENTE TOTAL (A)	**2,6**	**10,6**	**3.6**	**8.2**

Como se puede observar en la tabla anterior, el tiempo total establecido para completar un ciclo de operación del prototipo robot es de 1 minuto con 20 segundos. Para el análisis previo a la elección de la batería se escogerá el máximo valor de corriente que se consume dentro del ciclo de operación, que es 10,6 A. Estimando un periodo de funcionamiento continuo del prototipo robot de 2 horas e incrementando el dato de corriente en un 20% para mayor seguridad se tiene un valor de 12.72A. Por lo que la capacidad de la batería requerida es:

$$Capacidad\ de\ la\ batería = I * t$$

$$Capacidad\ de\ la\ batería = 12.72A * 2horas$$

$$Capacidad\ de\ la\ batería = 25.44Ah$$

En base al cálculo anterior se eligió la batería de 12V Modelo BT33-12GEL cuya capacidad de corriente es de 33Ah.

Figura 2.46 Batería utilizada

El tiempo aproximado que durará la batería utilizada se puede conocer mediante la siguiente fórmula [34]:

$$t = \frac{H}{\left(\frac{IH}{C}\right)^{K}} \qquad (2.2)$$

Donde:

t: es el tiempo en horas de autonomía.

C: es la capacidad de la batería en Ah (amperes-hora) indicada por el fabricante.

H: es el tiempo en horas indicado por el fabricante que indica en qué base de tiempo está calculada la capacidad nominal. En general, si no está impreso en la batería, se puede suponer que el valor normalmente es de 20 horas.

I**:** es la intensidad de corriente que se solicita de la batería, en A (amperes).

k**:** es el exponente de Peukert y es un valor inherente al tipo de batería, 1.25 (para las de plomo-ácido).

La Ley de Peukert describe cómo la capacidad Ah disminuye al descargase una batería más rápidamente en su funcionamiento normal de 20 hrs. La cantidad de reducción de la capacidad de la batería se denomina “el exponente Peukert” y puede ajustarse entre 1,00 y 1,50. Cuanto más alto sea el exponente de Peukert, más rápidamente disminuirá el tamaño de la batería con un ritmo de descarga cada vez mayor. La batería ideal (teórica) tiene un exponente de Peukert de 1,00 y una capacidad fija, sin importar la magnitud de la descarga de corriente. La configuración por defecto del exponente Peukert es 1,25, siendo este un valor medio aceptable para la mayoría de baterías de plomo y ácido [35].

Entonces:

$$t = \frac{20H}{\left(\frac{10.6Ax20h}{33Ah}\right)^{1.25}}$$

$t = 2$ horas

Este valor satisface las expectativas, ya que el objetivo del proyecto es que el prototipo robot funcione por dos horas continuas. Además se garantiza que el prototipo no termine con toda la carga de batería en una sola presentación.

Si bien la batería de 12V, 33Ah permite el consumo continuo de energía para los circuitos de potencia y control del prototipo, sin embargo para evitar posibles interferencias al utilizar una misma batería en todo el sistema, se utiliza una batería adicional para los circuitos de control. En base al análisis realizado en la Tabla 2.2 se determina que el consumo de los circuitos de control es de 2A, con lo cual se calcula la capacidad de la batería de control, incrementando el dato de corriente en un 20% para mayor seguridad se tiene un valor de 2.4A para el cálculo.

$$Capacidad\ de\ la\ batería\ de\ control = 2.4 * 2$$

$$Capacidad\ de\ la\ batería\ de\ control = 4.8Ah$$

En base a este cálculo se elige una batería de 6V, 10Ah para los circuitos de control.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza la cinemática del brazo robótico, resolviendo el problema cinemático directo e inverso. Además se desarrollan los requerimientos en cuanto a software, necesarios para el control de todo el prototipo.

La programación de los programas de control se realizó en Bascom-Avr, un compilador basic en Windows para la familia de microcontroladores AVR de Atmel. Para la operación manual del prototipo se dispone de un control remoto que internamente presenta un módulo de radiofrecuencia, esto permite interactuar inalámbricamente con el robot.

3.2 CINEMÁTICA DEL BRAZO ROBÓTICO

Como se indicó brevemente en el capitulo uno, la cinemática es la ciencia del movimiento que trata el tema sin considerar las fuerzas que lo ocasionan. En consecuencia el estudio de la cinemática de manipuladores se refiere a todas las propiedad geométricas que permiten la ubicación correcta del manipulador.
Para el brazo robótico se considera la posición y la orientación, para mayor entendimiento de la geometría del brazo se ubican distancias y ángulos que permiten abordar el tema de mejor manera.

Es así que se realizará un análisis utilizando la cinemática directa e inversa para calcular la posición y la orientación del brazo relativo a la base del mismo en función de las variables de las articulaciones que lo conforman.

Por otro lado es importante considerar que el número de grados de libertad (GDL) determina la accesibilidad de este, en sí es general que cada grado de libertad coincida con el número de articulaciones, es decir cada articulación

representa un grado de libertad. Para esto se especifica el número de grados de libertad que ingresan a nuestro análisis, puesto que el prototipo tiene cuatro grados de libertad, de los cuales dos se usan en el manejo de la muñeca y pinza, entonces, se reduce el estudio cinemático a la ubicación correcta de las dos articulaciones restantes del brazo robótico, según se muestra en el siguiente gráfico.

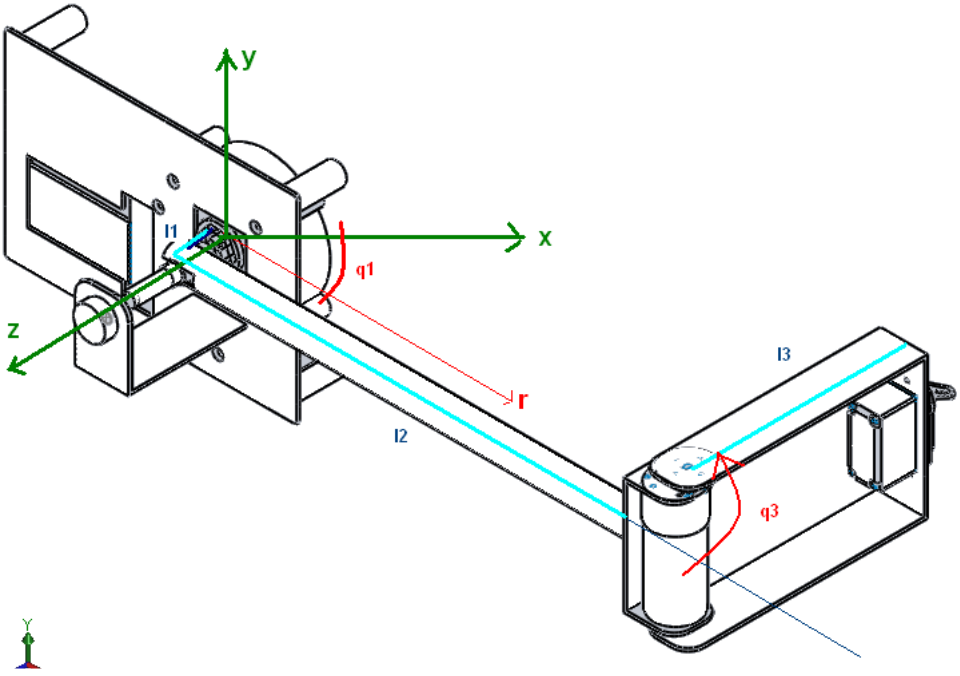

Figura 3.1 Esquema del brazo robótico representado en el sistema de coordenadas (x,y,z)

3.2.1 PROBLEMA CINEMÁTICO DIRECTO

A través de la resolución del problema cinemático directo, es posible determinar la posición y orientación que adopta el extremo robot cuando cada una de las variables que fijan la posición u orientación de sus articulaciones toman valores determinados.

El modelo cinemático directo, puede ser obtenido mediante dos enfoques diferentes, denominados métodos geométricos y métodos basados en cambios de sistemas de coordenadas.

3.2.1.1 Resolución del problema cinemático directo mediante métodos geométricos

Para resolver el problema cinemático directo mediante este método, es necesario encontrar las relaciones que permiten conocer la localización espacial del extremo del robot a partir de sus coordenadas articulares.

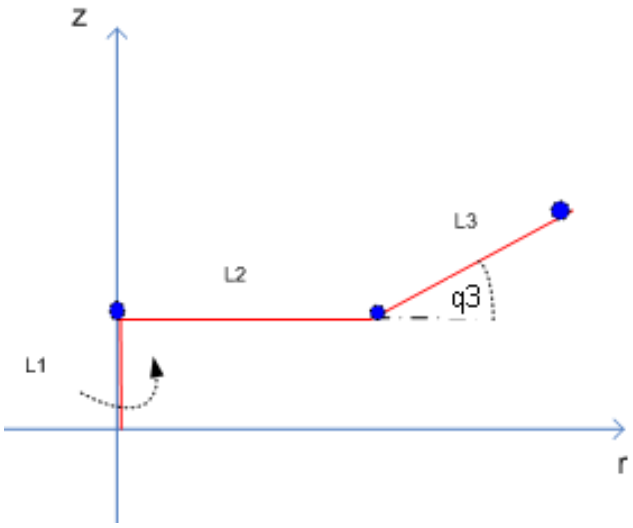

Figura 3.2 Representación elementos de brazo en plano z,r

En base a la figura anterior se tiene:

$$r = L2 + L3cosq3 \quad (3.1)$$

Igualmente, se determina z:

$$z = L3senq3 + L1 \quad (3.2)$$

Como referencia el sistema de coordenadas de la figura 3.1, se encuentra las ecuaciones de x, y.

$$x = rcosq1 \quad (3.3)$$

$$y = rsenq1 \quad (3.4)$$

Reemplazando las ecuaciones, se obtiene:

$$x = (L2 + L3cosq3)cosq1$$

$$x = L2 * cosq1 + L3 * cosq3 * cosq1$$

$$y = (L2 + L3cosq3)senq1$$

$y = L2 * senq1 + L3 * senq1 * cosq3$

Con el objeto de simplificar las ecuaciones se las escribe de la siguiente forma:

$x = L2C1 + L3C3C1$ (3.5)

$y = L2 * S1 + L3 * S1 * C3$ (3.6)

$z = L3S3 + L1$ (3.7)

Estas ecuaciones permiten determinar la posición y orientación del extremo robot, conociendo la posición angular de cada una de las articulaciones.

3.2.1.2 Algoritmo de Denavit-Hartenberg

Este método permite describir la relación que existe entre dos elementos contiguos, donde se puede hacer uso de cualquier sistema de referencia. Denavit-Hartenberg establecieron un método matricial para establecer la localización que debe tomar cada sistema de coordenadas {Si} ligado a cada eslabón 'i' de una cadena articulada, a fin de sistematizar la obtención de las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

Escogiendo los sistemas de coordenadas asociados a cada eslabón según la representación propuesta por Denavit-Hartenberg, será posible pasar de uno al siguiente mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón.

Estas transformaciones básicas consisten en una sucesión de rotaciones y traslaciones que permiten relacionar el sistema de referencia del elemento i-1 con el sistema del elemento i. Estas transformaciones son [19]:

1. Rotaciones alrededor del eje Zi-1 un ángulo θ_i.
2. Traslación a lo largo de Zi-1 una distancia d_i, vector d_i (0, 0, d_i).
3. Traslación a lo largo de Xi una distancia a_i, vector a_i (a_i, 0, 0).
4. Rotación alrededor del eje X_i un ángulo α_i.

$$^{i-1}Ai = Rotz(\theta i)T(0,0,di)T(\alpha i,0,0)Rotx(\alpha i) \quad (3.8)$$

Realizando el producto de las matrices se tiene:

$$^{i-1}Ai = \begin{bmatrix} C\theta i & -S\theta i & 0 & 0 \\ S\theta i & C\theta i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & di \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha i & -S\alpha i & 0 \\ 0 & S\alpha i & C\alpha i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{i-1}Ai = \begin{bmatrix} C\theta i & -C\alpha i S\theta i & S\alpha i S\theta i & aiC\theta i \\ S\theta i & C\alpha i C\theta i & -S\alpha i C\theta i & aiS\theta i \\ 0 & S\alpha i & C\alpha i & di \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Donde θi, di, ai, αi son parámetros D-H del eslabón ‘i’.

