



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO DISPENSADOR
DE MEDIOS DE CULTIVO PARA MICROORGANISMOS**

**PROYECTO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
CONTROL**

LUIS RODRIGO PAREDES AYALA
luisrodrigo_p@hotmail.com

MARCELO DAVID CHAVEZ MAZA
(R.I.P)

DIRECTOR: DR. JORGE ANDRÉS ROSALES ACOSTA
androsaco@gmail.com

QUITO, ENERO 2013

DECLARACIÓN

Yo Luis Rodrigo Paredes Ayala, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes 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.

Luis Rodrigo Paredes Ayala

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Rodrigo Paredes Ayala, bajo mi supervisión.

Dr. Andrés Rosales
DIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

El presente proyecto contó con asesoramiento y verificación de resultados de JAMES BROWN PHARMA.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres que supieron guiarme en la obtención de una de mis metas, y me incentivaron para que siga adelante sin importar cuán difícil sea el camino. Gracias por acompañarme siempre, por alentarme y por ser mis amigos. Gracias a mis hermanos que son los que tuvieron que soportar las malas noches, espero poder ser un ejemplo para ellos y que lleguen a obtener sus metas. Gracias a todos por haber estado en las buenas y las malas, en los buenos y malos genios.

A Carlos Palacios y María José que siempre estuvo pendiente de los avances del proyecto, y siempre dispuesto a colaborar con lo que estuviese a su alcance. Y en general, por su gran apoyo e incentivo.

A Marcelo le agradezco haber confiado en la idea del proyecto y haber siempre apoyado en todo, aunque él ya no pueda acompañarnos, este es nuestro trabajo, y una parte de él también se encuentra aquí plasmada.

Un agradecimiento muy especial para el Dr. Andrés Rosales, que a pesar de no habernos conocido aceptó dirigir nuestro proyecto, y de la manera más grande le agradezco por habernos dado la oportunidad de alcanzar un sueño.

Gracias a Paola, a la mujer que me ha estado acompañando durante esta última parte del largo trayecto, y una de las principales colaboradoras de la obtención de mi sueño. Gracias x acompañarme, incentivarme, siempre confiar en mí y mis capacidades, y además por ser mi amiga y compañera.

Sin dejar a un lado a todos aquellos que compartieron durante todo el desarrollo de la carrera, compartiendo sus experiencias, enseñanzas, su vida, muchas gracias por haber

sido parte de esta etapa de vida. Gracias Bruno, César, Daniel, Jorge, Iveth, Juan Diego, Lily, David, Diana, Pablo, Israel y a todos aquellos que supieron estar presentes en todo momento y apoyar en todo, sin importar la situación, hora, o día. Gracias a todos, son parte muy importante en mi vida y de la obtención de esta meta.

Luis Rodrigo Paredes Ayala

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mis padres y hermanos, que son los que me apoyaron todo el tiempo para obtener todo lo alcanzado hasta ahora. En general a toda mi familia y amigos que sin ellos todo lo alcanzado no hubiese sido igual. Gracias, por ser parte de esta etapa tan importante de mi vida.

Luis Rodrigo Paredes Ayala

CONTENIDO

1	CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1	MEDIOS DE CULTIVO.....	1
1.1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.2	ELABORACIÓN DE LOS MEDIOS DE CULTIVO.....	1
1.1.3	FORMULACIÓN	3
1.1.4	OPTIMIZACIÓN	4
1.1.5	ESTERILIZACIÓN	5
1.1.6	CLASIFICACIÓN	5
1.2	ROBÓTICA	7
1.2.1	DEFINICIÓN.....	7
1.2.2	ESQUEMA GENERAL DE UN ROBOT.....	8
1.3	ROBOTS MANIPULADORES.....	8
1.3.1	DEFINICIÓN.....	9
1.3.2	SISTEMA MECÁNICO.....	9
1.3.3	ACTUADORES.....	9
1.3.4	ESTRUCTURA	10
1.3.5	NUEVAS ESTRUCTURAS DE ROBOTS MANIPULADORES	18
2	CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE	20
2.1	HARDWARE PARA EL CONTROL SISTEMA ROBÓTICO.....	20
2.1.1	ARDUINO DUEMILANOVE.....	20
2.1.2	SERVOMOTORES.....	22
2.1.3	BOMBA PERISTÁLTICA	25
2.1.4	MICROCONTROLADOR ARTMEGA16.....	26
2.2	PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO DUEMILANOVE.....	27
2.2.1	ENTORNO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO 1.0	27
2.2.2	TIPOS DE DATOS	29
2.2.3	OPERADORES ARITMÉTICOS.....	30
2.2.4	OPERADORES DE COMPARACIÓN	30
2.2.5	OPERADORES LÓGICOS	30
2.2.6	ESTRUCTURAS.....	31
2.2.7	FUNCIONES.....	33
2.3	DIAGRAMAS DE FLUJO	38
2.3.1	DIAGRAMA DE FLUJO ATMEGA16	40
2.3.2	DIAGRAMA DE FLUJO ARDUINO 2.....	43
2.4	DISEÑO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y ESTERILIZADO	44
2.4.1	DISEÑO MECÁNICO	44
2.5	CINEMÁTICA DEL ROBOT.....	64
2.5.1	PROBLEMA CINEMÁTICO DIRECTO [10]	65
2.5.2	CINEMÁTICA INVERSA	71
2.6	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	75
2.6.1	ACONDICIONAMIENTO SENSOR DE POSICIÓN-PRIMERA ARTICULACIÓN.	75
2.6.2	MANEJO DE MOTORES	79
2.6.3	CONEXIONES PARA LÁMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA Y LUCES PILOTO	81

2.6.4	SENSORES PARA DETECCIÓN DE CAJAS	82
2.6.5	PANTALLA LCD	82
2.6.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	83
2.6.7	CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA.	83
3	<i>CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DISPENSADO AUTOMÁTICO.</i>	85
3.1	GENERALIDADES	85
3.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	85
3.2.1	Conexiones de la etapa con ATmega16.....	85
3.2.2	CONEXIONES DE LA ETAPA CON ARDUINO	88
3.2.3	CONEXIONES DE LA ETAPA DE CONTROL DEL DISCO DE DESPLAZAMIENTO	89
3.3	MONTAJE DE LA CÁMARA DE ESTERILIZACIÓN Y MANIPULADOR	90
3.4	PLACA DE CONTROL.....	92
3.5	COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO	93
4	<i>CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS</i>	95
4.1	INTRODUCCIÓN	95
4.2	PRUEBA DE CONTROL CON EL ARDUINO	95
4.2.1	PRUEBA DE SECUENCIA DEL MANIPULADOR	95
4.2.2	PRUEBA DE SECUENCIA CON SENSORES INFRAROJOS	95
4.3	PRUEBAS CON EL ATMEGA16	96
4.3.1	CALIBRACIÓN DEL TIMER EN ATMEGA16.....	96
4.3.2	PRUEBA DE SECUENCIA ATMEGA16 CON PARTE DE POTENCIA.....	97
4.4	COORDINACIÓN ENTRE ATMEGA16 Y ARDUINO	98
4.5	PRUEBA DE MANIPULACIÓN DE CAJA PETRI.....	98
4.6	CALIBRACIÓN DE ÁNGULOS DEL MANIPULADOR	99
4.7	PRUEBAS FINALES DEL SISTEMA	99
4.7.1	PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN.....	99
5	<i>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	104
5.1	CONCLUSIONES	104
5.2	RECOMENDACIONES.....	106
	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	107
	<i>Anexo A</i>	<i>I</i>
	Instrucciones de operación del equipo	I
	<i>Anexo B</i>	<i>VI</i>
	Microcontrolador ATmega16	VI
	<i>Anexo C</i>	<i>IX</i>
	Especificaciones de los actuadores	IX

Anexo D.....	XVII
Informe de esterilidad de JAMES BROWN FARMA	XVII
Anexo E.....	XVIII
Esquemáticos de Conexiones Eléctricas de la Placa de Control	XVIII
Anexo F.....	XXVII
Planos que conforman las piezas del manipulador y el sistema eléctrico	XXVII

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESQUEMA GENERAL DE UN ROBOT [17]	8
FIGURA 1.2 CADENA CINEMÁTICA ABIERTA.....	9
FIGURA 1.3 TIPOS DE ARTICULACIONES [10]	10
FIGURA 1.4 GRADOS DE LIBERTAD DEL ROBOT ARC MATE 120/S-12 [10]	11
FIGURA 1.5 CONFIGURACIONES DE UN ROBOT MANIPULADOR INDUSTRIAL [10].....	12
FIGURA 1.6 ROBOT MANIPULADOR CON CONFIGURACIÓN CARTESIANA [25].....	12
FIGURA 1.7 ROBOT MANIPULADOR CON CONFIGURACIÓN CILÍNDRICA [25]	13
FIGURA 1.8 ROBOT MANIPULADOR CON CONFIGURACIÓN POLAR [25]	13
FIGURA 1.9 ROBOT MANIPULADOR CON CONFIGURACIÓN SCARA [25]	14
FIGURA 1.10 ROBOT MANIPULADOR CON CONFIGURACIÓN ANGULAR [25]	14
FIGURA 1.11 PINZA CON MOTOR PERPENDICULAR [18].....	16
FIGURA 1.12 PINZA CON MOTOR PARALELO AL EJE DEL DEDO [18]	16
FIGURA 1.13 PINZA CON ACTUADOR LINEAL ACOPLADO CON ENGRANES. [18]	17
FIGURA 1.14 PINZA CON ACTUADOR LINEAL ACOPLADO CON BARRAS [18]	17
FIGURA 1.15 PINZA CON ACTUADOR EN OTRA POSICIÓN [18].....	17
FIGURA 1.16 PINZA CON CUATRO BARRAS [18].....	18
FIGURA 1.17 PINZA CON CUATRO BARRAS Y ACTUADOR LINEAL. [18]	18
FIGURA 1.18 ROBOT MANIPULADOR TIPO SERPIENTE. [24]	19
FIGURA 1.19 ROBOT MANIPULADOR TIPO MANO. [24]	19
FIGURA 2.1 ARDUINO DUEMILANOVE [19].....	20
FIGURA 2.2 PARTES QUE CONFORMAN AL SERVOMOTOR [26].....	23
FIGURA 2.3 SEÑALES DE CONTROL PARA VARIOS ÁNGULOS DE GIRO. [20]	24
FIGURA 2.4 ETAPAS DE LA ROTACIÓN EN UNA BOMBA PERISTÁLTICA. [21].....	25
FIGURA 2.5 PANTALLA PRINCIPAL DE ARDUINO 1.0.....	28
FIGURA 2.6 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS INTERRUPCIONES EXTERNAS DEL ARDUINO	40
FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS INTERRUPCIONES DEL ATMEGA16	42
FIGURA 2.8 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA EN ARDUINO 2 QUE CONTROLA EL DISCO	43
FIGURA 2.9 CROQUIS EN DOS DIMENSIONES.....	45
FIGURA 2.10 EXTRUSIÓN DEL LA FIGURA 2.10	45
FIGURA 2.11 EJEMPLO DE ENSAMBLE	46
FIGURA 2.12 EJEMPLO DE ESTRUCTURA MECÁNICA Y PARTES PRINCIPALES QUE CONSTITUYEN UN ROBOT MANIPULADOR. [22]46	46
FIGURA 2.13 PIEZAS QUE CONFORMAN LA BASE.....	48
FIGURA 2.14 ENSAMBLAJE DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN LA BASE DEL MANIPULADOR.....	48
FIGURA 2.15 CUERPO DEL MANIPULADOR	49
FIGURA 2.16 PIEZAS A ENSAMBLAR EN DEL CUERPO DEL MANIPULADOR.....	50
FIGURA 2.17 ENSAMBLAJE DEL CUERPO	50
FIGURA 2.18 BRAZO DEL MANIPULADOR	51
FIGURA 2.19 PIEZAS Y ENSAMBLAJE DEL ANTEBRAZO DEL MANIPULADOR	52
FIGURA 2.20 PIEZAS QUE CONFORMAN LA PINZA DEL MANIPULADOR	53
FIGURA 2.21 ENSAMBLAJE DE LA PINZA.....	53
FIGURA 2.22 ENSAMBLAJE TOTAL DE PIEZAS.....	54
FIGURA 2.23 ENSAMBLAJE DEL MANIPULADOR-SÓLIDO Y TRANSPARENTE.....	54
FIGURA 2.24 VISTA SUPERIOR DE LA CAJA CON DIMENSIONES PRINCIPALES	55
FIGURA 2.25 PARED LATERAL IZQUIERDA VISTA GENERAL	56
FIGURA 2.26 VISTA FRONTAL DE LA PARED LATERAL IZQUIERDA (MM)	56
FIGURA 2.27 VISTA SUPERIOR DE LA PARED LATERAL IZQUIERDA (MM)	57