Es necesario escoger correctamente los ejes del movimiento, y conjuntamente con la definición de los 4 parámetros de D-H, se forma el siguiente algoritmo para la resolución del problema cinemático directo [19].

DH1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.

DH2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n.

DH3. Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

DH4. Para i de 0 a n-1 situar el eje zi sobre el eje de la articulación i+1.

DH5. Situar el origen del sistema de la base $\{S_o\}$ en cualquier punto del eje Z_o. Los ejes X_o y Y_o se situarán de modo que formen un sistema ortogonal a derechas con Z_o.

DH6. Para ´i´ de 1 a n-1, situar el origen del sistema $\{S_1\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje zi con la línea normal común a z_{i-1} y z_i. Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fueren paralelos $\{S_1\}$ se situaría en la articulación i+1.

DH7. Situar x_i en la línea normal común a Z_{i-1} y z_i.

DH8. Situar y_i de modo que forme un sistema ortogonal a derechas con x_i y z_i.

DH9. Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que Z_n coincida con la dirección de Z_{n-1} y X_n sea normal a Z_{n-1} y Z_n.

DH10. Obtener θ_1 como el ángulo que hay que girar en torno a Z_{i-1} para que X_{i-1} y X_i queden paralelos.

DH11. Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de z_{i-1}, que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.

DH12. Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidirá con X_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincida con $\{S_i\}$.

DH13. Obtener α_1 como el ángulo que habría que girar en torno a X_i, para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincida totalmente con $\{S_i\}$.

DH14. Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}Ai$.

DH15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot T= ${}^{0}A1.\ {}^{1}A2.\ {}^{n-1}An$

DH16. La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base, en función de las ´n´ coordenadas articulares.

Los cuatro parámetros de D-H dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que lo unen con el anterior y siguiente.

Θ_i Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1}, utilizando la regla de la mano derecha. Se trata de un parámetro variable en articulaciones giratorias.

d_i Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas (i-1) – ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i. Se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.

a_i Es la distancia a lo largo del eje x_i que va desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i hasta el origen del sistema i-ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula la distancia más corta entre los ejes z_{i-1} y z_i.

α_i Es el ángulo de separación del eje z_{i-1} y el eje z_i, medido en un plano perpendicular al eje x_i, utilizando la regla de la mano derecha.

Una vez obtenidos los parámetros D-H, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato. Siguiendo el algoritmo mostrado por Denavit-Hartenberg, se procede a aplicar cada uno de los ítems anteriores para el brazo robótico del robot que entrega hojas volantes.

A continuación, se localizan los sistemas de referencia de cada movimiento del brazo del robot:

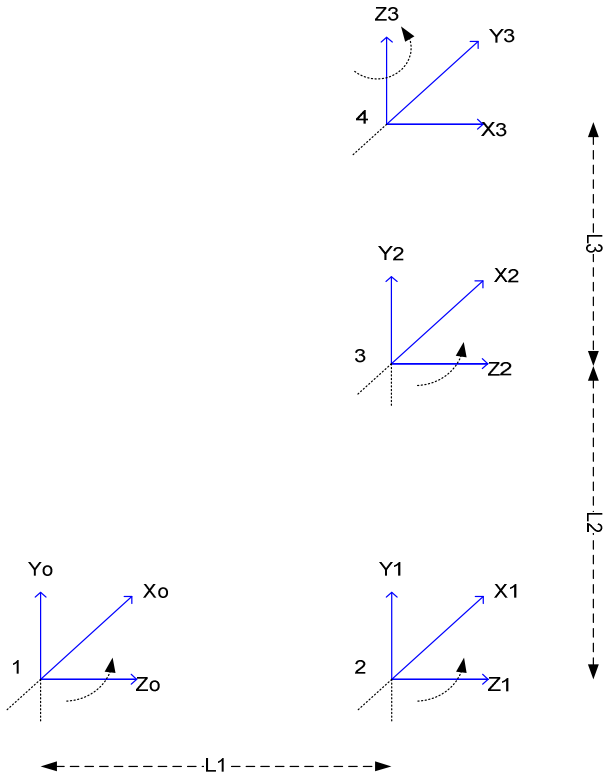

Figura 3.3 Esquema simplificado de movimiento de brazo robótico, parámetros de Denavit-Hartenberg

Seguidamente, se determinan los parámetros de Denavit-Hartenberg del brazo, con los que construye la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Parámetros de D-H del brazo robótico

ARTICULACION	θ	d	a	α
1	q1	L1	0	0
2	q2	0	L2	0
3	q3	0	L3	π/2

Con los parámetros en la Tabla 3.1, se calculan las matrices ^{i-1}A, sustituyendo la ecuación general de la siguiente forma:

$$^{0}A_{1}=\begin{bmatrix} C1 & -S1 & 0 & 0 \\ S1 & C1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{1}A_{2}=\begin{bmatrix} C1 & -S1 & 0 & L2C1 \\ S1 & C1 & 0 & L2S1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$^{2}A_{3}=\begin{bmatrix} C3 & 0 & S3 & L3C3 \\ S3 & 0 & -C3 & L3S3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T= {}^{0}A1 * {}^{1}A2 * {}^{2}A3 \qquad (3.10)$$

El resultado es la matriz, que indica la localización del sistema final con respecto al sistema de referencia de la base del brazo robótico del robot, resolviendo la multiplicación de matrices se logra llegar a la siguiente ecuación total.

$$T=\begin{bmatrix} C1 & -S1 & 0 & L1+L2C2 \\ S1 & C1 & 0 & L2C2 \\ 0 & 0 & 1 & (L1+L2)S1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.11)$$

El resultado representa la posición del extremo del brazo robótico, respecto a la base en un sistema de coordenadas rectangulares (X_0, Y_0, Z_0), que son las mismas obtenidas a través de métodos geométricos. Comprobando de esta manera la solución por las dos formas.

3.2.2 EL PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO

El objetivo del problema cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot q=[q1, q2, q3 ….qn], para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial. Así cómo es posible abordar el problema cinemático directo de una manera sistemática a partir de la utilización de matrices de transformación homogéneas, e independiente de la configuración del robot, no ocurre lo mismo con el problema cinemático inverso, siendo el procedimiento de obtención de las ecuaciones fuertemente dependiente de la configuración del robot.
A la hora de resolver el problema cinemático inverso es mucho más adecuado encontrar una solución cerrada. Esto es, encontrar una relación matemática explícita de la forma:

$$Q_k=f_k(x,y,z,\alpha,\beta,\varphi) \qquad (3.12)$$
$$K=1\ldots.n \text{ (Grados de libertad)}$$

Este tipo de solución presenta las siguientes ventajas:

- En muchas aplicaciones, el problema cinemático inverso ha de resolverse en tiempo real. Una solución de tipo interactivo no garantiza tener la solución en el momento adecuado.

- Al contrario de lo que ocurría en el problema cinemático directo, con cierta frecuencia la solución del problema cinemático inverso no es única; existiendo diferentes soluciones que posicionan y orientan el extremo del robot del mismo modo. En estos casos una solución cerrada permite incluir determinadas reglas o restricciones que aseguren que la solución obtenida sea la más adecuada de entre las posibles.

Los métodos geométricos permiten obtener normalmente los valores de las primeras variables articulares, que son las que consiguen posicionar el brazo robótico. Para ello se usa relaciones trigonométricas y geométricas sobre los

elementos del brazo, en ocasiones se suele recurrir a la resolución de triángulos formados por elementos y articulaciones del robot.

3.2.2.1 Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos

Este método es adecuado a robots de pocos grados de libertad o para el caso en el que se consideren solo los primeros grados de libertad, dedicados a posicionar el extremo.

Este procedimiento se basa en encontrar suficiente número de relaciones geométricas en las que intervendrán las coordenadas del extremo del robot, sus coordenadas articulares y las dimensiones físicas de sus elementos.

El gráfico muestra los ejes necesarios para resolver el problema de la cinemática inversa por métodos geométricos. Para un mejor análisis se ha tomado la longitud L2 móvil en el mismo eje de movimiento de L3, cabe indicar que esta articulación es fija coincidente al eje r tal cual es en el brazo robótico que entrega hojas volantes, simplificando al final su resultado.

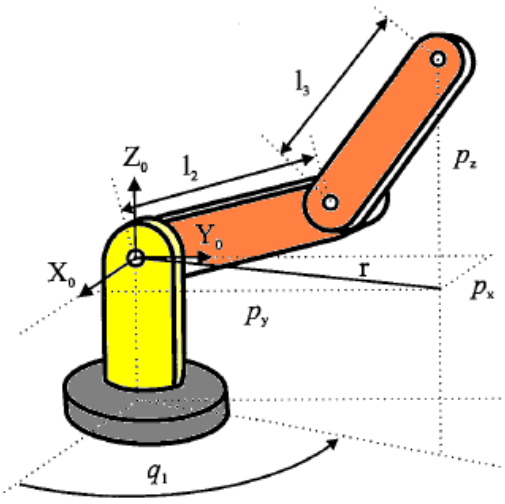

Figura 3.4 Brazo robótico con referencia ejes (Zo, Yo, Xo)

El valor de q1 se obtiene inmediatamente como:

$$q1 = arctg\frac{py}{px} \tag{3.13}$$

Ahora considerando los elementos dos y tres que están en un solo plano se tiene:

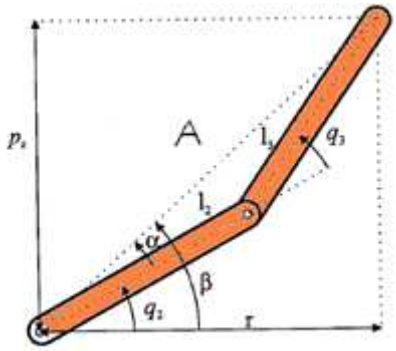

Figura 3.5 Elementos 2 y 3 del brazo robótico, representados en un plano

Considerando los elementos 2 y 3 en un plano se puede aplicar el teorema de Pitágoras y la ley de los cósenos de la siguiente manera:

$$r^2 = Px^2 + Py^2 \tag{3.14}$$

$$A^2 = L_2{}^2 + L_3{}^2 - 2L_2L_3Cos(180 - q3) \tag{3.15}$$

$$A^2 = L_2{}^2 + L_3{}^2 - 2L_2L_3(Cos180 \times Cosq3 + Sen180 \times Senq3) \tag{3.16}$$

$$A^2 = L_2{}^2 + L_3{}^2 + 2L_2L_3Cosq3 \tag{3.17}$$

$$r^2 + Pz^2 = L_2{}^2 + L_3{}^2 + 2L_2L_3Cosq3 \tag{3.18}$$

$$Px^2 + Py^2 + Pz^2 = L_2{}^2 + L_3{}^2 + 2L_2L_3Cosq3 \tag{3.19}$$

$$\cos q3 = \frac{Px^2 + Py^2 + Pz^2 - L_2{}^2 - L_3{}^2}{2L_2L_3} \tag{3.20}$$

Este valor de q3 se lo puede expresar en función de arco tangente por ventajas de análisis de la siguiente manera:

Por funciones trigonométricas se conoce que:

$$sen^2 q3 + \cos^2 q3 = 1 \tag{3.21}$$

$tgq_3 = senq_3 / \cos q_3$, por lo tanto;

$$q3 = arctg\left(\frac{\pm\sqrt{1-\cos^2 q_3}}{\cos q_3}\right) \tag{3.22}$$

De este resultado se observa que la posición final tiene dos posibles soluciones por el signo de la raíz. Para el brazo robótico del prototipo se simplifica la una solución debido a que el elemento 2 es fijo como se indico anteriormente.

De la misma manera se puede calcular la posición de q2 con la resta de los ángulos β y α como se indica en la figura anterior, pero debido a que el elemento 2 que define este ángulo (q2) es fijo el valor de q2=0.

Las expresiones de q1, q2, q3 calculadas, resuelven el problema cinemático inverso para el brazo robótico del prototipo que entrega hojas volantes.

3.3 ARQUITECTURA DEL ROBOT

Como se indica en el siguiente diagrama, un microcontrolador principal realiza el control de todos los elementos a ser manipulados para la operación del prototipo robot. Básicamente las tareas a ejecutar por parte del robot son: desplazamiento a través de la tracción diferencial, detección de obstáculos, detección de personas, alimentación de hojas, entrega de hojas por medio del brazo robótico, movimiento de ojos y reproducción de sonido. Se maneja también el módulo de radiofrecuencia para el control remoto. Cabe señalar que cada una de estas tareas son controladas desde microcontroladores que actúan a modo esclavo y que se comunican a través de I2C con el microcontrolador master indicado en el esquema.

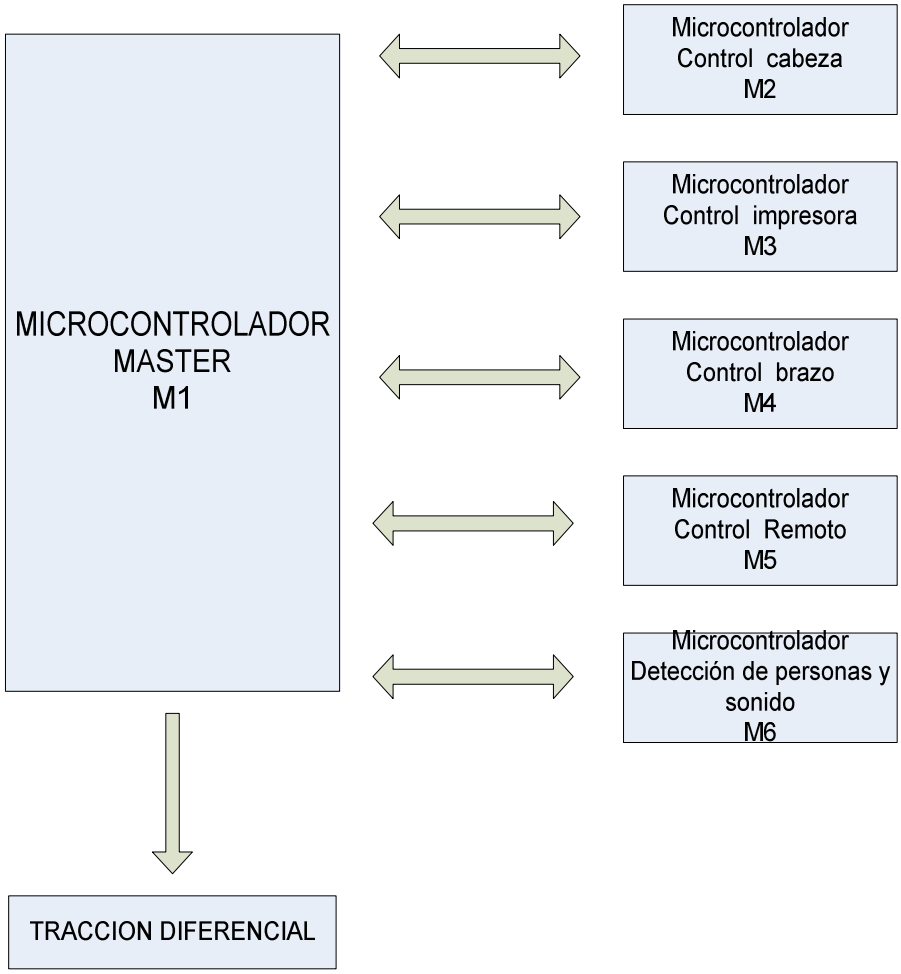

Figura 3.6 Arquitectura del robot

3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El prototipo presenta dos modos de control: automático y manual. En el modo automático el mecanismo se mueve por su alrededor, para ello cuenta con la ayuda de un sensor ultrasónico que le permite encontrar un radio de acción al evitar obstáculos y un sensor térmico para la detección de personas.

En el modo manual se utiliza un control remoto basado en la utilización de dos módulos RF FC-201/SP, uno para la transmisión y otro para la recepción.

Para la selección del modo manual/automático se dispone de un pulsador conectado al pinc.7 del microcontrolador master M1 el mismo que permite acceder a las rutinas de modo manual y modo automático.

En el modo manual se utiliza un microcontrolador ATmega16 denominado M5 que envía órdenes mediante un módulo transmisor (RF FC-201/SP) hacia el microcontrolador master, el mismo que lee las instrucciones a través de un módulo receptor del mismo tipo.
La transmisión y recepción de datos entre los módulos RF y su correspondiente micro utilizan el estándar de comunicación RS-232 acoplados con circuitos MAX232.

3.4.1 Rutina Microcontrolador Master

El programa del prototipo se ha estructurado en varias subrutinas distribuidas en varios microcontroladores, cuyo programa principal está bajo el control de un microcontrolador master (ATMEGA16 denominado M1).

En este programa principal se realizan varias configuraciones: recepción de datos del módulo RF por el puerto serial, módulo de comunicación I2C, entradas y salidas. A continuación se escoge el modo de operación: manual o automático.

El diagrama de flujo del programa principal se describe a continuación.

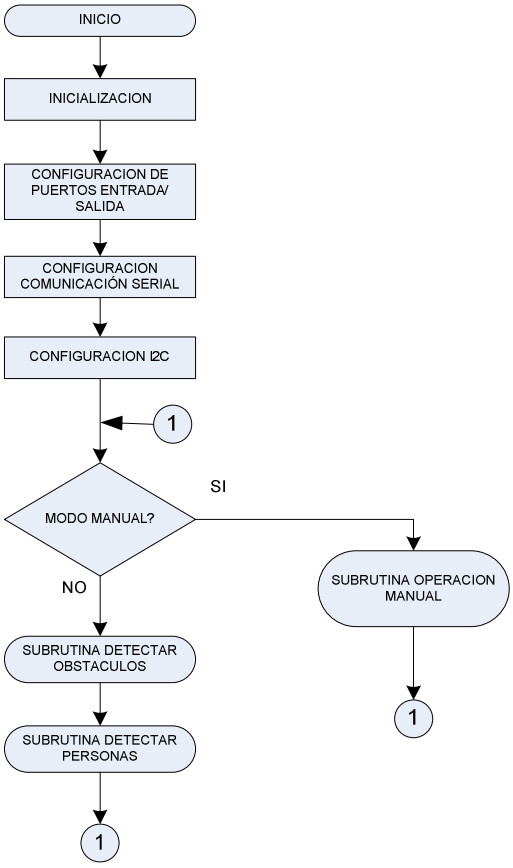

Figura 3.7 Diagrama de flujo rutina master

3.4.1.1 Subrutina Operación Manual

En el caso de que se haya elegido la operación en modo manual, el programa realiza la lectura de los datos recibidos desde el puerto serial que son enviados desde un dispositivo remoto. Este dispositivo de control manual consta de ocho pulsadores, los mismos permiten acceder a las siguientes subrutinas: adelantar mecanismo (“V”), mecanismo hacia atrás (“U”), mecanismo giro horario (“X”), mecanismo giro antihorario (“Y”), mover cabeza (“C”), alimentar hoja (“I”), subrutina entregar hoja (“B”) y subrutina sonido (“S”). Para acceder a cada una de estas subrutinas el control manual envía por el puerto serial letras que son asociadas a cada pulsador, las mismas que son comparadas en el programa master para el inicio de cada subrutina.

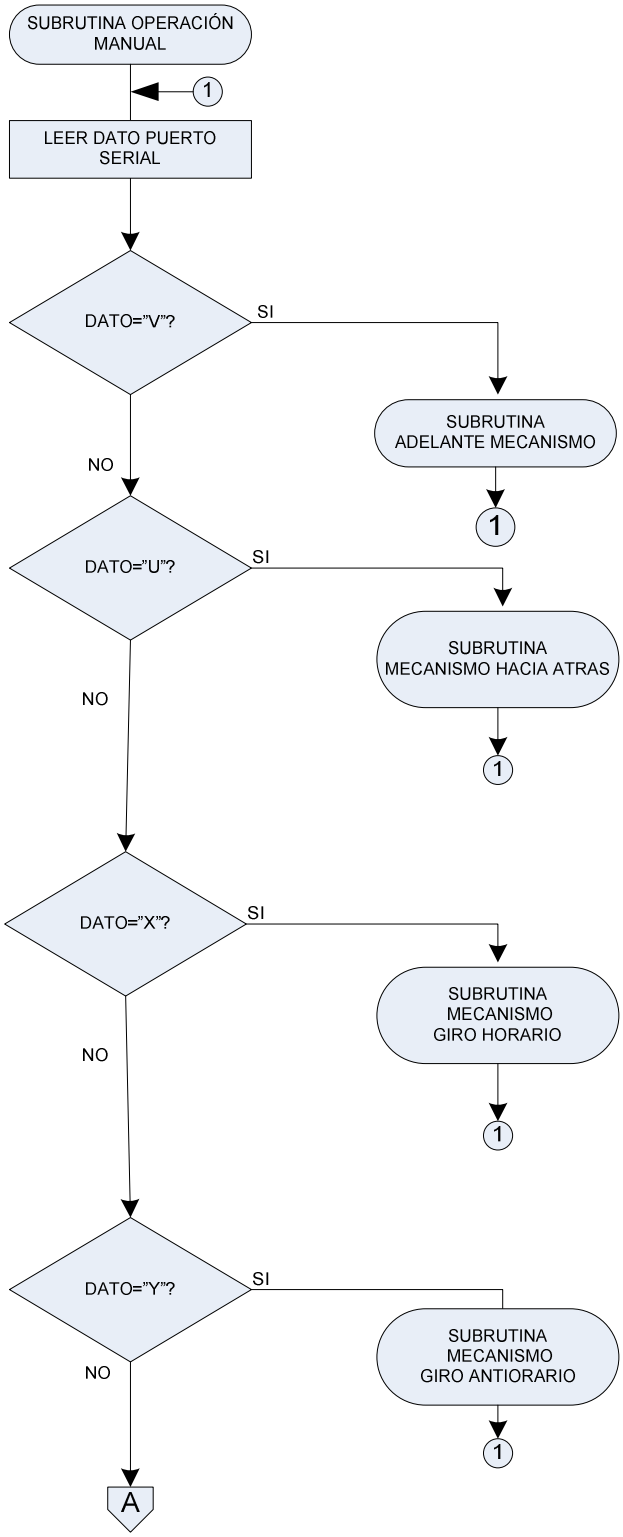

Figura 3.8.a Diagrama de flujo rutina operación manual

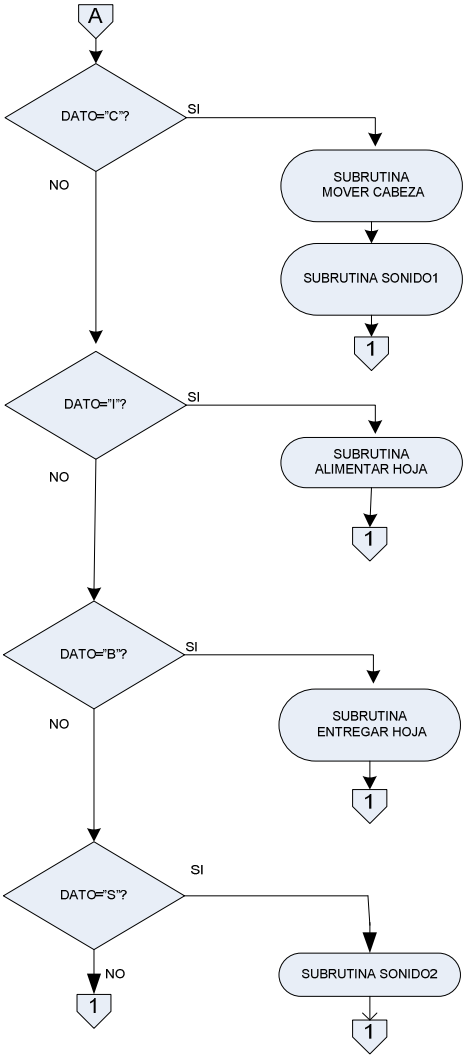

Figura 3.8.b Diagrama de flujo rutina operación manual

3.4.1.2 Subrutinas para el movimiento del mecanismo

Estas subrutinas permiten el desplazamiento del mecanismo del robot en cuatro direcciones: adelante, atrás, giro horario y giro antihorario. Para el control se utilizan cuatro salidas porta.0, porta.1, porta.2 y porta.3, las mismas que son las señales de control de los dos puentes H asociadas a los dos motores.