FIGURA 2.28 DISCO DE TRANSPORTE DE CAJAS HASTA EL MANIPULADOR (MM)	57
FIGURA 2.29 DIMENSIONES DE LAS DEMÁS PAREDES DE LA CÁMARA (MM)	58
FIGURA 2.30 DIMENSIONES DE LA PARED FRONTAL DE LA CÁMARA (MM).....	58
FIGURA 2.31 UBICACIÓN DEL DISCO DE TRANSPORTE DE CAJAS PETRI.....	59
FIGURA 2.32 ALTURA ENTRE LA TORRE CAJAS PETRI Y LA BASE DE LA CÁMARA	59
FIGURA 2.33 PROPORCIÓN ENTRE LA CÁMARA Y EL MANIPULADOR	60
FIGURA 2.34 DIAGRAMA DE RELACIÓN ENTRE CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA.....	65
FIGURA 2.35 UBICACIÓN DE EJES PARA EL CÁLCULO DE LA CINEMÁTICA DIRECTA.....	68
FIGURA 2.36 EJES PARA UBICACIÓN DE Θ_1	69
FIGURA 2.37 VISTA DE LAS DIMENSIONES FÍSICAS DEL MANIPULADOR.....	69
FIGURA 2.38 COORDENADAS ARTICULARES DEL ROBOT MANIPULADOR.....	73
FIGURA 2.39 VISUALIZACIÓN DE LOS ÁNGULOS Q_2 Y Q_3	74
FIGURA 2.40 ETAPA DE FILTRADO	76
FIGURA 2.41 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN Y PRIMERA INVERSIÓN	77
FIGURA 2.42 ETAPA FINAL DE INVERSIÓN.....	78
FIGURA 2.43 DIAGRAMA COMPLETO DEL ACONDICIONAMIENTO	79
FIGURA 2.44 CIRCUITO DEL MOTOR DC DE LA 1ERA ARTICULACIÓN DEL MANIPULADOR.....	80
FIGURA 2.45 CIRCUITO DEL MANEJO DEL MOTOR DC DE LA BOMBA DE DISPENSADO.....	80
FIGURA 2.46 CIRCUITO DEL MANEJO DEL MOTOR DC DEL DISCO.....	81
FIGURA 2.47 MUESTRA DE LAS CONEXIONES DE LÁMPARAS UV Y LUCES PILOTO	81
FIGURA 2.48 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SENSOR INFRARROJO	82
FIGURA 2.49 FOTO DE UNA PANTALLA LCD 20x4	82
FIGURA 2.50 DIAGRAMA DE FUENTE DE LA 24V	83
FIGURA 2.51 VISTAS FRONTAL Y LATERAL DE LA BOMBA PERISTÁLTICA UTILIZADA.....	84
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE CONEXIONES MICROCONTROLADOR ATMEGA16.....	85
FIGURA 3.2 INDICADOR LCD DE ESTADO DEL PROCESO	86
FIGURA 3.3 ENTRADAS Y SALIDAS DEL MICROCONTROLADOR	86
FIGURA 3.4 CONEXIONES DEL ARDUINO DUEMILANOVE.....	88
FIGURA 3.5 CONEXIONES DEL ARDUINO CONTROLADOR DEL DISCO	90
FIGURA 3.6 PANEL DE CONTROL.....	91
FIGURA 3.7 TARJETA DE CONTROL.....	91
FIGURA 3.8 FOTO INTERNA DE LA DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EN LA CÁMARA DE DISPENSADO.....	92
FIGURA 4.1 PESAJE DEL AGAR PARA PREPARAR 500ML DE MEDIO DE CULTIVO.....	100
FIGURA 4.2 DISOLUCIÓN DEL AGAR EN AGUA PREVIAMENTE CALENTADA.....	101
FIGURA 4.3 INGRESO DEL AGAR DISUELTO AL AUTOCLAVE.....	101
FIGURA 4.4 ROBOTIC PETRI FILLER REALIZANDO EL PROCESO DE DISPENSADO	102
FIGURA 4.5 MANIPULADOR DEPOSITANDO CAJA PETRI LLENA.....	102
FIGURA 4.6 CAJAS PETRI LLENAS Y FUERA DEL EQUIPO.....	103
FIGURA A- 1 PANEL DE CONTROL	I
FIGURA A- 2 INTERRUPTOR QUE ENCIENDE EL SISTEMA	I
FIGURA A- 3 BOTONES DE SELECCIÓN DEL NÚMERO DE CAJAS.....	II
FIGURA A- 4 BOTÓN ENTER.....	II
FIGURA A- 5 BOTÓN START	III
FIGURA A- 6 BOTÓN DE PAUSA Y RESET PAUSA	IV
FIGURA A- 7 PANTALLA LCD EN ESTADO DE PAUSA	IV
FIGURA A- 8 BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA	V
FIGURA C- 1 SERVOMOTOR HK15288A	IX

FIGURA C- 2 DIMENSIONES DEL SERVOMOTOR HK15288A	X
FIGURA C- 3 SERVOMOTOR HK928BB	X
FIGURA C- 4 DIMENSIONES DEL SERVOMOTOR HK928BB	XI
FIGURA C- 5 MOTOR DC PARA LA PRIMERA ARTICULACIÓN	XII
FIGURA C- 6 MOTOR DC PARA EL DISCO.....	XII
FIGURA C- 7 SENSOR INFRARROJO QRD1114	XIII
FIGURA C- 8 SENSOR INFRARROJO TCRT5000	XIV
FIGURA C- 10 POTENCIÓMETRO LINEAL.....	XVI

FIGURA E- 1 ESQUEMÁTICO DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA16.....	XVIII
FIGURA E- 2 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES PARA LOS SERVOMOTORES	XVIII
FIGURA E- 3 ESQUEMÁTICO DE LA CONEXIÓN DEL ARDUINO DUEMILANOVE	XIX
FIGURA E- 4 ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DE LOS RELÉS DE LUCES PILOTO Y ULTRAVIOLETA.	XIX
FIGURA E- 5 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES DE LOS PULSADORES Y SENSORES MAGNÉTICOS.....	XX
FIGURA E- 6 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES DEL LCD	XX
FIGURA E- 7 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES DEL ULN2803	XXI
FIGURA E- 8 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES DE LOS MOTORES DC Y SUS DRIVERS L293D	XXI
FIGURA E- 9 ESQUEMÁTICO DE LAS CONEXIONES DEL ACONDICIONAMIENTO DEL POTENCIÓMETRO DE LA PRIMERA ARTICULACIÓN	XXII
FIGURA E- 10 ESQUEMÁTICO DE LA CONEXIÓN DE LOS SENSORES INFRARROJOS.....	XXII
FIGURA E- 11 ESQUEMÁTICO DE LA CONEXIÓN DEL CONTROL PARA EL DISCO DE DESPLAZAMIENTO.....	XXIII
FIGURA E- 12 ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN DE LA FUENTE DE 24V	XXIII
FIGURA E- 13 RUTEADO DE LA PLACA DE CONTROL: CAPA SUPERIOR E INFERIOR	XXIII
FIGURA E- 14 VISUALIZACIÓN EN 3D DE LA PLACA DE CONTROL	XXIV
FIGURA E- 15 VISUALIZACIÓN DE LA PLACA DE CONTROL ORIGINAL.....	XXIV
FIGURA E- 16 PLACA CON ELEMENTOS SOLDADOS	XXV
FIGURA E- 17 RUTEADO DE LA PLACA DE CONTROL DEL DISCO DE DESPLAZAMIENTO	XXV
FIGURA E- 18 VISUALIZACIÓN DE LA PLACA DEL DISCO EN 3D.....	XXV
FIGURA E- 19 VISUALIZACIÓN DE LA PLACA ORIGINAL DEL DISCO.....	XXVI

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 COMPOSICIÓN DE UN MEDIO MÍNIMO PARA <i>KLEBSIELLA AEROGENS</i> [15].....	4
TABLA 2.1 TIPOS DE DATOS ADMITIDOS EN ARDUINO 1.0	29
TABLA 2.2 TABLA DE OPERADORES ARITMÉTICOS DE ARDUINO 1.0	30
TABLA 2.3 TABLA DE OPERADORES DE COMPARACIÓN DE ARDUINO 1.0.....	30
TABLA 2.4 TABLA DE OPERADORES LÓGICOS DE ARDUINO 1.0.....	31
TABLA 2.5 DOSIS DE RADIACIÓN UV-C PARA CADA TIPO DE MICROORGANISMO EN MJ/CM ² [7].....	62
TABLA 2.6 DETALLES TÉCNICOS DE LOS TUBOS GERMICIDAS PHILLIPS [9].....	63
TABLA 2.7 PARÁMETROS DENAVIT-HARTENBERG PARA EL MANIPULADOR.....	69
TABLA 2.8 TABLA DE VALORES MÁXIMOS DEL CIRCUITO INTEGRADO L293D OBTENIDO DEL DATASHEET DEL ELEMENTO.	80
TABLA 3.1 PINES ATMEGA16.....	87
TABLA 3.2 PINES CORRESPONDIENTES AL LCD	88
TABLA 3.3 LISTA DE CONEXIONES DEL ARDUINO DUEMILANOVE	89
TABLA 3.4 LISTA DE CONEXIONES DEL ARDUINO CONTROLADOR DEL DISCO.....	90
TABLA 3.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	93
TABLA 4.1 ACCIONES TOMADAS A PARTIR DE LOS ESTADOS DE LOS SENSORES.....	96
TABLA 4.2 PRUEBAS DE LOS TIEMPOS DE ESTERILIZACIÓN	97
TABLA 4.3 TIEMPOS Y RESULTADOS DE LA ESTERILIZACIÓN.....	100
TABLA C- 1 TABLA DE DIMENSIONES DEL SERVOMOTOR HK15288A.....	X
TABLA C- 2 TABLA DE DIMENSIONES DEL SERVOMOTOR HK928BB.....	XI
TABLA C- 3 RANGOS MÁXIMOS ABSOLUTOS A 25°C.....	XIII
TABLA C- 4 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y ÓPTICAS.....	XIV
TABLA C- 5 RESUMEN DEL PRODUCTO.....	XV
TABLA C- 6 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TCRT5000-1.....	XV
TABLA C- 7 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TCRT5000-2.....	XV
TABLA C- 8 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS.....	XVI

RESUMEN

El presente proyecto se basa en la gran variedad de aplicaciones que actualmente tiene la electrónica y la automatización los distintos campos. Utilizando los sólidos conocimientos de la electrónica y el control, se busca satisfacer necesidades de las personas.