En la siguiente tabla se indica los estados lógicos requeridos para los cuatro sentidos de movimiento.

Tabla 3.2 Estados lógicos control tracción diferencial

	Porta.3	Porta.2	Porta.1	Porta.0
Adelante	0	1	0	1
Atrás	1	0	1	0
Giro Horario	1	0	0	1
Giro Antihorario	0	1	1	0

Los diagramas de flujo para que el mecanismo realice estos movimientos se muestran a continuación.

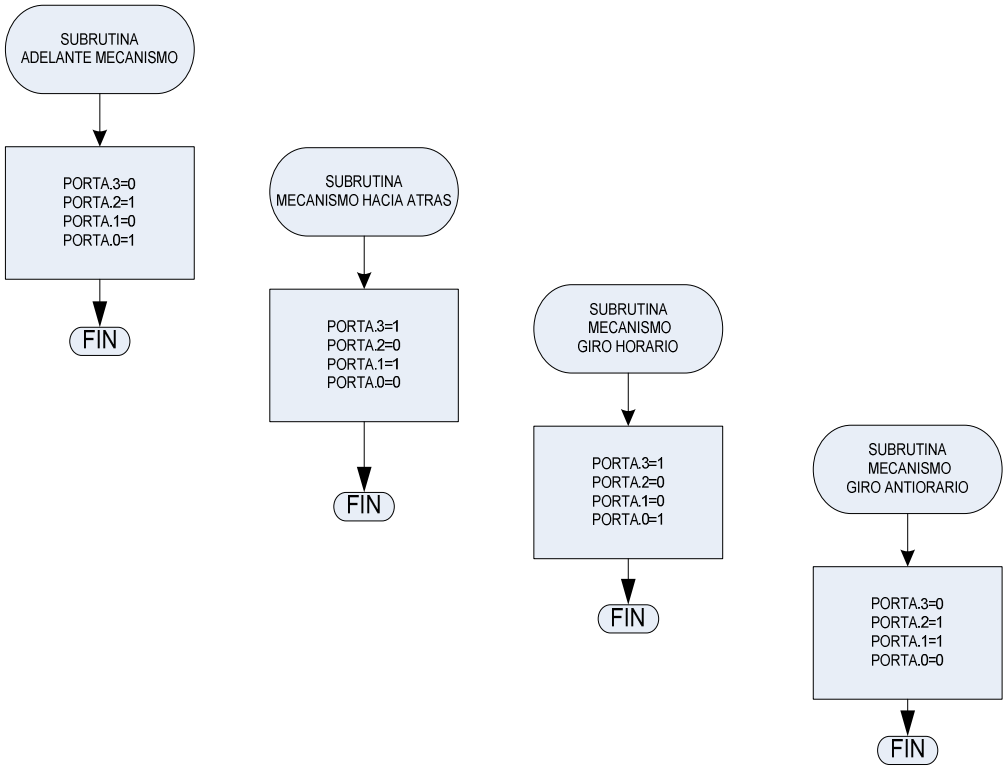

Figura 3.9 Diagrama de flujo subrutinas movimiento mecanismo

3.4.2 Subrutina Mover Cabeza

La programación de la subrutina que permite mover la cabeza se desarrolló en un microcontrolador ATMEGA16 denominado M2.

Para el movimiento de los ojos se dispone de un motor dc controlado por un driver L293 comandado por los pines PORTB.4 y PORTB.5 y dos finales de carrera para cambiar el sentido de giro, estas señales ingresan a los pines PINA.0 y PINA.1.

El movimiento de párpados consta de un motor dc para cada párpado, los cuales trabajan con una misma señal de control, igualmente controlados por un L293 mediante los puertos PORTB.2 y PORTB.3, y dos finales de carrera que son leídos en los puertos PORTB.0 y PORTB.1.

Los ojos constan de dos leds de alta luminiscencia que se encienden al energizar el microcontrolador.

La subrutina consta de cuatro movimientos secuenciales: bajar ojos, pestañear, subir ojos y pestañear.

El diagrama de flujo para el programa de control desarrollado se describe a continuación.

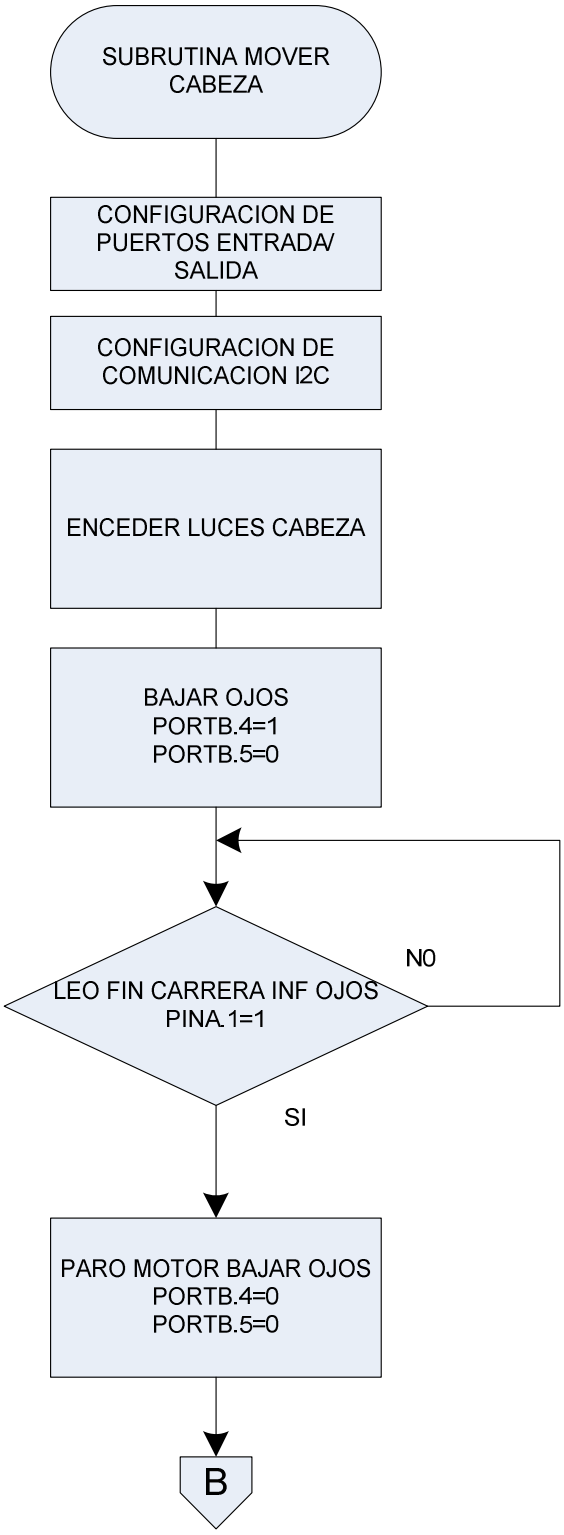

Figura 3.10.a Diagrama de flujo subrutina mover cabeza

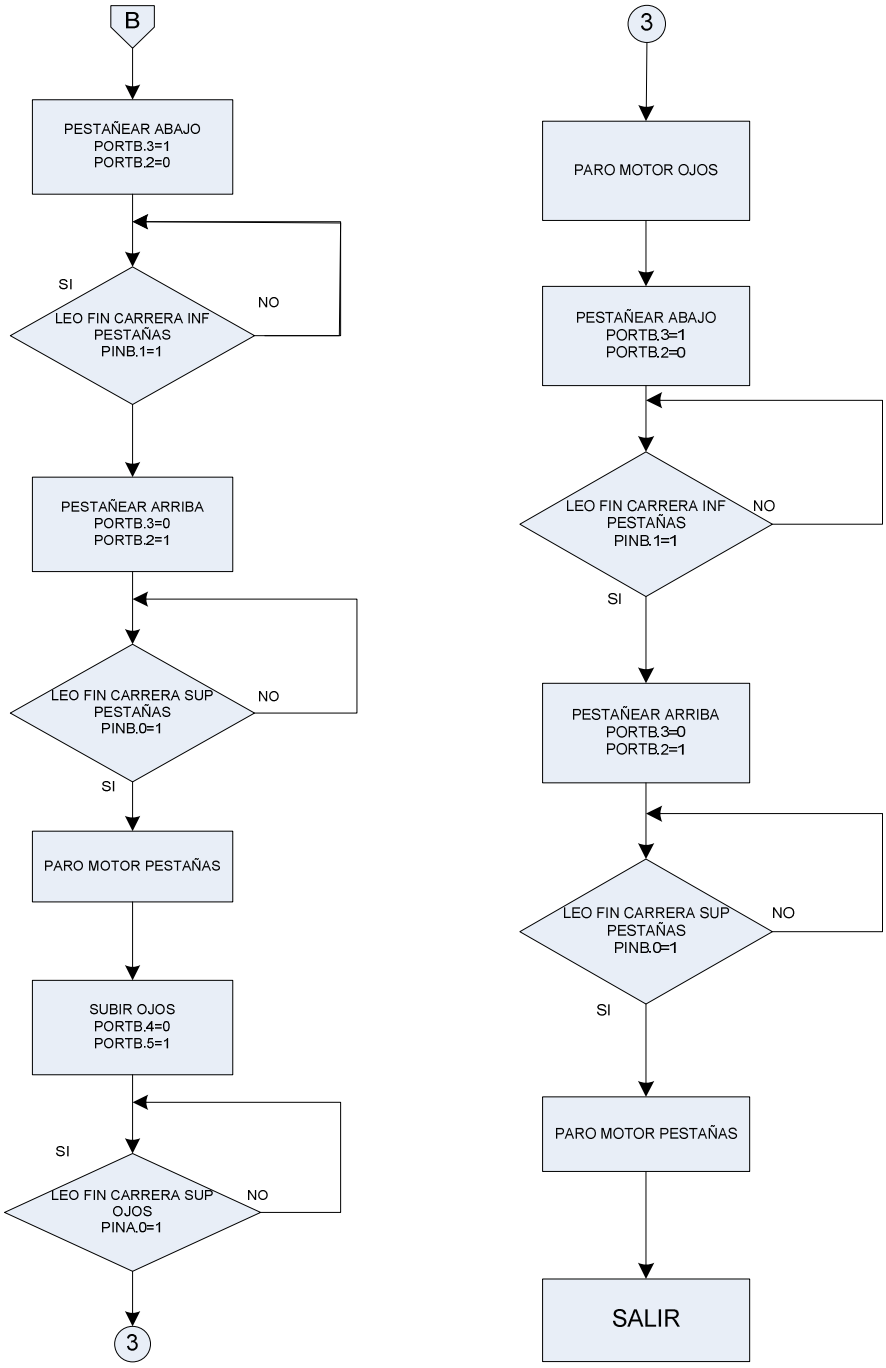

Figura 3.10.b Diagrama de flujo subrutina mover cabeza

3.4.3 Subrutina Alimentar Hoja

Esta subrutina que permite alimentar hojas se programó en un microcontrolador ATMEGA16 denominado M3. La alimentación de las hojas se realizó básicamente con el control de un motor a pasos bipolar, además de un sensor H21A1 que es del tipo optoelectrónico infrarrojo utilizado para la detección de paso del papel.

Para alimentar una hoja a la vez el motor a pasos gira en sentido horario permitiendo que una hoja sea absorbida por el mecanismo, hasta que el sensor de papel envíe una señal en alto indicando que es tiempo de expulsar la hoja, para lo cual el motor cambia de sentido de giro y mediante el arreglo de piñones interno del mecanismo de la impresora, envía la hoja hacia la bandeja de salida. El tiempo de salida de la hoja se estima en 5 segundos, luego de esto se detiene el motor a pasos a la espera de iniciar nuevamente la rutina.