Siendo así, se utilizan todos los conocimientos adquiridos tanto en la carrera universitaria como en la práctica profesional. Con esto, se busca beneficiar a los usuarios mediante la reducción de costos de producción y, además, tener un proceso continuo y sin fatiga.

Con la diversificación de distintas aéreas en el campo de diseño, y el creciente desarrollo de las tecnologías, se decide implementar un sistema que integra la robótica, la electrónica, la mecánica y la biología con el único fin de facilitar las actividades realizadas por diversos profesionales.

Sumando todo esto a la gran variedad de ventajas que presenta un robot frente a un operador humano, y si bien, lo importante no es reemplazar por completo al humano dentro de las actividades industriales, se puede lograr en conjunto, un desarrollo mucho más eficiente, efectivo, y preciso.

La frecuencia con la que actualmente se utiliza la robótica para el desarrollo industrial es impresionante, cada vez se ven sistemas automáticos mucho más avanzados que requieren menor intervención de la mano de operadores humanos, logrando de esa manera obtener procesos más limpios, aumentando los niveles de producción en porcentajes, que sin la implementación de este tipo de sistemas, hubiesen sido imposibles.

Con este proyecto se cubren diferentes áreas, relacionadas con la esterilización mediante luz ultravioleta, el manejo de manipuladores robóticos, el diseño y la implementación de sistemas, con el fin de lograr el desarrollo de una aplicación específica orientada al dispensado de medios de cultivo para bacterias a través de un robot manipulador.

El proyecto contempla un diseño para el llenado de un máximo de 20 cajas petri por medio de una bomba peristáltica y un manipulador robótico. Además, un sistema de desplazamiento y detección de cajas, y un proceso de esterilizado mediante luz ultravioleta.

El proceso de esterilizado se realiza de forma automática, tomando en cuenta que el operador solo interviene al momento de colocar las cajas en la torre de dispensado, al seleccionar el número de cajas petri a llenar, y al retirar las cajas petri después de haber terminado el proceso.

Finalmente, se tiene los resultados de varios experimentos realizados al sistema, que cubren los campos de pruebas de esterilidad verificadas en laboratorio, y de funcionamiento del equipo.

PRESENTACIÓN

En industrias alimenticias, hospitales, los laboratorios de investigación y lugares donde es primordial es control de un nivel muy alto de limpieza del entorno de producción se utilizan los medios de cultivo para comprobar que se cumpla con esta condición. Con esto se asegura un alto nivel de calidad en los distintos productos, con lo cual se puede decir que se obtiene un gran beneficio para consumidores y productores.

A eso se suma la necesidad de automatizar procesos repetitivos que en general llegan a tener un gran margen de error debido al cansancio de los operadores. Por esta razón esta serie de necesidades impulsan al desarrollo de este proyecto, que surge en busca de lograr la automatización del proceso de llenado de medios de cultivo en cajas petri de manera estéril. Buscando así, obtener un proceso más limpio y con una calidad constante en toda su producción.

En el presente trabajo, se describe la manera en que se desarrolló el diseño y la implementación del equipo. Comprende todo el grupo de materiales utilizados, los motivos por los cuales se seleccionaron los elementos, y como se distribuyó dichos elementos para obtener la mejor respuesta del sistema.

El presente trabajo está organizado de la siguiente forma:

En el Capítulo 1 se realiza una introducción a todo el marco teórico necesario para el desarrollo del proyecto. Tomando en cuenta conceptos como robótica, esterilización, medios de cultivo.

En el Capítulo 2 se presenta el proceso de diseño de las partes que conforman el sistema. Describiendo a detalle el software utilizado para el control del sistema y del hardware construido para cada una de las funciones que requiere el sistema, como son el robot manipulador, y la cámara de esterilización y dispensado.

En el Capítulo 3 se describe el proceso de implementación del sistema de dispensado automático. En esta sección se menciona todo lo referente a conexiones, montaje del sistema y costos del mismo.

En el Capítulo 4 se describe el proceso realizado al equipo concerniente a pruebas y resultados sobre el funcionamiento del sistema. Se mencionan paso a paso las pruebas

realizadas para lograr el objetivo del diseño, se realizan pruebas de los controladores del sistema y al hardware del sistema para confirmar su correcto funcionamiento.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo del proceso de diseño y construcción del Dispensador Robótico de Medios de Cultivo para Microorganismos.

1 CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 MEDIOS DE CULTIVO

1.1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más importantes para la identificación de microorganismos es observar su crecimiento en sustancias alimenticias artificiales preparadas en el laboratorio. El material alimenticio en el que crecen los microorganismos es el medio de cultivo y el crecimiento de los microorganismos es el cultivo. Se han preparado más de 10.000 medios de cultivo diferentes. [14]

Para que las bacterias crezcan adecuadamente en un medio de cultivo artificial, éste debe reunir una serie de condiciones adecuadas como son: temperatura, grado de humedad y presión de oxígeno, así como un grado correcto de acidez o alcalinidad. Un medio de cultivo debe contener los nutrientes y factores de crecimiento necesarios y debe estar exento de todo microorganismo contaminante. [14]

1.1.2 ELABORACIÓN DE LOS MEDIOS DE CULTIVO

Tiene como finalidad la elección de los componentes necesarios para lograr el crecimiento y formación adecuados de acuerdo al proceso que se esté desarrollando, teniendo en cuenta los aspectos relacionados con el microorganismo y los sustratos que se van a emplear; éstos incluyen los requerimientos nutricionales del microorganismo y algunos requerimientos específicos del proceso. Se debe tener en cuenta también la disponibilidad real de los componentes y consideraciones sobre las materias primas. [14]

1.1.2.1 Requerimientos nutricionales

Están determinados por el tipo de metabolismo celular, pueden ser autotróficos, que obtienen el carbono del CO_2 , o heterotróficos, que necesitan compuestos orgánicos como fuente de carbono.

Otro factor importante son las condiciones de cultivo que podría ser aerobio¹ o anaerobio².

¹ Un ambiente **aerobio** es un ambiente rico en oxígeno.[31]

² Un ambiente **anaerobio** consiste en un ambiente sin oxígeno. [31]

Dado que el nitrógeno es utilizado para la biosíntesis de proteínas, ácidos nucleicos y polímeros de la pared celular, se convierte en otro requerimiento nutricional de importancia. Las fuentes de nitrógeno pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica.

Los requerimientos de fósforo y azufre son suministrados en forma de PO_4H y SO_4 . Los requerimientos de potasio y magnesio se incorporan a los medios en forma de sales como fosfato y sulfato. Además de estos elementos, en ocasiones se requiere calcio, manganeso, hierro, cobalto, cobre, zinc, boro, sodio, aluminio, silicio, cloro, vanadio, cromo, níquel, arsénico, selenio, molibdeno.

Hay requerimientos especiales que dependen del proceso que se esté realizando y no del cultivo. [14]

1.1.2.2 Disponibilidad de los componentes

Es importante que, además de estar presentes, los nutrientes deben estar disponibles para ser usados por las células. Esto es importante debido a que todo material insoluble presente en el medio de cultivo va a tener una determinada capacidad de unión a elementos metálicos, disminuyendo la concentración efectiva de estos componentes en el cultivo.

1.1.2.3 Materias primas fundamentales

Las materias primas más importantes son las fuentes de carbono y de nitrógeno.

Las fuentes de carbono pueden ser:

- Hidratos de carbono: glucosa o dextrosa, sacarosa, lactosa, almidón, dextrina.
- Alcoholes: glicerol y manitol.
- Hidrocarburos: hexadecano y octadecano.

Otras materias primas que contienen hidratos de carbono como granos, melazas, celulosas, suero de queso, entre otras, son importantes por su disponibilidad y costo reducido.

Otros subproductos o efluentes de industrias que por su contenido en fuentes, como las vinazas de destilería, alpechín y residuos sulfúricos, son útiles para procesos de producción de biomasa destinada al consumo animal.

Las fuentes de nitrógeno son:

- De naturaleza inorgánica: amoníaco y sales de amonio
- De naturaleza orgánica: representadas por varios productos que pueden ser:
 - Hidrolizados de proteínas: obtenidas de distintas fuentes proteicas como carne de diferentes órganos de animales, pescado, gelatina, harina de soja, algodón.
 - Extracto de carne.
 - Extracto de levadura.
 - Extracto de malta.
 - Cornsteep (agua de maceración de la industria del maíz)

Se debe elegir correctamente la fuente de la materia prima teniendo en cuenta los costos, la disponibilidad y las impurezas de cada una de las fuentes antes mencionadas.

1.1.3 FORMULACIÓN

Tiene que ver con los aspectos cuantitativos de los medios, es decir, establece las concentraciones de cada componente a ser utilizadas.

En la Tabla 1.1 se muestran los componentes necesarios para la elaboración de un medio mínimo para *Klebsiella Aerogens* y la cantidad necesaria de cada uno de ellos en gramos.

Tabla 1.1 Composición de un medio mínimo para *Klebsiella aerogens* [15]

Componente	Elemento provisto o función	Masa del Componente (g)
Glucosa	C, Energía	22.7
NH ₄ Cl	N	4.37
KH ₂ PO ₄	P + K	1.13
MgSO ₄ ·7H ₂ O	S + Mg	0.232
CaCl ₂ ·2H ₂ O	Ca	0.011
FeSO ₄ ·7H ₂ O	Fe	0.007
MnSO ₄ ·4H ₂ O	Mn	0.002
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	Zn	0.002
CuSO ₄ ·5H ₂ O	Cu	0.0004
CoCl ₂ ·6H ₂ O	Co	0.0004
EDTA, Sal disódica dihidrato	Agente quelante	0.394
H ₂ O (destilada)		1,000 ml

1.1.4 OPTIMIZACIÓN

Existen ocasiones en las que se vuelve indispensable la optimización de los medios de cultivo, entre estas situaciones se pueden mencionar las siguientes:

- Cuando no existe información acerca del rendimiento de los elementos para el cultivo de un determinado microorganismo.
- Cuando existen limitaciones nutricionales ocultas, especialmente de elementos y factores de crecimiento.
- El uso de medios de cultivo que contienen elementos en exceso, respecto a los requerimientos nutricionales de determinado microorganismo, que puede inhibir el crecimiento.
- En el ensayo de sustancias estimulantes activadoras e inhibidoras del crecimiento del producto.
- Cuando se emplea fuentes nutricionales no convencionales.

La optimización consiste en hacer experimentos en los cuales se varía la concentración del elemento a ser ensayado manteniéndose constante la concentración de los demás componentes.

El procedimiento es simple pero se requiere una gran cantidad de trabajo ya que el operador no conoce con anterioridad cuál de los nutrientes es el limitante del crecimiento. Cuando son varios los nutrientes que posiblemente son los limitantes del crecimiento, este método se vuelve poco práctico, para estos casos se emplea técnicas estadísticas.

1.1.5 ESTERILIZACIÓN

Es la eliminación de toda forma de vida de un medio o material, lo que se lleva a cabo generalmente por medios físicos o por muerte de los microorganismos por calor, productos químicos u otra vía. [15]

La definición dada excluye cualquier técnica que tenga como resultado solamente el daño a los microorganismos o atenuación de la actividad de los mismos.

1.1.5.1 Métodos de esterilización

Existen tres métodos de esterilización:

- Por destrucción total de microorganismos: es un proceso muy violento que consiste en elevar considerablemente la temperatura del material. Otra forma es utilizando poderosos agentes oxidantes. Este método es efectivo pero su uso está muy restringido.
- Muerte o inactivación: es la eliminación de microorganismos sin que exista necesariamente la desintegración de las células. Se la puede realizar por calentamiento, radiaciones o por agentes químicos.
- Eliminación física: realizada mediante filtros absolutos o filtros fibrosos; los filtros absolutos están hechos de materiales cerámicos o de vidrio con poros tan pequeños por los cuales no penetran los microorganismos. Los filtros fibrosos pueden estar hechos de lana de vidrio o amianto, las fibras tienen un diámetro variable entre 0,5 y 15 micrones.

1.1.6 CLASIFICACIÓN

Existen varios criterios para la clasificación de los medios de cultivo, pero los más importantes son los que se presentan a continuación: [16]

1.1.6.1 Según su consistencia

Según la consistencia o estado físico se clasifican en:

- Medios líquidos: también llamados caldos. El medio líquido más utilizado es el caldo nutritivo, compuesto principalmente de extracto de carne, peptona y agua.

- Medios sólidos: se obtienen agregando un ingrediente gelificante a un medio de cultivo líquido. Los más utilizados son la gelatina y el agar.
- Medios semisólidos: al igual que los medios sólidos, se obtienen a partir de los medios líquidos pero agregándoles un agente solidificante en menor proporción.

1.1.6.2 Según su utilización

Según la utilización se clasifican en:

- Medios comunes: poseen los componentes mínimos para que se produzca el crecimiento de las bacterias que no tienen requerimientos especiales.
- Medios de enriquecimiento: incorporan una serie de factores indispensables, aparte de las sustancias nutritivas normales, para el crecimiento de microorganismos exigentes. El enriquecimiento se logra añadiendo sangre u otros productos biológicos.
- Medios selectivos: son utilizados para favorecer el crecimiento de un determinado microorganismo dentro de una población donde existe una variedad de microorganismos.
- Medios inhibidores: son aquellos en los que se colocan sustancias para inhibir por completo el crecimiento de los microorganismos que no son de interés en el análisis actual.
- Medios diferenciales: son los utilizados para mostrar características bioquímicas que ayudan a determinar géneros o especies.
- Medios de identificación: son los destinados a comprobar una cualidad específica que puede ser útil para reconocer la identidad de un microorganismo.
- Medios de multiplicación: son utilizados para obtener una mayor cantidad de células a partir de un microorganismo ya aislado. Generalmente son empleados en la obtención de vacunas.
- Medios de conservación: son utilizados para conservar una muestra cuando así se lo requiera.
- Medios de transporte: son utilizados para transportar una muestra que no puede ser sembrada inmediatamente.

1.1.6.3 Según su composición

Según su composición se clasifican en:

- **Medios complejos:** son los más utilizados, se preparan a partir de tejidos animales, no tienen una composición estrictamente definida, razón por la cual los resultados tienen un margen de variación.
- **Medios sintéticos:** en su composición existen solamente sustancias químicas conocidas disueltas en agua destilada en proporciones determinadas, dando como resultado un medio de composición perfectamente definido.
- **Medios semisintéticos:** son utilizados cuando se tiene microorganismos que no crecen en ningún medio sintético aun cuando esté muy enriquecido, esto se debe a la gran cantidad de factores de crecimiento requeridos por el microorganismo; para lograr su crecimiento se aportan estos factores de crecimiento bajo la forma de un extracto orgánico complejo.

1.2 ROBÓTICA

1.2.1 DEFINICIÓN

La robótica es una ciencia que estudia el diseño y construcción de robots capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano, un robot es una máquina automática programable capaz de realizar tareas repetitivas.

Actualmente no existe una definición aceptada a nivel global de robótica debido a que esta ciencia puede apuntar hacia distintos objetivos, y será a partir de ellos que se le dé una definición diferente. A pesar de esto, al pensar en un robot se presentan ideas de máquinas utilizadas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos y comportamientos de seres vivos.

1.2.2 ESQUEMA GENERAL DE UN ROBOT

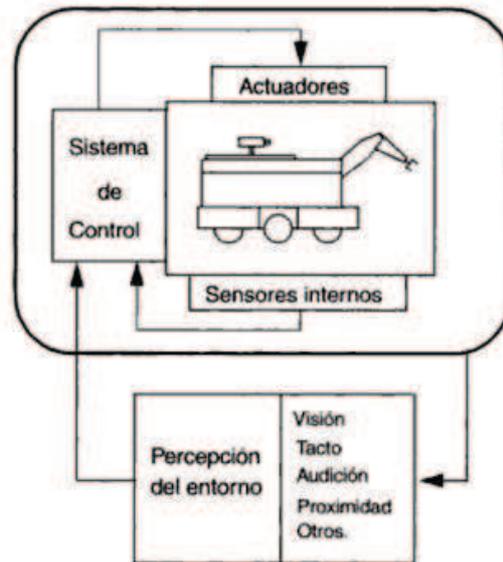


Figura 1.1 Esquema general de un robot [17]

En la Figura 1.1 se muestra la estructura general de un robot, donde se observan los bloques necesarios para lograr el control del robot.

Los sensores internos permiten conocer el estado de la estructura mecánica; brindan datos importantes como giro o desplazamiento relativo entre articulaciones, velocidad, fuerza o par.

Los sensores externos se encargan de percibir el entorno, mediante la percepción del mismo, y así ajustar el comportamiento del robot de acuerdo a las variaciones dadas en su entorno. Estos sensores han tenido un gran desarrollo tecnológico, por lo que en la actualidad permiten dotar de "sentidos" al robot, haciendo que la percepción del entorno sea más cercana a la realidad pero incrementando la complejidad de los datos obtenidos a través de estos sensores.

1.3 ROBOTS MANIPULADORES

En la actualidad, la mayoría de los robots industriales son manipuladores que han adoptado la forma de brazos articulados

1.3.1 DEFINICIÓN

Un robot industrial es un manipulador programable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variados, programados para la ejecución de distintas tareas.

Un manipulador industrial convencional es una cadena cinemática abierta (ver Figura 1.2) formada por un conjunto de eslabones o elementos interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos. [17]

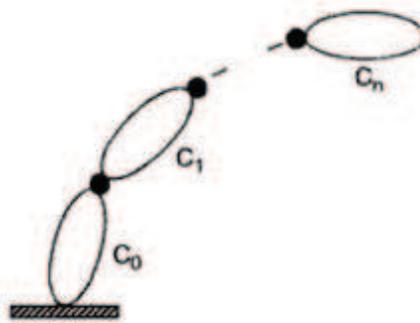


Figura 1.2 Cadena cinemática abierta

1.3.2 SISTEMA MECÁNICO

Está compuesto por diversas articulaciones que le dan la forma de brazo, el efector final puede variar dependiendo de la aplicación en la que se utilice el manipulador; como efector final se pueden encontrar pinzas, puntas de solda, taladros, lápices, entre otros.

Durante el diseño del sistema mecánico se debe considerar que si se incrementa el número de articulaciones, se obtiene una mayor maniobrabilidad pero aumenta la dificultad del sistema de control y la precisión se ve disminuida por la mayor cantidad de errores y su acumulación. A pesar de esto, existen robots de múltiples articulaciones pero con sistemas altamente redundantes que ayudan a disminuir el efecto producido por los errores.

1.3.3 ACTUADORES

Son los elementos encargados de generar la fuerza para darle movimiento a las piezas mecánicas del manipulador.

Pueden utilizarse actuadores de diferentes tecnologías, se encuentran actuadores hidráulicos o neumáticos cuando se requiere potencias importantes, o actuadores eléctricos.

En la actualidad, se investigan nuevos actuadores que permitan mejorar las características de robot, los aspectos que se busca mejorar son principalmente la disminución de la inercia, obtención de un elevado torque, mayor precisión, disminución del ruido magnético, bajo peso y consumo.

1.3.4 ESTRUCTURA

En la estructura de un robot manipulador se distingue el brazo, formado por eslabones con sus respectivas articulaciones, y el efector final.

1.3.4.1 Tipos de articulaciones

Una articulación puede generar movimientos de desplazamiento, rotación o una mezcla de ambos. El movimiento depende de la estructura de la articulación.

Algunos tipos de articulaciones son los que se indican en la Figura 1.3

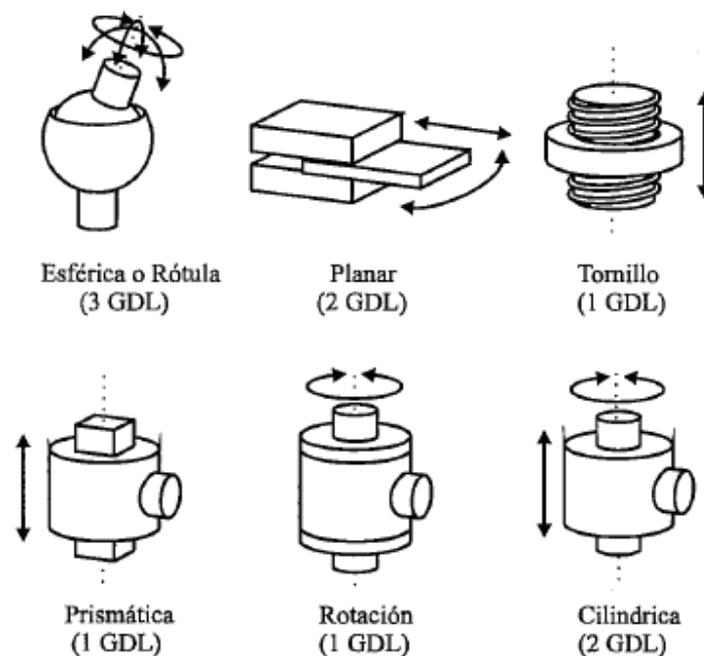


Figura 1.3 Tipos de articulaciones [10]

Las articulaciones más utilizadas en un robot manipulador son la prismática y la de rotación, con un grado de libertad cada una, como se indica en la Figura 1.3. El número de grados de libertad de un robot manipulador, generalmente coincide con el número de articulaciones que posee.