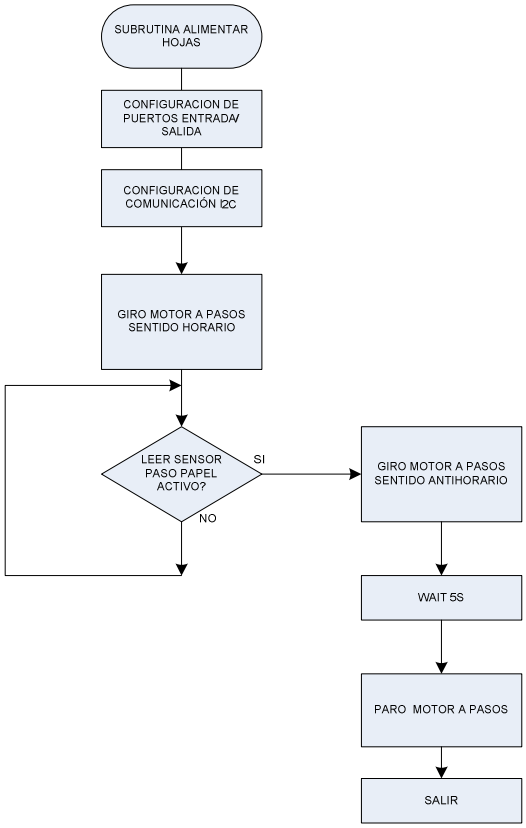

Figura 3.11 Diagrama de flujo subrutina alimentar hoja

3.4.4 Subrutina Entregar Hoja

Para esta subrutina se utilizó un microcontrolador ATMEGA16 llamado M4. La tarea de entrega de hojas emplea varias subrutinas que comprenden el posicionamiento de los actuadores del brazo, lecturas de fines de carrera de motor del hombro y del motor del codo, posicionamiento de servos de muñeca y pinza y además la lectura de sensores de bandeja de papel y pinza.

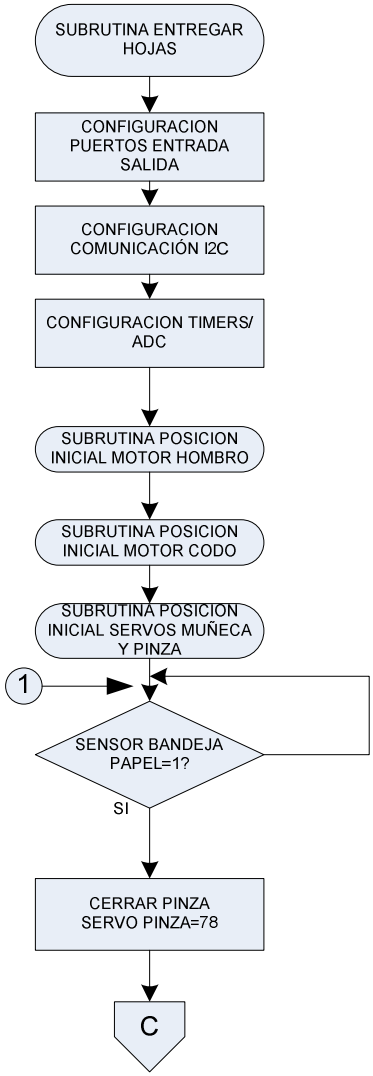

Figura 3.12.a Diagrama de flujo subrutina entregar hoja

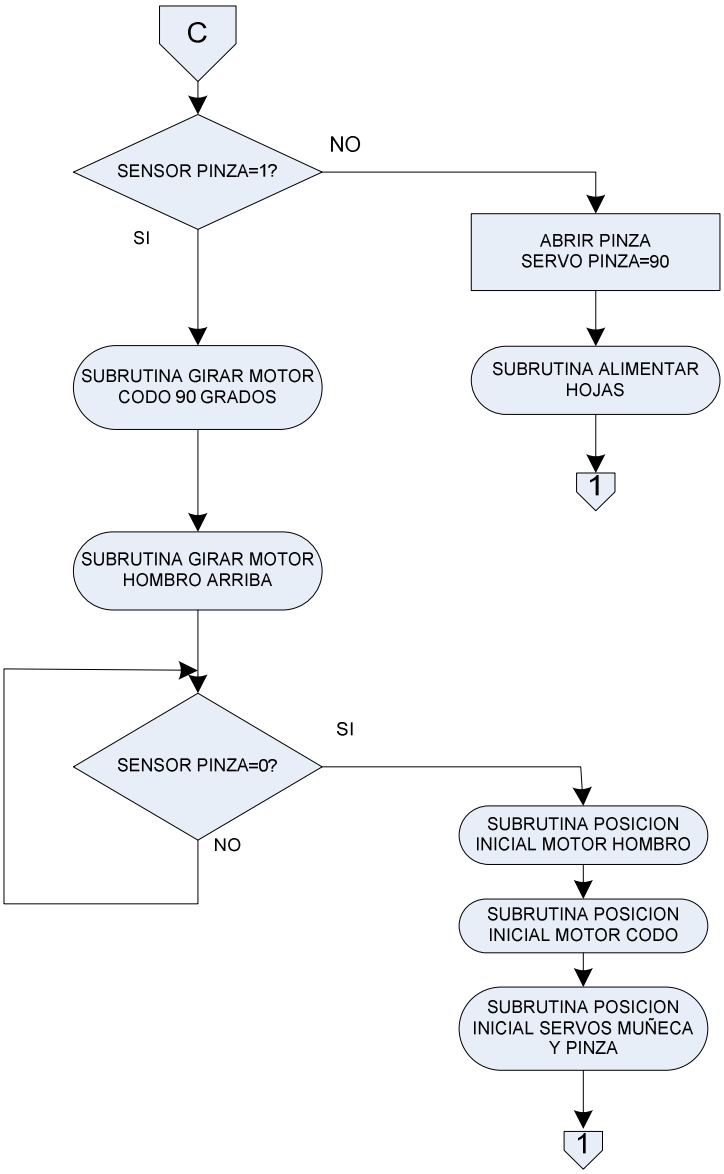

Figura 3.12.b Diagrama de flujo subrutina entregar hoja

3.4.4.1 Subrutina Posición Inicial Motor Hombro

Para el posicionamiento inicial del motor del hombro se emplea un fin de carrera 1 ubicado en la parte inferior del motor, cuyo accionamiento indica que el antebrazo ha llegado a la posición inicial. El accionamiento del motor para esta acción está controlado por dos señales PWM con las que se logra manejar la velocidad del motor evitando que esta baje bruscamente.

El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra a continuación.

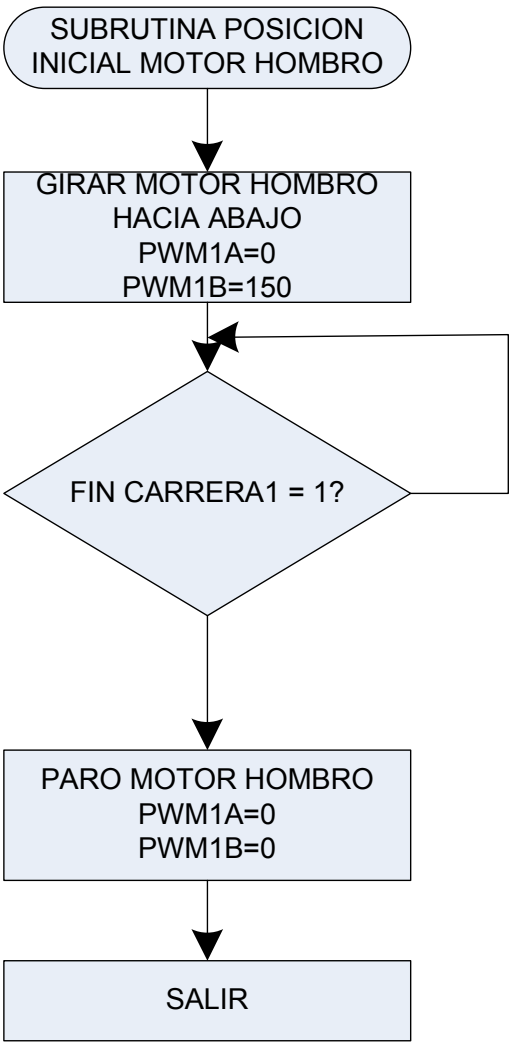

Figura 3.13 Diagrama de flujo subrutina posición inicial motor hombro

3.4.4.2 Subrutina Posición Inicial Motor Codo

Para esta subrutina se utiliza las salidas portb.1 y portb.2 para el control del driver L293, así mismo un fin de carrera 2 es el que indica la posición inicial del motor del codo. El programa tiene el siguiente diagrama de flujo.

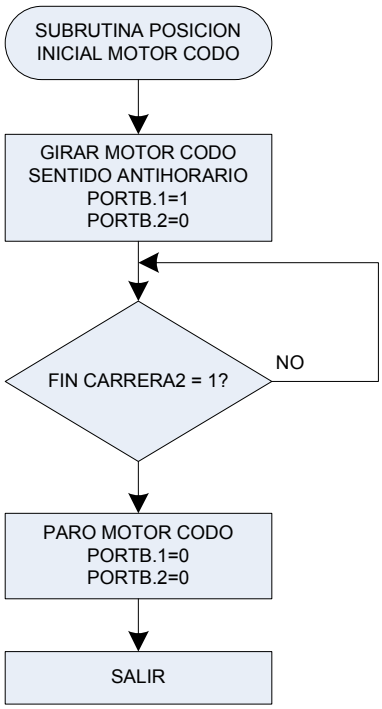

Figura 3.14 Diagrama de flujo subrutina posición inicial motor codo

3.4.4.3 Subrutina Posición Inicial Servos muñeca y pinza

Esta subrutina garantiza la adecuada posición de la muñeca y la pinza abierta lista para recibir una hoja. Para esto se utiliza los pines porta.0 y porta.1 del microcontrolador M4 como salidas de control para los servomotores que definen la posición de la muñeca y pinza. Es así para garantizar una ubicación inicial lista para recibir hojas, se define servo muñeca en la posición 90^o (posición inicial muñeca) y servo pinza en la posición 50^o (pinza abierta).

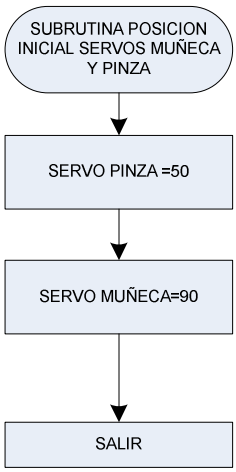

Figura 3.15 Diagrama de flujo subrutina posición inicial servos muñeca y pinza

3.4.4.4 Subrutina Girar motor codo 90º

Para esta subrutina se toma la lectura del encoder del motor del codo. La resolución del encoder del motor utilizado es de 360 grados por vuelta, con esta referencia se tomó el valor de 90 en sentido horario, garantizando la posición del motor para la entrega de las hojas según el análisis cinemático descrito anteriormente.

El diagrama de flujo respectivo se muestra a continuación.

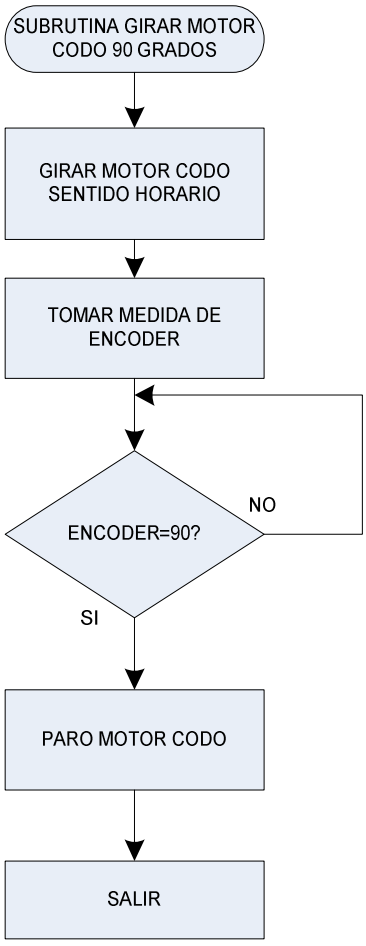

Figura 3.16 Diagrama de flujo subrutina girar codo 90º

3.4.4.5 Subrutina Girar Motor Hombro Arriba

Para ubicar el brazo en posición de entrega de hoja, se gira el motor del hombro hacia arriba, este movimiento es controlado por la lectura del potenciómetro acoplado al eje del motor. Por programación se estableció que la lectura del potenciómetro para una vuelta completa (360º) equivale a 255 decimal, por lo tanto cada grado representa 0.7, de esta manera se seteó el movimiento del brazo en 45º hacia arriba, que equivale a la lectura del potenciómetro en un valor de 132 decimal, tomando en cuenta que la lectura de posición inicial es de 100. Para esta acción se utiliza las mismas señales PWM utilizadas en la bajada del motor.