Un grado de libertad es cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. [10]

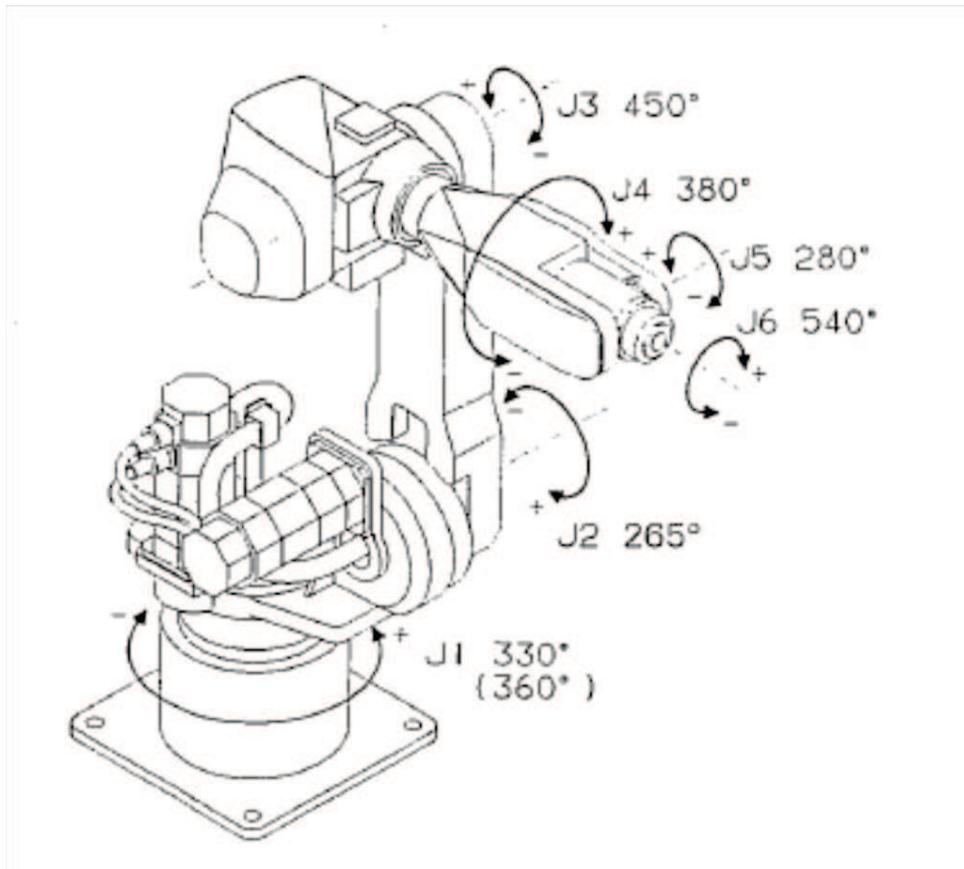


Figura 1.4 Grados de libertad del robot ARC Mate 120/S-12 [10]

Por otro lado, los parámetros de configuración de un robot describen la posición de un robot. El número de grados de libertad se refiere al número mínimo de números reales que se necesita especificar para determinar completamente la velocidad de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura.

La combinación de diferentes articulaciones hace posible el desarrollo de robots manipuladores de distintas formas de posicionamiento del efector final. Si se considera un robot con tres articulaciones se puede tener alguna de las configuraciones que se muestran en la Figura 1.5.

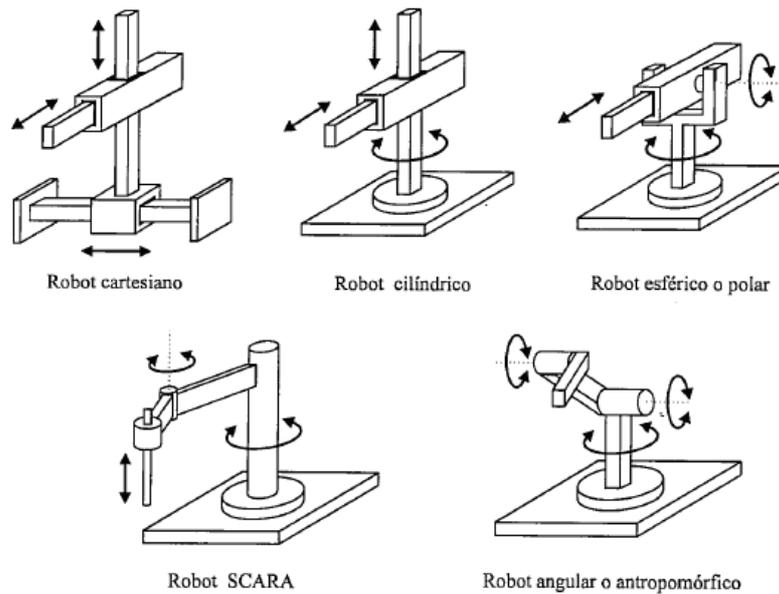


Figura 1.5 Configuraciones de un robot manipulador industrial [10]

1.3.4.1.1 Configuración cartesiana

Tiene tres articulaciones prismáticas, es de uso común en el transporte de cargas voluminosas. La ubicación de un punto se especifica mediante coordenadas cartesianas (x, y, z) , los valores de las articulaciones corresponden a las coordenadas que debe tomar el extremo del brazo. De esta manera se simplifica la forma en que el controlador debe ejecutar las órdenes de control sobre los actuadores de las articulaciones.

Este método no es útil cuando se necesita acceder a puntos en espacios relativamente cerrados, además su espacio de trabajo está limitado a la longitud de los eslabones.

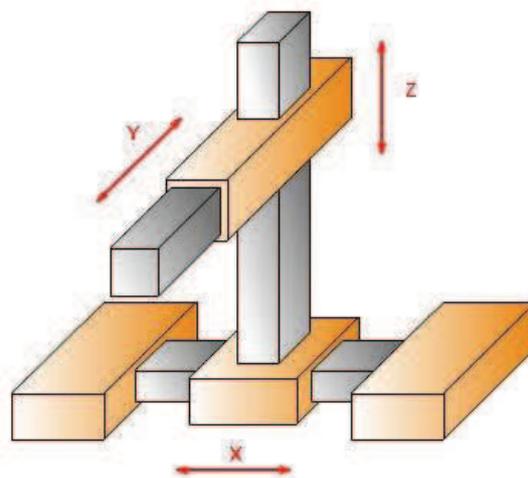


Figura 1.6 Robot manipulador con configuración cartesiana [25]

1.3.4.1.2 Configuración cilíndrica

Tiene dos articulaciones prismáticas y una de rotación, generalmente la primera articulación es la de rotación. La representación de un punto se da mediante un ángulo, una distancia y la altura (ρ , ϕ , z). Esta configuración es utilizada en una célula flexible donde el robot puede atender a varias máquinas colocadas a su alrededor radialmente.

Su volumen está determinado por el radio de giro y la longitud de sus articulaciones, alcanzando el volumen de un cilindro.

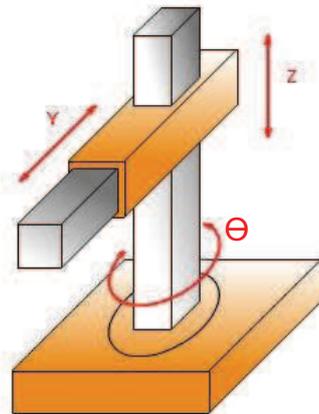


Figura 1.7 Robot manipulador con configuración cilíndrica [25]

1.3.4.1.3 Configuración esférica o polar

Tiene dos articulaciones de rotación y una prismática, la posición de un punto se expresa en coordenadas polares. El espacio de alcance está determinado por los dos ángulos de giro de las articulaciones y de la longitud del eslabón.

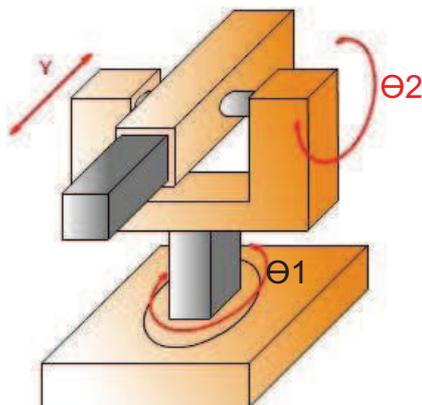


Figura 1.8 Robot manipulador con configuración polar [25]

1.3.4.1.4 Configuración SCARA

Es una configuración diseñada especialmente para realizar tareas sobre un plano, tiene dos articulaciones de rotación, con ejes paralelos, y una prismática perpendicular al plano.

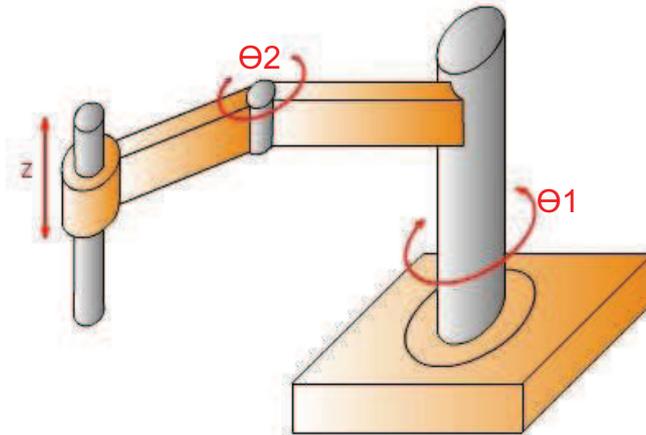


Figura 1.9 Robot manipulador con configuración SCARA [25]

1.3.4.1.5 Configuración angular

Tiene tres articulaciones de rotación, la posición de un punto se especifica en coordenadas angulares. Esta configuración es útil cuando se requiere tener acceso a espacios cerrados y para tareas de manipulación complejas. Por estas razones es la configuración más utilizada en la industria.

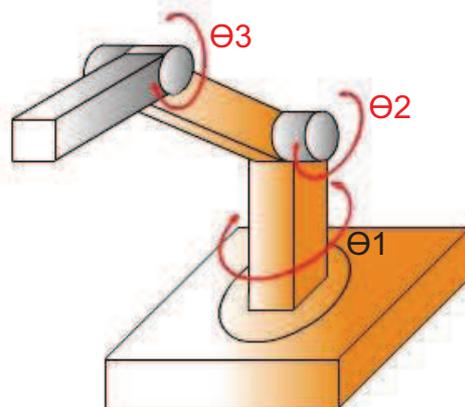


Figura 1.10 Robot manipulador con configuración angular [25]

1.3.4.2 Efecto final

Es el elemento que se coloca en el extremo del último eslabón y es el encargado de ejecutar la acción para la cual fue diseñado el manipulador, las

acciones más comunes son el transporte de objetos, la soldadura, pintura, corte, escritura, entre otras.

Cuando se diseña el efector final se debe tener en cuenta aspectos importantes como:

- Capacidad de carga
- Fuerza de agarre
- Geometría y dimensiones de los objetos a manipular
- Tipos de movimientos a realizar
- Tipo de alimentación del actuador
- Mecanismo de agarre
- Características de la superficie de contacto

Uno de los efectores finales más comunes son las pinzas, un manipulador dotado con una pinza es utilizado para levantar o trasladar objetos. Estos robots son utilizados cuando se necesita manipular objetos peligrosos, como es el caso de objetos explosivos, mientras que otros son utilizados para manipular un solo tipo de objetos, como es el caso de los manipuladores industriales para ordenar cajas o empaque de cierto producto.

Cuando se utiliza una pinza como efector final, uno de los principales problemas que aparecen es que no se tiene un control adecuado sobre la fuerza con la que se cierra la pinza, y es posible que no se logre sostener o se aplaste el objeto que se intentaba sujetar.

Se tienen varias formas de diseñar una pinza para cumplir con los requerimientos del diseño mencionados anteriormente. Las formas más básicas de una pinza tienen únicamente dos dedos y para lograr el movimiento de agarre se pueden utilizar distintos actuadores.

Se puede utilizar un motor acoplado a uno de los dedos para darle un movimiento angular y mediante engranes hacer que el segundo dedo se mueva con el movimiento del primero; para esto, se puede colocar perpendicularmente el motor sobre uno de los dedos como se muestra en la Figura 1.11 o colocarlo

paralelo al eje en que se encuentra el dedo mediante una caja de engranes que permitan transmitir el movimiento como se muestra en la Figura 1.12

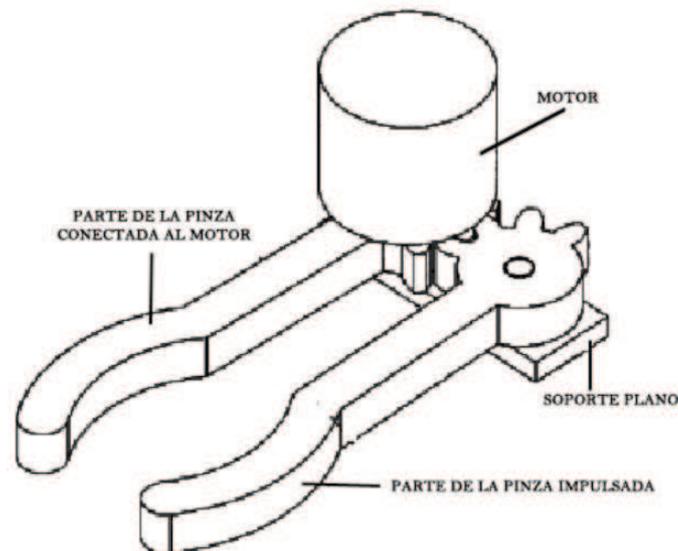


Figura 1.11 Pinza con motor perpendicular [18]

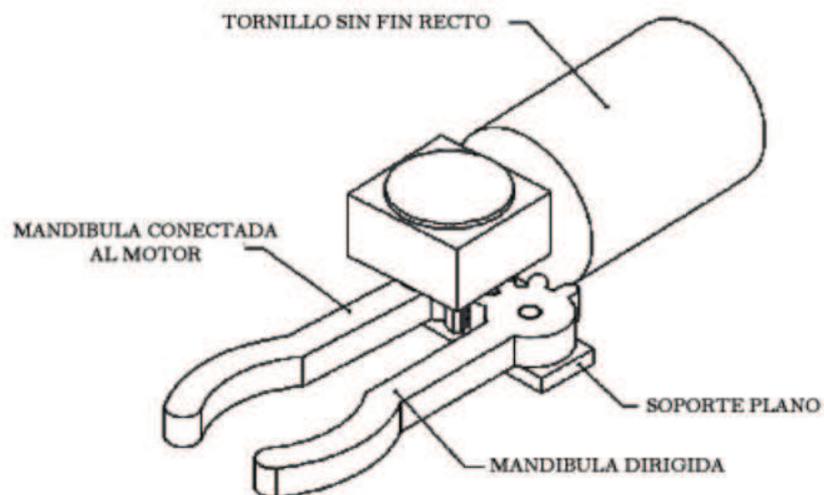


Figura 1.12 Pinza con motor paralelo al eje del dedo [18]

Se puede utilizar un actuador lineal, que podría ser neumático, para controlar el movimiento de la pinza; en este caso, la forma en que se transmite el movimiento puede darse acoplando el actuador con los dedos mediante engranes como se muestra en la Figura 1.13, mediante barras como se muestra en la Figura 1.14 o cambiando la posición del actuador como se muestra en la Figura 1.15.

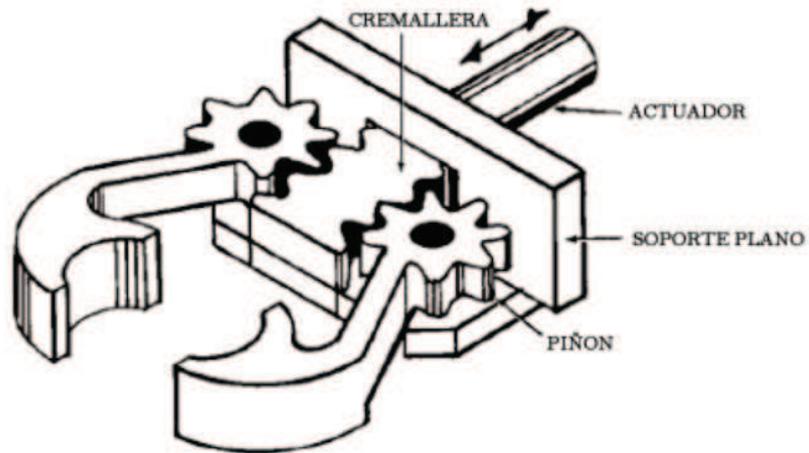


Figura 1.13 Pinza con actuador lineal acoplado con engranes. [18]

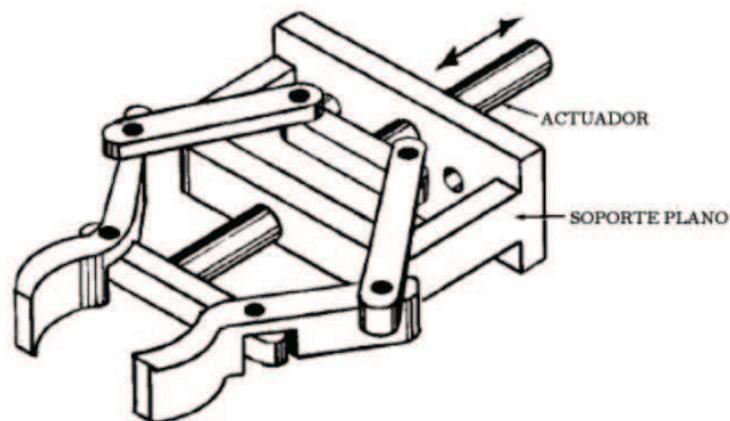


Figura 1.14 Pinza con actuador lineal acoplado con barras [18]

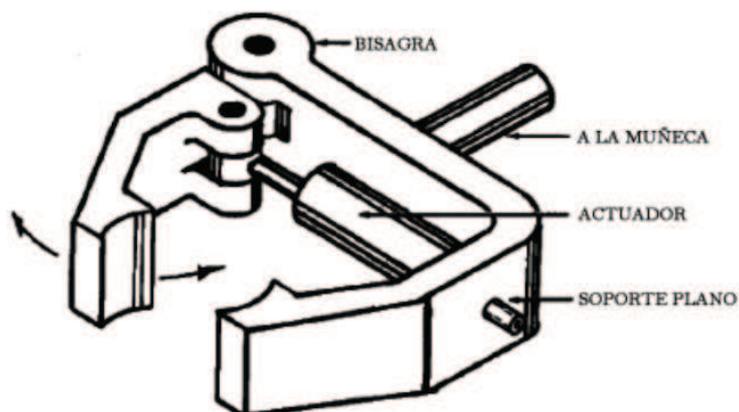


Figura 1.15 Pinza con actuador en otra posición [18]

Además, es posible utilizar un arreglo de cuatro barras para transmitir el movimiento del actuador a los de dos, en este caso, dos barras reciben el movimiento del actuador mientras que las otras dos se mueven debido al

movimiento de las dos primeras, la forma de montaje se muestra en la Figura 1.16 y en la Figura 1.17.

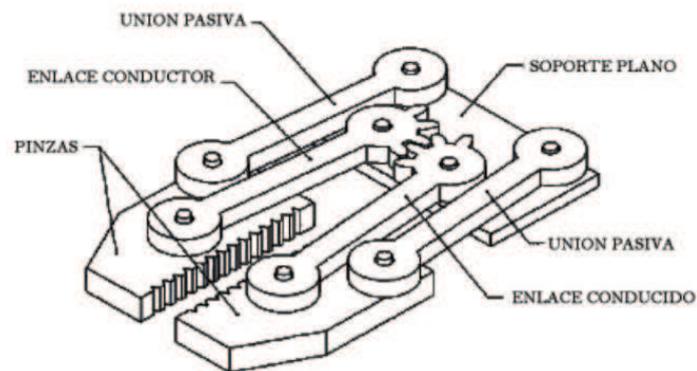


Figura 1.16 Pinza con cuatro barras [18]

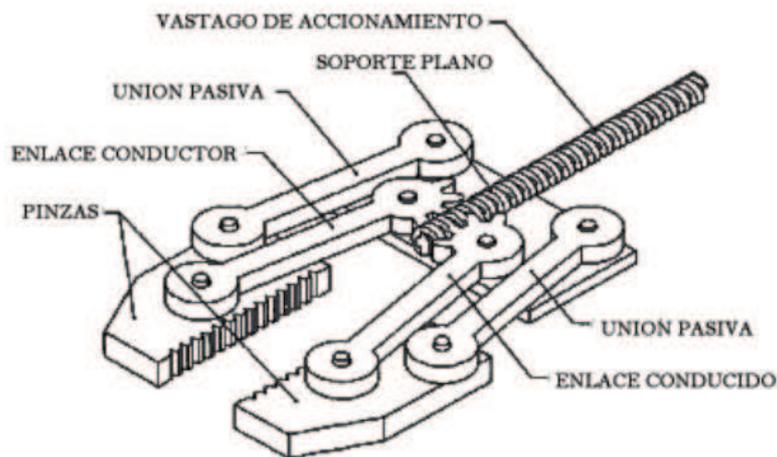


Figura 1.17 Pinza con cuatro barras y actuador lineal. [18]

1.3.5 NUEVAS ESTRUCTURAS DE ROBOTS MANIPULADORES

En los últimos años se han desarrollado otras configuraciones de robots manipuladores para la ejecución de tareas no convencionales específicas. Estos robots generalmente presentan más de seis grados de libertad.

1.3.5.1 Robots redundantes

Son aquellos que poseen más grados de libertad que los estrictamente necesarios para realizar una tarea. Un ejemplo de robot redundante es el robot manipulador tipo serpiente, al tener una gran cantidad de articulaciones se introduce más errores, y esto se soluciona con un sistema redundante mediante sistemas de control más complejos.

Otra opción es crear un grupo de robots manipuladores dependientes, el uno del otro, para realizar una sola tarea, en este caso las principales dificultades son la coordinación, evitar colisiones entre los integrantes del grupo y el control dinámico coordinado de múltiples manipuladores actuando sobre un objeto.



Figura 1.18 Robot manipulador tipo serpiente. [24]

1.3.5.2 Manos

En este tipo de robots se utiliza un efector terminal en forma de mano, con los dedos y articulaciones, muy similares a los de una mano humana.



Figura 1.19 Robot manipulador tipo mano. [24]

2 CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

2.1 HARDWARE PARA EL CONTROL SISTEMA ROBÓTICO

2.1.1 ARDUINO DUEMILANOVE

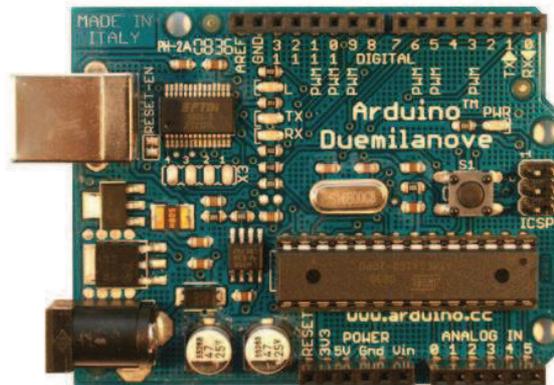


Figura 2.1 Arduino Duemilanove [19]

Es un módulo de ARDUINO basado en un microcontrolador ATmega328. Posee 14 entradas/salidas digitales de las cuales 6 pueden ser utilizadas como salidas PWM, 6 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, conexión USB, un conector para alimentación externa, un conector ICSP y un botón de reset.

2.1.1.1 Alimentación

El módulo Arduino Duemilanove puede ser alimentado mediante el conector USB o mediante el conector de alimentación de fuente externa, la selección de la fuente de energía es automática, no requiere ningún cambio en el hardware del módulo.