A continuación se indica el diagrama de flujo de esta subrutina.

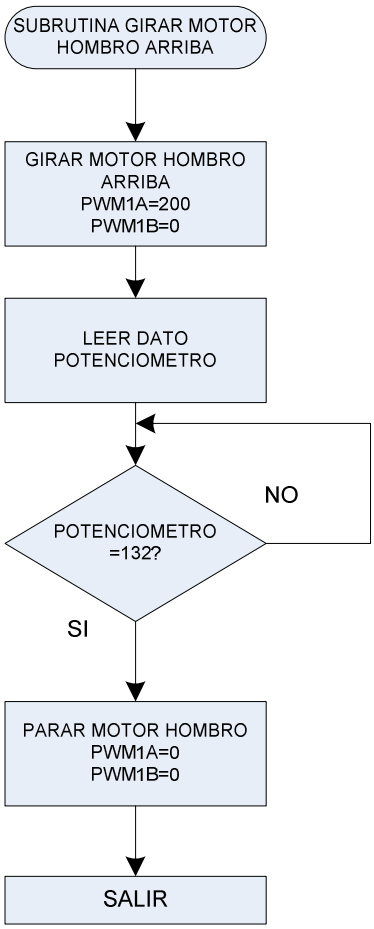

Figura 3.17 Diagrama de flujo subrutina girar motor hombro arriba

3.4.5 Subrutina Control Remoto

Esta subrutina se implementó en el microcontrolador ATMEGA16 denominado M5, la misma tiene por objeto enviar a través del puerto serial y por este al módulo transmisor RF instrucciones que son recibidas por el módulo RF receptor en el microcontrolador master M1.

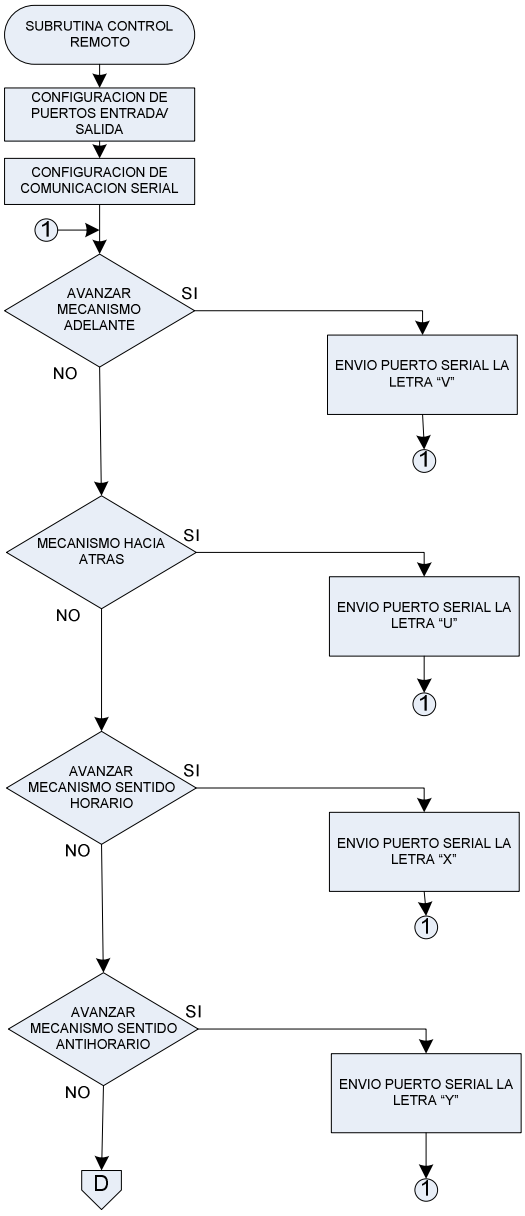

Figura 3.18.a Diagrama de flujo subrutina control remoto

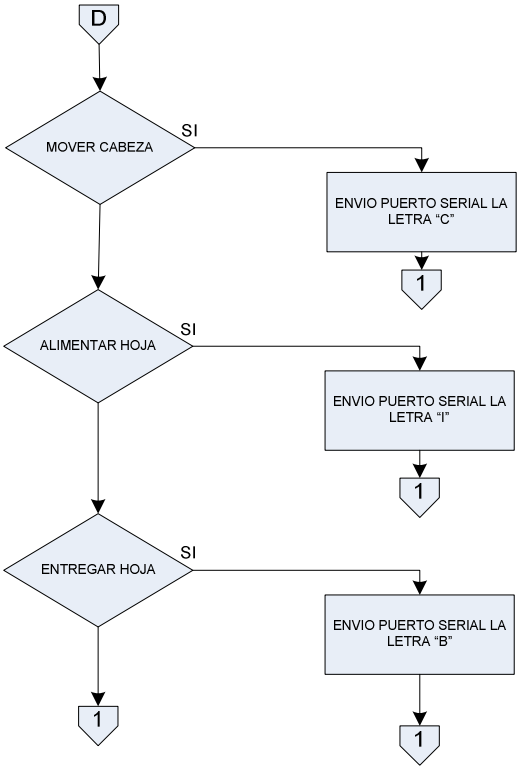

Figura 3.18.b Diagrama de flujo subrutina control remoto

3.4.6 Subrutina Detectar Obstáculos

El modo automático se inicia avanzando el mecanismo hacia adelante hasta detectar obstáculos, seguidamente la misma está en la capacidad de detectar personas y consecuentemente terminar con la entrega de hojas completando el modo automático.

Para la detección de obstáculos el prototipo utiliza el sensor ultrasónico SRF05, el mismo que está ubicado en la parte frontal. La detección se basa en una rutina que mide la distancia a la que se encuentra un obstáculo, expresado en centímetros. Considerando las dimensiones del prototipo se configuró una distancia de 100 cm entre el mecanismo y un posible obstáculo, es decir que si un obstáculo se encuentra a un metro de distancia se ordena que se detenga el robot, gire en sentido horario hasta que la distancia medida por el sensor sea mayor que 100 cm, entonces el mecanismo sigue hacia delante.

El diagrama de flujo de la subrutina se muestra en la Figura 3.19.

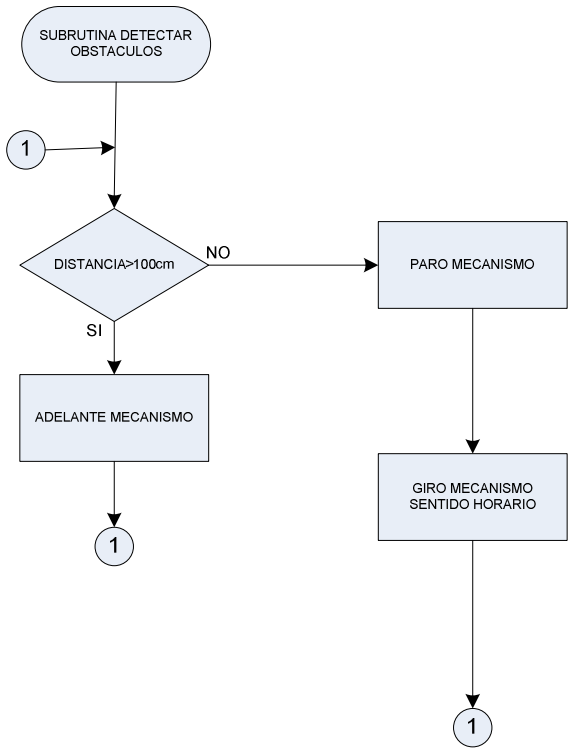

Figura 3.19 Diagrama de flujo subrutina control detectar obstáculos

3.4.7 Subrutina de Detección de Personas

Para la detección de personas se utilizó el sensor térmico TPA81, el mismo que es capaz de medir la temperatura de un objeto a distancia. Este sensor está formado por una matriz de ocho sensores colocados linealmente de modo que puede medir 8 puntos adyacentes simultáneamente, las temperaturas se expresan en grados centígrados. Utilizando este principio de funcionamiento y conociendo que el cuerpo humano emite cierta temperatura, para la detección de personas se utiliza una relación entre las lecturas de temperatura obtenidas por los 8 pixeles del TPA81 y la temperatura ambiente, estos datos aparecen en los registros 1 a 9 del sensor.

Según las pruebas realizadas se determinó que al detectar una persona la diferencia de temperaturas de los registros y la ambiente va en el rango de 4 a 10 grados, dependiendo de la distancia a la que se ubique la persona, por lo

que se utilizó esta diferencia para asegurar que cuando una persona esté al frente del robot este entregue las hojas.

En el caso de que una persona se haya detectado, el robot inicia la secuencia para la entrega de hojas que comprende el siguiente orden: movimiento de cabeza, reproducción de sonido 1, alimentación de hojas, reproducción de sonido 2 y entrega de hojas.

El diagrama de flujo asociado con las tareas que se efectúan al detectar personas se muestra a continuación.

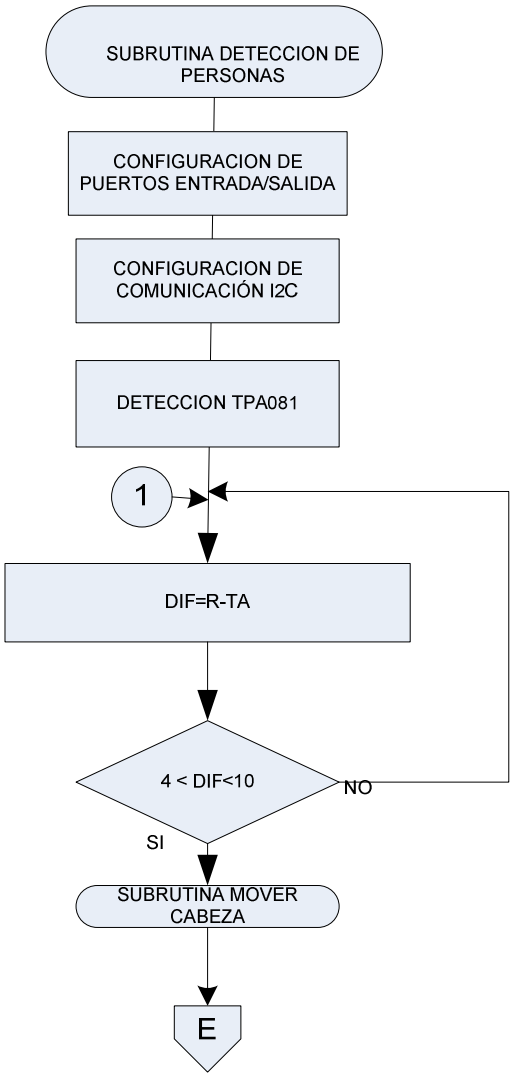

Figura 3.20.a Diagrama de flujo subrutina detección de personas

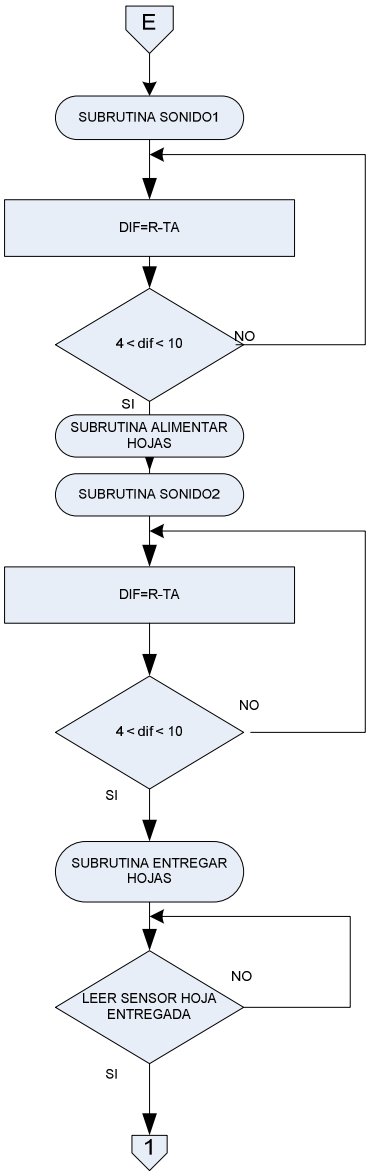

Figura 3.20.b Diagrama de flujo subrutina detección de personas

3.4.8 Subrutina de Reproducción de Sonido

La reproducción de sonido se desarrolló en el microcontrolador ATMEGA16 llamado M6, el mismo que reproduce dos sonidos asociados con el movimiento de cabeza y mando manual desde el control remoto.