La alimentación externa puede obtenerse de un convertor AC-DC, que debe ser conectado mediante un conector de 2.1mm con centro positivo, o desde una batería, conectando los bornes a los pines Gnd y Vin en los conectores de alimentación.

El módulo puede trabajar con una alimentación externa desde 6V hasta 20V, pero el rango de voltaje de alimentación recomendado es desde 7V hasta 12V. Si se alimenta el módulo con voltajes inferiores a 7V el pin que proporciona la

alimentación a todos los elementos de la placa puede entregar un voltaje inferior a 5V, por lo que, el módulo se puede volver inestable; si se utilizan más de 12V los reguladores de voltaje se pueden sobrecalentar ocasionando daños en la placa.

2.1.1.1.1 Pines de alimentación

- Vin: es el pin que proporciona la alimentación de 5V a todos los elementos de la placa.
- 5V: es el pin que proporciona la alimentación de 5V cuando el módulo está alimentado a través del conector USB.
- 3V3: es el pin que entrega 3.3V generados en el chip FTDI, la corriente soportada por este pin es de 50mA.
- GND: pin de toma de tierra.

2.1.1.2 Memoria

Dado que el Arduino Duemilanove está basado en un microcontrolador ATmega328, se dispone de 32kB de memoria flash para almacenar el código, se debe tener en cuenta que 2kB son utilizados para el arranque del sistema.

Se dispone de 2kB de SRAM, 1kB de EEPROM a la que se puede acceder mediante la librería de EEPROM existente en el software ARDUINO 1.0

2.1.1.3 Entradas y salidas

Los 14 pines del Arduino Duemilanove pueden ser configurados como entradas o como salidas. Estos pines operan a 5V y pueden manejar una corriente máxima de 40mA, además tienen una resistencia interna, entre 20k Ω y 50k Ω , que está desconectada por defecto.

De estos 14 pines, algunos tienen funciones especializadas, por ejemplo:

- Comunicación serial: se utiliza para recibir y transmitir datos en forma serial, se utiliza el pin 0 para recibir y el pin 1 para transmitir.
- Interrupciones externas: son pines en los que se conecta una señal que será la encargada de indicar que se ha producido una interrupción externa, los pines disponibles para las interrupciones externas son el pin 2 y el pin 3.

- PWM: son pines que proporcionan salidas PWM de 8 bits de resolución; los pines que tienen esta función especial son los pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11.
- SPI: son los pines que permiten comunicar el módulo mediante protocolo SPI, a pesar de que el hardware incluye los pines necesarios para este tipo de comunicación, el software aún no dispone de una librería para este propósito. Los pines para la comunicación SPI son: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) y 13 (SCK)
- LED: el pin 13 del módulo Arduino Duemilanove tiene conectado un led en paralelo, razón por la cual, si el pin 13 está configurado como salida, el led toma el mismo valor lógico que se le entregue a este pin.

El Arduino Duemilanove posee 6 entradas analógicas con resolución de 10 bits, por defecto, y se puede tener valores desde 0 hasta 5V, pero se puede cambiar el límite superior mediante software.

2.1.1.4 Programación

El módulo Arduino Duemilanove se programa mediante el software ARDUINO 1.0 que se puede descargar de la página oficial www.arduino.cc

Es importante que en la interfaz de programación de ARDUINO 1.0, se seleccione correctamente que microcontrolador es el que está conectado en el módulo porque en el mercado existen módulos Arduino Duemilanove con ATmega328 y otros Arduino Duemilanove con ATmega128.

2.1.1.5 Protección del puerto USB

El Arduino Duemilanove posee un multifusible reinicializable que protege el puerto USB del computador; si se detectan más de 500mA en el puerto USB, el fusible corta la conexión hasta que el cortocircuito desaparece.

2.1.2 SERVOMOTORES

Los servomotores son motores capaces de ubicarse y mantenerse en una determinada posición dentro de un rango establecido, generalmente el rango de trabajo de un servomotor es de 180° pero algunos fabricantes presentan motores con un rango de trabajo de 210°.

Un servo presenta una fuerza alta y una baja inercia, características que lo hacen muy útil en aplicaciones de robótica móvil y teleoperada.

2.1.2.1 Construcción



Figura 2.2 Partes que conforman al servomotor [26]

2.1.2.1.1 Motor de DC

Es el que genera el movimiento del eje del servomotor, el movimiento se transmite del eje del motor DC al eje del servomotor mediante un juego de engranes. El sentido de giro depende de la polaridad del voltaje que reciba del circuito de control.

2.1.2.1.2 Juego de engranes

Son elementos mecánicos de diferentes diámetros que permiten transmitir el movimiento generado en el eje del motor DC al eje del servomotor. Este juego de engranes es el encargado de reducir la velocidad que obtiene del motor DC para entregarla al eje del servomotor pero con un torque mucho mayor, características que definen al servomotor.

2.1.2.1.3 Cables de conexión

Un servomotor posee tres terminales de conexión:

- +Vcc: se conecta el terminal positivo de la fuente de alimentación.
- Gnd: se conecta el terminal de referencia de la fuente de alimentación.

- Signal: se conecta el elemento que genera la señal PWM para controlar el ángulo de giro.

2.1.2.1.4 Señal de control

La señal de control en un PWM en el que el tiempo que permanece en alto. Controla el ángulo de giro del motor, mientras que el periodo se mantiene constante. Los valores de tiempo en alto y periodo requeridos para el control de un servomotor dependen del fabricante.

Generalmente la señal de control es la que se presenta en la parte superior de la Figura 2.3

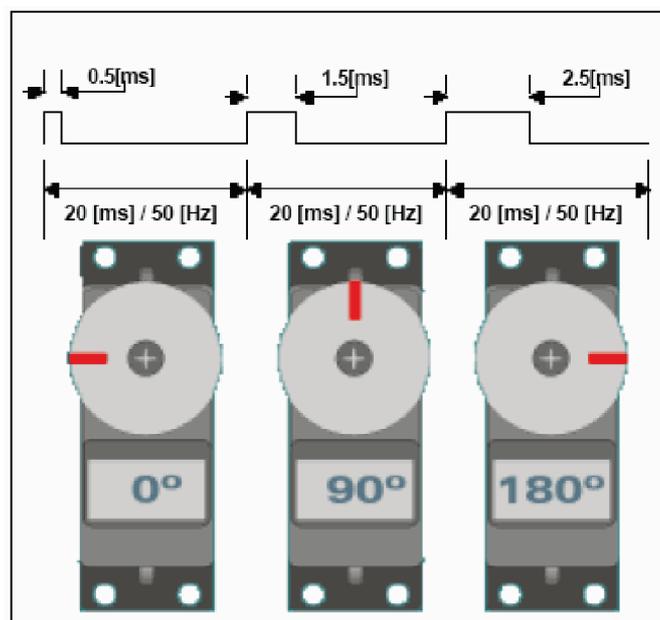


Figura 2.3 Señales de control para varios ángulos de giro. [20]

2.1.2.1.5 Circuito de control

Básicamente es un circuito de comparación. Se envía al servomotor una señal PWM, que se convierte en el primer parámetro de comparación, que corresponde a la posición deseada del eje del servomotor; un potenciómetro acoplado al eje del servomotor entrega un valor de voltaje variable y dependiente de la posición del eje, éste se convierte en el segundo parámetro de comparación, e indica la posición actual del eje del servomotor.

Una vez obtenidos los dos parámetros, son comparados, y dependiendo de la diferencia entre ellos se controla el movimiento del motor DC. Esto significa que si la diferencia entre los dos parámetros es cero, se detiene el motor DC;

mientras que, si existe diferencia, se entrega voltaje al motor con la polaridad necesaria para que el motor DC gire en uno u otro sentido dependiendo del ángulo que se desea alcanzar.

2.1.3 BOMBA PERISTÁLTICA

Una bomba peristáltica imita el comportamiento del sistema digestivo de un humano ejecutando un movimiento peristáltico que consiste en contraer y a continuación relajar un músculo alrededor de un tubo para mover su contenido.

En una bomba peristáltica se aplasta un tubo flexible mediante rodillos colocados en forma concéntrica; el tubo mantiene su diámetro original en los espacios que quedan entre los rodillos y mediante la rotación de los rodillos es posible el desplazamiento del fluido.

En la Figura 2.4 se muestran las etapas obtenidas de la rotación de una bomba peristáltica de tres rodillos.

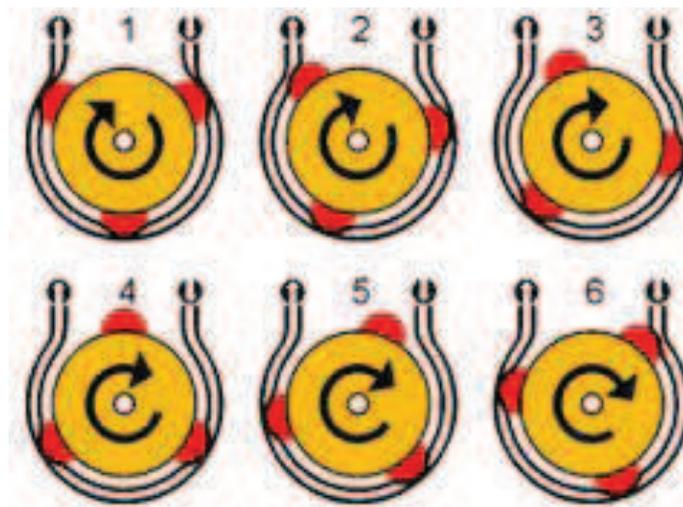


Figura 2.4 Etapas de la rotación en una bomba peristáltica. [21]

Es importante que en todo momento, al menos uno de los rodillos presione el tubo de la bomba, de lo contrario, el líquido podría fluir en sentido contrario. El sentido de giro del motor determina el sentido de movimiento del fluido y la velocidad con la que gira el motor controla la velocidad con la que se bombea el fluido.

Otra característica importante de las bombas peristálticas es que el contenido que se bombea nunca está en contacto con el mecanismo de rotación y únicamente tiene contacto con el tubo flexible.

El volumen de fluido desplazado por la bomba peristáltica depende del diámetro del tubo flexible y de la compresión que ejerzan los rodillos sobre el mismo. Debido al desgaste y pérdida de flexibilidad de la manguera, cada cierto tiempo, se debe recalcular el volumen que puede desplazar la bomba, este tiempo dependerá del material con el que está hecho el tubo flexible, el espesor de las paredes del mismo y de la continuidad de trabajo que se le da a la bomba.

2.1.4 MICROCONTROLADOR ARTMEGA16

El microcontrolador ATmega16 de la casa ATMEL es del tipo CMOS de 8bits. Este microcontrolador presenta arquitectura tipo RISC avanzada que quiere decir que maneja un número reducido de instrucciones. Además presenta arquitectura HARVARD que significa que la memoria de datos y la de programa están separadas. [23]

Entre otras características importantes que posee este microcontrolador tenemos:

- 2 Timers de 8 bits
- 1 Timer de 16 bits
- 4 salidas PWM
- 8 canales analógico digital de 10 bits
- Comunicación serial
- 3 interrupciones externas
- 32 líneas programables de doble función ya sea como entrada o como salida
- Cada pin del puerto tienen resistencias de pull-up individuales.
- Contador en tiempo real con oscilador independiente

2.1.4.1 Alimentación

El ATmega16 tiene un rango de voltajes de alimentación entre 4.5V y 5.5V, y se debe alimentar mediante una fuente externa.

- Vcc: corresponde al pin 10 del circuito integrado y es donde se coloca la fuente de alimentación.
- Gnd: son los pines 11 y 31 corresponden a la toma tierra del circuito.