Para reproducir los sonidos se envían el direccionamiento de dos ubicaciones de memoria del ISD25120 con su respectiva activación de reproducción.

Los dos sonidos fueron grabados previamente en el ISD25120 en las direcciones mencionadas anteriormente.

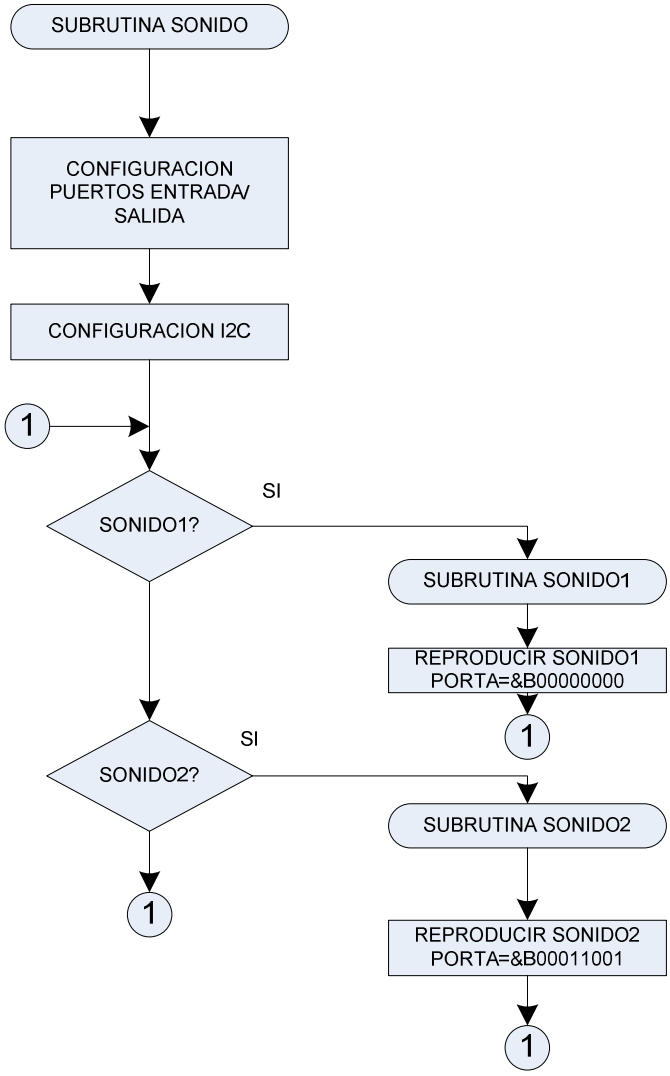

Figura 3.21 Diagrama de flujo subrutina control sonido

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el objeto de verificar que el robot satisface los objetivos planteados y delimitar sus acciones es sometido a una serie de pruebas, con el fin de observar el desempeño en su área de trabajo y de esta manera mostrar sus resultados.

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La cantidad máxima de hojas que pueden almacenarse en la bandeja de alimentación del prototipo para garantizar un adecuado funcionamiento es 50.

El tamaño de las hojas a utilizarse como volantes publicitarias es A5 (14,8x21cm) y de un espesor de 75 gr.

La superficie sobre la cual el prototipo desempeña sus tareas debe ser completamente horizontal.

La posición inicial del brazo robótico está al nivel de la bandeja de salida de las hojas, con la pinza de recepción completamente abierta a la espera de las hojas, esta posición se garantiza con la programación realizada. En caso de que el brazo se encuentre en otra posición que no es la inicial, este al momento del encendido se ubicará en la posición determinada como inicial.

4.2 PUESTA EN MARCHA

- Colocar las hojas publicitarias en la bandeja de alimentación, asegurando su correcta ubicación.
- Verificar que las baterías de alimentación se encuentren completamente cargadas.
- Activar el botón de encendido general del prototipo.

- Verificar que las salidas de los microprocesadores trabajen adecuadamente (esto se consigue observando las luces de los ojos que se encienden).
- Verificar el estado del indicador que muestra el modo de operación: apagado en modo manual y encendido en modo automático.

4.3 TRACCIÓN DIFERENCIAL

En las pruebas realizadas en la tracción diferencial se buscó determinar el correcto funcionamiento del mecanismo en sus cuatro direcciones de desplazamiento. Tomando en cuenta todo el peso del prototipo (70 libras), se observó que la relación de velocidad/torque utilizada es adecuada para manejar todo este peso y a la vez trasladar el mecanismo a una velocidad de un metro por cada 5 segundos, por lo que se determina que no es necesario reducir la velocidad de los motores pues esto hace que el sistema se desplace muy lentamente. Además se observa que el arranque y paro del mecanismo no es brusco.

Figura 4.1 Tracción diferencial, desplazamiento en cuatro sentidos

4.4 COMPORTAMIENTO ANTE OBSTÁCULOS

El robot tiene la capacidad de evadir obstáculos presentes en su alrededor, como paredes y muebles que generalmente se encuentran en los centros comerciales, para ello utiliza un sensor ultrasónico que mide la distancia hacia los objetos. En el prototipo este sensor está ubicado en la parte frontal a una altura de 70 cm, con el diseño elaborado evade obstáculos que se le presenten a esta altura y a una distancia de hasta 1m.

El robot en operación automática ante un obstáculo responde de la siguiente manera: el sensor detecta un obstáculo a un metro de distancia y detiene el mecanismo, comienza el giro del mecanismo en sentido horario hasta que no encuentre un obstáculo y luego avanza hacia adelante.

Figura 4.2 Robot evadiendo una pared como obstáculo

4.5 CABEZA DEL PROTOTIPO

Se verificó que la cabeza del robot cumple con los movimientos programados, esto es: encendido de ojos, movimiento hacia abajo de ojos, parpadeo que está representado por la apertura y cierre de los ojos y movimiento de ojos hacia arriba. Cabe indicar que estas acciones son secuenciales y se repiten cada vez que se presione el botón respectivo del control remoto cuando se trabaja en modo manual, y se repiten una vez al iniciar la secuencia de entrega de hojas cuando se opera en modo automático.

Figura 4.3 Tareas de movimiento de cabeza

4.6 ALIMENTACIÓN DE HOJAS

El sistema de alimentación de hojas dispensa una hoja a la vez, con las pruebas realizadas se comprobó un adecuado funcionamiento del sensor detector de paso de papel, que ordena que el motor a pasos invierta el sentido de giro permitiendo la salida de las hojas. Se alimentó la bandeja de almacenamiento con 50 hojas y se verificó que la alimentación se completa sin problemas. Sin embargo debe garantizarse que las hojas tengan una adecuada separación entre ellas, pues de lo contrario esto podría ocasionar atascos involuntarios en el mecanismo.

Figura 4.4 Alimentación de hojas volantes

4.7 BRAZO ROBÓTICO

De las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento adecuado del brazo robótico se puede indicar los siguientes resultados: la posición inicial del brazo garantiza que las hojas lleguen directamente a la pinza, para ello el sensor de bandeja indica que una hoja ha sido dispensada y con esto se ordena que se cierra la pinza conforme lo establecido vía programación. Un segundo sensor ubicado en la pinza detecta que la hoja está siendo sujetada por la pinza presionando la misma adecuadamente. Solo si este segundo sensor garantiza que hay una hoja en la pinza, se inicia el proceso de entrega de hojas para lo cual el brazo se levanta a la posición de entrega. Una vez arriba el brazo espera que la hoja haya sido retirada para volver a su posición inicial, con esto se observa que no existe una nueva rutina de alimentación de hojas hasta que la hoja sea retirada de la pinza.

Todas estas tareas se ejecutan siempre y cuando el robot detecte la presencia de una persona frente a él, pues de lo contrario no realiza actividades de entrega, esto comprueba la validez de las subrutinas que manejan el brazo robótico.

Figura 4.5 Hojas llegando a la pinza

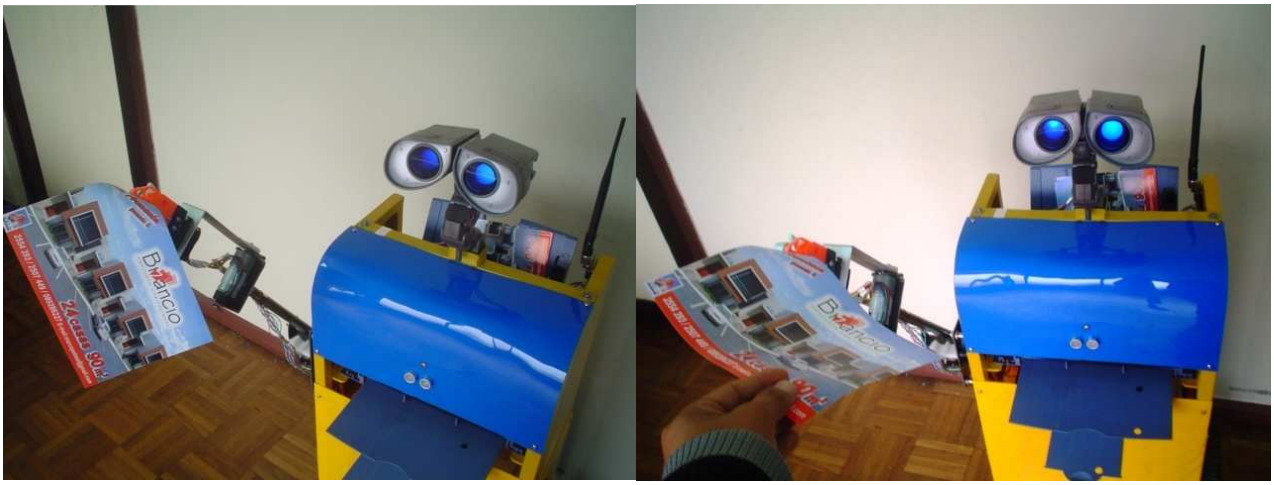

Figura 4.6 Brazo entregando hoja

4.8 CONTROL REMOTO

Se verificó que el control remoto funciona adecuadamente con un alcance de 100m en línea de vista. Cada uno de los pulsadores permite acceder correctamente a cada una de las tareas programadas sin ningún problema, según lo esperado.

4.9 RESULTADOS

Una vez terminado el presente proyecto se cuenta con un robot móvil con las siguientes características:

- Operación manual, en este modo de operación el robot obedece señales enviadas desde el control remoto para llevar a cabo instrucciones de navegación, movimiento de ojos y entrega de hojas.
- Operación autónoma, en este modo de trabajo el robot hace uso de sus sensores térmico y ultrasónico para la detección de personas y evasión de obstáculos.
- Detección de personas en su área de trabajo, hasta a una distancia de 3m en línea de vista en el peor de los casos.
- Detección de obstáculos en su entorno de trabajo a una distancia de 1m.

- Movimiento amigable de ojos y párpados.
- Reproducción de sonidos, uno al momento del movimiento de los ojos y otro al instante de accionar el botón de sonido desde el control remoto en el modo manual de funcionamiento.
- Entrega de hojas volantes por medio de brazo robótico.

4.10 LISTA DE MATERIALES DEL PROTOTIPO

En la siguiente tabla se detalla la lista de materiales, elementos electrónicos y actuadores utilizados para la implementación del presente proyecto, además se incluye el valor de cada uno para tener el costo total del mismo, en dólares americanos.

Tabla 4.1 Materiales y elementos mecánicos utilizados en el Prototipo

CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO USD	VALOR USD
1	Chasis metálico tracción diferencial	120	120
1	Chasis metálico cuerpo del robot	65	65
1	Lámina de acrílico	30	30
2	Rueda tracción diferencial	22	44
1	Rueda Loca	8	8
2	Piñon reductor motor	40	80
2	Soporte ruedas	10	20
1	Mecanismo de impresora	60	60
1	Estructura metálica brazo	120	120
1	Piñon motor brazo	40	40
1	Tornillos y pernos varios tamaños	10	10
1	Silicón transparente	3,5	3,5
1	Cinta adhesiva aislante	1	1
2	Soportes metálicos para placas	5	10
	TOTAL		**611,5**

Tabla 4.2 Materiales y elementos electrónicos utilizados en el prototipo

CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR
1	Motor con encoder EMG30	60	60
1	Motor para el brazo	45	45
2	Motores tracción diferencial	55	110
1	Pinza con servo	40	40
1	Servo HS-311	18	18
1	Sensor térmico TPA81	100	100
1	Sensor ultrasónico SRF05	40	40
1	ISD25120	15	15
2	Sensores CNY70	3,5	7
1	Cabeza ultimate Walle	250	250
2	Módulos RF	50	100
1	Juegos parlantes computadora	10	10
1	Batería 12V, 33Ah	175	175
1	Batería 6V, 10 Ah	25	25
6	Microcontroladores ATMEGA16	6	36
6	Zócalos 40 pines	25	1,5
3	Driver L293D	3	9
2	Max232	2	4
6	TIP127	1	6
6	TIP122	1	6
6	Reguladores 5V LM7805	1	6
18	Disipadores metálicos TO220	0,7	12,6
4	Optotransistores 4N35	0,8	3,2
13	Transistores 2N3904	0,2	2,6
20	Leds (colores varios)	0,3	6
25	Conectores macho y hembra	0,5	12,5
6	Borneras plásticas	0,25	1,5
1	Cable eléctrico (varios números)	10	10
1	Resistencias varios valores (40)	0,8	0,8
1	Condensadores varios valores (20)	6	6
1	Potenciómetro 10K	0,5	0,5
1	Porta fusible	0,28	0,28
1	Fusible de vidrio 10ª	0,06	0,06
1	Botón de encendido apagado	0,38	0,38
7	Pulsadores	0,31	1,86
2	Fines de carrera	0,4	0,8
1	Clóruro Férrico	6	6
8	Láminas de transferencia	1	8
3	Baquelita de 30*20 de un solo lado	3,24	9,74
30	Postes para baquelita	0,1	3
3	Batería AA (control remoto)	1	3
	TOTAL		**1152,32**

El costo de materiales para la construcción del prototipo es de 1763,82.

El valor de ingeniería que representa el diseño y construcción del prototipo, está determinado en base al número de horas efectivas de trabajo, es así que se invirtieron 500 horas de trabajo que significa un valor aproximado de $5000.

Por lo tanto el costo de la implementación y construcción del prototipo es de USD 6763,82.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Todos los objetivos planteados en el presente proyecto se han cumplido satisfactoriamente. En consecuencia el prototipo se ha desenvuelto de la mejor manera en todas las pruebas realizadas. Inclusive existe empresas interesadas en el desarrollo de estos robots para aplicaciones en planes de marketing.

- Este tipo de robots para aplicaciones promocionales produce un gran interés en el público, el solo desplazamiento del robot genera mucha curiosidad y como es natural la gente se siente atraída hacia él, causando impacto y de esta manera hace que la entrega de hojas sea más amena y no agotadora.

- La forma innovadora en la que se pretende incentivar el marketing y la publicidad a la par con la tecnología, reafirma el inicio en nuestro país de una nueva era científica basada en el uso de tecnologías conocidas muy poco en nuestro entorno y por lo tanto de gran interés. De la misma manera la utilización de robot representa una alternativa interesante e imprescindible en el desarrollo de la industria del país.

- Para el diseño de la parte mecánica es importante iniciar con el análisis de materiales, el paquete computacional denominado SOLIDWORKS es una herramienta que permite ejecutar el análisis de esfuerzos de los posibles materiales con los que se piensa construir el robot. Se puede validar el diseño mediante la corrección de errores si los hubiere, para luego pasar a su construcción, en lugar de corregir posibles problemas con el mecanismo ya armado. Este tipo de herramientas permite un gran ahorro de tiempo al momento del diseño mecánico, además de garantizar la construcción final.

- La tracción diferencial presentada en el proyecto, es una buena alternativa para manejar pesos considerables con solo 12 voltios, el aumento de torque con la relación de engranajes construido hace que el sistema se desplace con facilidad en el área de trabajo. Para nuestro caso no fue necesario la implementación de un sistema de control de velocidad, puesto que con la alimentación directa de 12V a los motores a través del puente H, el mecanismo se mueve a una velocidad adecuada.

- Los filtros implementados a la entrada y salida de los circuitos reguladores de voltaje, ayudan de manera considerable a reducir la interferencia electromagnética producida por los motores que podrían afectar a los circuitos de control. La ausencia de estos filtros ocasiona que los microcontroladores no se desempeñen adecuadamente, además el uso de cables apantallados en cables de datos ayuda considerablemente a evitar interferencias.

- La distribución de tareas en distintos microcontroladores, hace que las posibles labores de mantenimiento a realizarse se simplifiquen, así en el caso de detectar problemas en el correcto desempeño de alguna función, bastaría con analizar la tarea que tiene problemas para dirigirse a su respectivo análisis y reparación en el bloque correspondiente.

- El desarrollo del control del robot con la utilización de microcontroladores de fácil comercialización en el mercado, reduce en gran medida los costos de implementación, además se demuestra que con su adecuada programación y con el correcto diseño de los elementos electrónicos, se tiene un óptimo desempeño al interactuar junto con motores de gran consumo de corriente, como es el caso de los motores de la tracción diferencial utilizados en el prototipo desarrollado.

- El uso de dos baterías, una para la parte de potencia y otra para la parte de control contribuye notablemente en el correcto funcionamiento de las rutinas del microcontrolador, de esta manera también se alarga el periodo de funcionamiento en las tareas de entrega de hojas del robot.

- El uso de realimentación potenciométrica en el caso del motor principal del brazo robótico, resulta de gran comodidad y buen desempeño, pues con la utilización de un conversor análogo digital se lee las variaciones de voltaje transformadas en grados de giro en la programación interna del microcontrolador y se puede cerrar de una manera correcta el lazo de control que ubica el brazo en la posición deseada.

- En casos industriales en donde la posición en tiempo real de un manipulador robótico debe ser preciso, el resolver el problema cinemático inverso es fundamental, para nuestro caso no es tan crítico, pues la ubicación del mecanismo del brazo robótico y su control de posición inicial garantiza una correcta repetitividad, además la tarea de entrega de hojas no requiere una posición final de la pinza con exactitud milimétrica, como se comprobó en las pruebas realizadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Por los altos costos de implementación en sensores y actuadores, el prototipo requiere de un gran cuidado en su transportación principalmente con el mecanismo del brazo robótico que se encuentra al alcance de posibles roces por su ubicación.

- Si se necesita que la entrega de hojas sea más rápida, se requiere un cambio en el mecanismo de alimentación de hojas, el sistema actual al ser una adaptación de una unidad de impresión un poco antigua ha limitado su desempeño en cuanto a poder subir la velocidad en la dispensación de hojas, por otro lado el brazo robótico no tendría problemas para realizar un trabajo más intenso con un nuevo mecanismo de alimentación de hojas, pues su motor principal es de gran torque y velocidad.

- Para el desarrollo de sistemas robóticos de este tamaño es conveniente usar motores de DC con cajas reductoras y sistemas de engranajes, de esta manera se garantiza reducción de velocidad y aumento de torque.

- Para la implementación de un sistema similar se recomienda la investigación de diferentes herramientas computacionales que existen en el mercado, especialmente en otros países donde el desarrollo robótico es avanzado. Esto facilita el proceso de construcción del robot, en cuanto a diseño, programación y desarrollo del mismo contribuyendo notablemente a obtener un producto final de óptimos resultados.

- El robot puede trabajar continuamente durante un tiempo, por lo que se debe revisar que las baterías estén cargadas plenamente, esto permite garantizar el éxito en una presentación de entrega de publicidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Roboticspot, “Definición y clasificación de la robótica”, 2004, España, http://www.roboticspot.com/robotica/robotica.shtml

[2] Domoking, “Care-O-Bot 3, un robot a nuestro servicio”, 2008, España, www.domoking.com.

[3] Ask, “El nuevo robot de Sony”, España, 2010, http://www.ask.com/bar?q=foto+robot+subiendo+gradas&page

[4] Neoteo, “Honda: Control mental de robots (ASIMO)”, España, abril 2009, http://www.neoteo.com

[5] Trackter, “Promociones con robots”, Argentina, 2009, http://www.trackter.com/robotica/robots_r2d2.htm

[6] Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ecuador, 2010, http://biee.epn.edu.ec

[7] Escuela Politécnica del Chimborazo, “Repositorio de Datos”, Ecuador, 2010, http://dspace.espoch.edu.ec

[8] Escuela Politécnica del Ejército, “Biblioteca Virtual”, Ecuador, 2010, http://biblioteca.espe.edu.ec

[9] Galeon, Sensores de Proximidad, España, 2010, http://sensoresdeproximidad.galeon.com/#ultrasonico

[10] BricoGeek, “Sensor de proximidad por ultrasonidos LV-EZ3”, España, 2010, http://www bricogeek.com.

[11] Galeon, “Termometría”, España, 2010, http://www.galeon.com/termometria

[12] Superrobótica, “Sensor Térmico TPA81”, España, 2010, http://www.superrobotica.com/S320085.htm

[13] Rueda Luis, “Sensores”, Ero-Pic, Argentina, 2010, http://perso.wanadoo.es/luis_ju/sensor/ir.html

[14] Eltra, “Encoder absoluto“, Argentina, 2000, http://controlray.googlecode.com/files/Encoder%20Absoluto.pdf

[15] Unicrom, “Motor cc – Motor de corriente continua”, 2002, http://www.unicrom.com/Tut_MotorCC.asp

[16] Robots Argentina, “Robots”, Argentina, 2009, http://axxon.com.ar/rob/MotorPP_basico.htm

[17] Todorobot, “Servomotor”, Argentina, 2009, http://www.todorobot.com.ar/documentos/servomotor.pdf

[18] Pyro Electro, “Servomotor”, 2007, http://www.pyroelectro.com/.../parts/hitec311_part.JPG

[19] Ingeniería de sistemas y automática, “Morfología”, España, 2010, http://www.isa.uniovi.es/~alonsog/Robotica/02_Morfologia.pdf

[20] Asociación de Robótica y Domótica de España, “Principios mecánicos de un brazo robot”, España, 2008, http://wiki.webdearde.com/images/c/ca/Principios_mec%C3%A1nicos_de_un_brazo_robot.pdf

[21] Universidad de Atacama, ”Morfología del robot”, Chile, 2010, http://www.industriaynegocios.cl/Academicos.

[22] Barrientos A, “Fundamentos de Robótica”, McGraw-Hill, México,1997

[23] Servomecanismo de Posición, Http://ciecfie.epn.edu.ec/CControlC/materias/autoático/mdasc/infom.htm.

[24] Solidwoks, “Tutorial de solidworks”, México, 2008, http://Solidworks.com.mx.

[25] Arévalo M., “Diseño, construcción y control de un robot industrial con arquitectura antropofórmica dotado con visión artificial”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Febrero 2010.

[26] Fairchild, “H21A1 phototransistor optical interrupter switch data sheet”, USA, 2001.

[27] Amequipment, “208 Series Oscillating Motor”,USA, 2006 http://www.amequipment.com

[28] Superrobotica, “Motor Reductor 12V 170 RPM con encoder EMG30”, España, 2010, http://www.superrobotica.com/S330100.htm

[29] Superrobotica, “Pinza robot”, España, 2010, http://www.superrobotica.com/S300135.htm.

[30] Superrobotica, “SRF05 Sensor distancias Ultrasonido”, España, 2010, http://www.superrobotica.com/S320111.htm

[31] Robotstore, “SRF05 – Ultra-Sonic Ranger”, Hong Kong, 2010 http://www.robotstorehk.com/sensors/sensor.html

[32] Winbond Electronics Corp, ISD2560/75/90/120 data sheet, Taiwan, 2003

[33] Friendcom, “RF FC201/SP datasheet”, China, 2010

[34] Aragón G, “Diseño y construcción de un robot para promoción de productos”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Diciembre 2007.

[35] Vitron Energy, “Ley de Peukert”, España, 2010, http://www.victronenergy.com

ANEXOS