2.1.4.2 Entradas y Salidas

Este microcontrolador dispone de 4 puertos de 8 pines cada uno para ser destinados a pines digitales de entradas o salidas, es decir, en total dispone de 32 pines que pueden ser utilizados como entradas y salidas. Además de dichos pines, 8 pueden ser usados como entradas analógicas.

Adicionalmente, posee pines de entrada para otras funciones que realiza el microcontrolador como por ejemplo:

- XTAL1, XTAL2: son la entrada y salida, respectivamente, del oscilador externo.
- RESET: Para que el microcontrolador ejecute las instrucciones este pin debe encontrarse en un nivel de voltaje alto. Al recibir un nivel bajo de voltaje el microcontrolador reinicia su sistema y empieza la ejecución desde cero.
- AVCC: este pin es la fuente de voltaje para el puerto correspondiente al conversor análogo digital, este debe estar conectado externamente a VCC a pesar de que el conversor no esté usándose.
- AREF: Este pin es la referencia analógica para el puerto análogo digital.

2.2 PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO DUEMILANOVE

2.2.1 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO 1.0

El software de programación ARDUINO 1.0 actualmente es gratuito (en sus orígenes no lo era) y se lo puede descargar de la página oficial www.arduino.cc

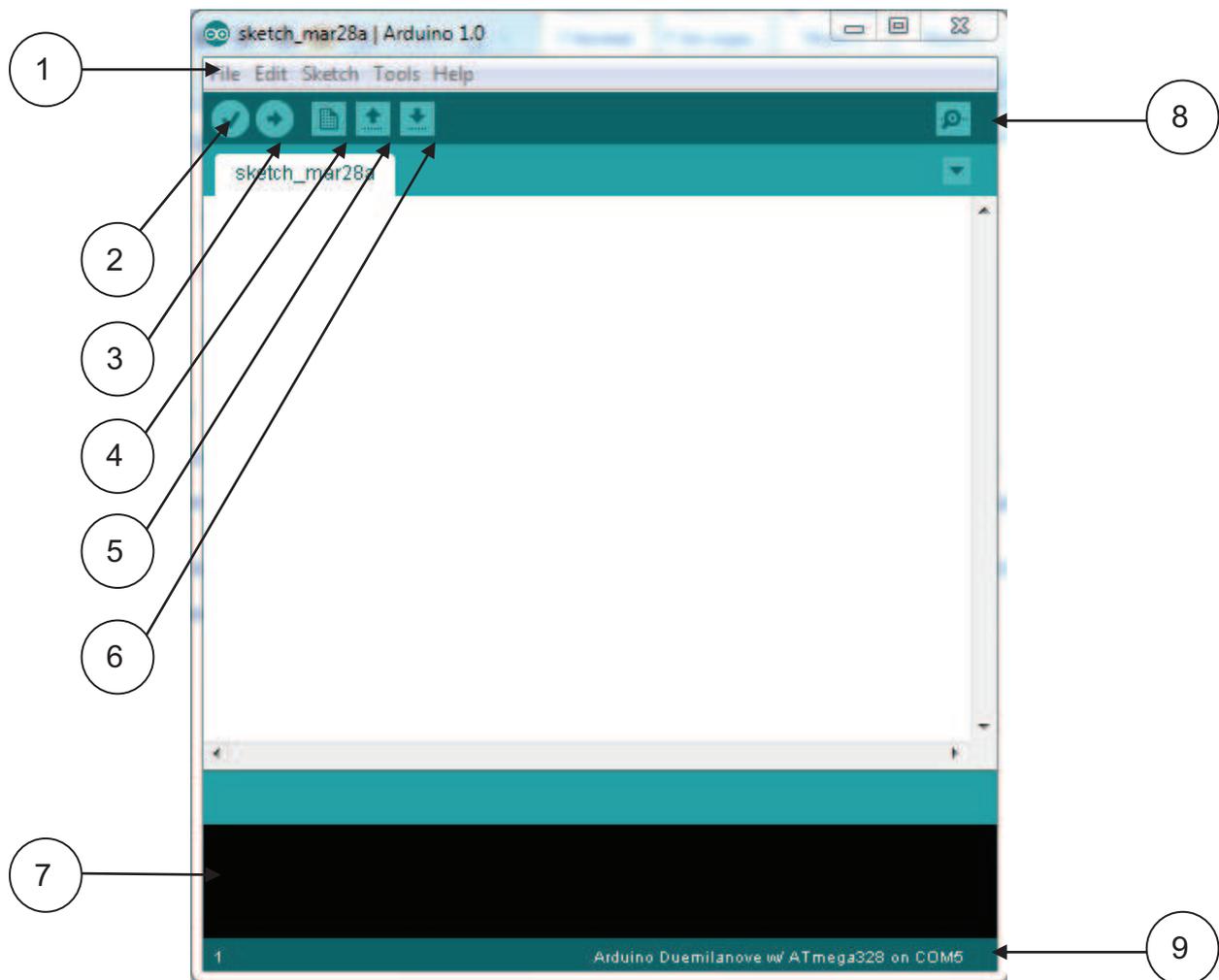


Figura 2.5 Pantalla principal de ARDUINO 1.0

En la Figura 2.5 se presenta la pantalla principal del software ARDUINO 1.0 en la que se encuentra:

- **1:** Barra de menú: aquí se encuentran los botones que despliegan las opciones para editar el archivo en el que se está trabajando. Se encuentran opciones de edición, opciones para abrir programas de ejemplo, opciones para incluir librerías necesarias para el desarrollo de determinada aplicación, opciones para la selección del modelo de Arduino a programar y el puerto de comunicaciones, entre otras.
- **2:** Botón *Verify*: permite comprobar que la estructura de todas las funciones incluidas en el proyecto actual tengan correcta sintaxis además que las variables utilizadas en dichas funciones son del tipo requerido y que todas las variables utilizadas han sido previamente

definidas. Compila el programa cuando no han existido errores en la escritura.

- **3:** Botón *Upload*: permite descargar el programa al Arduino mediante el puerto USB del computador.
- **4:** Botón *New*: permite crear un nuevo proyecto abriendo otra ventana en blanco.
- **5:** Botón *Open*: permite abrir un proyecto que ha sido guardado anteriormente.
- **6:** Botón *Save*: permite guardar el proyecto actual en un espacio de memoria del computador.
- **7:** Espacio de mensajes: aquí se muestran los mensajes cuando se ha pulsado el botón verify o el botón upload. Se muestran mensajes con letras blancas cuando la acción seleccionada se ha completado correctamente, mientras que si el mensaje está en letras rojas significa que se ha producido un error y no se logró completar de forma correcta la acción seleccionada.
- **8:** Serial monitor: permite simular un monitor para desplegar los datos recibidos por el computador provenientes del Arduino y que han sido enviados a través de comunicación serial.
- **9:** indica el modelo de Arduino con el que se está trabajando y el puerto en el que se encuentra conectado.

2.2.2 TIPOS DE DATOS

Los tipos de datos que se pueden utilizar en el software de programación ARDUINO 1.0 son los que se muestran en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Tipos de datos admitidos en ARDUINO 1.0

TIPO DE DATO	DESCRIPCIÓN
Boolean	Es un bit, solo puede tener dos valores 0 o 1
Char	Es un byte que almacena una letra en forma de código ASCII
Byte	Es un byte, almacena valores desde 0 a 255
Int	Son dos bytes, almacenan valores desde -32768 hasta 32768
Unsigned int	Son dos bytes, almacenan valores desde 0 a 65535
Word	Son 16 bits, almacenan valores desde 0 a 65535
Long	Son 32 bit, almacenan valores desde -2147483648 hasta 2147483648
Unsigned long	Son 32 bits, almacenan valores desde 0 hasta 4294967295

Float	Son 32 bits, almacenan valores desde -3.4028235E+38 hasta 3.4028235E+38
Double	Son 32 bits, en Arduino es exactamente igual a float
String	Almacenan cadenas de caracteres
Array	Almacenan variables en forma de arreglos

Es posible realizar conversiones entre tipos de variables mediante funciones de conversión como `byte()`, `int()`, `word()`, `long()`, entre otras.

2.2.3 OPERADORES ARITMÉTICOS

Los operadores aritméticos existentes en ARDUINO 1.0 son los presentados en la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Tabla de operadores aritméticos de ARDUINO 1.0

OPERADOR	DESCRIPCIÓN
=	Permite asignar un valor a una variable
+	Permite sumar variables o constantes
-	Permite restar variables o constantes
*	Permite multiplicar variables o constantes
/	Permite dividir variables o constantes
%	Permite obtener el residuo de la división de dos números enteros

2.2.4 OPERADORES DE COMPARACIÓN

Los operadores de comparación existentes en ARDUINO 1.0 son los presentados en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Tabla de operadores de comparación de ARDUINO 1.0

OPERADOR	DESCRIPCIÓN
==	Igual que
!=	Diferente de
<	Menor que
>	Mayor que
<=	Menor o igual que
>=	Mayor o igual que

2.2.5 OPERADORES LÓGICOS

Los operadores lógicos existentes en ARDUINO 1.0 son los presentados en la Tabla 2.4

Tabla 2.4 Tabla de operadores lógicos de ARDUINO 1.0

OPERADOR	DESCRIPCIÓN
&&	Permite realizar una función AND
	Permite realizar una función OR
!	Permite realizar una función NOT

2.2.6 ESTRUCTURAS

2.2.6.1 Estructuras principales

Son dos estructuras que obligatoriamente deben estar dentro de cada proyecto. Estas estructuras son:

2.2.6.1.1 *Setup()*

Esta función debe estar a continuación de la definición de variables, se utiliza para configurar el comportamiento de los pines digitales, para elegir los pines donde se conectará las señales utilizadas para generar interrupciones y para incluir acciones adicionales como comunicaciones y temporizadores. Además es posible definir los pines donde estarán conectados elementos como servomotores, motores a pasos, LCD, entre otros.

Esta función se ejecutará una sola vez en el programa, se ejecutará cada vez que se conecte la alimentación de la placa del Arduino o cuando se presione el botón de reset de dicha placa.

Por ejemplo, se puede configurar la función `setup()` de la siguiente manera:

```
void setup()
{
  attachInterrupt(2, tiempo, FALLING);
  pinMode(8, INPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  //instrucciones a ejecutarse
}
```

2.2.6.1.2 *Loop()*

Esta función debe estar a continuación de la función `setup()`, es la función que se ejecutará de forma infinita permitiendo revisar los valores de las entradas, cambiar los valores de las variables y actualizar los valores de las salidas. La única forma de salir de esta estructura es quitando la alimentación del arduino o presionando el botón de reset de la placa.

Por ejemplo, se puede configurar la función `loop()` de la siguiente manera:

```
int contador=0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Serial.println(contador);
  contador=contador+1;
  delay(1000);
}
```

2.2.6.2 Estructuras de control

A continuación se presentan las estructuras de control existentes en el software ARDUINO 1.0

- If
- If...else
- For
- Switch case
- While
- Do...while
- Break
- Continue
- Return
- Goto

En esta sección se detallarán únicamente las estructuras utilizadas en la realización del presente proyecto de titulación.

2.2.6.2.1 Estructura IF

Esta función se utiliza junto con alguno de los operadores de comparación para comparar el valor de una variable con algún valor preestablecido; si la comparación es verdadera, se ejecutan las instrucciones que están dentro de las llaves {}, por el contrario, si la comparación es falsa, dichas instrucciones no serán ejecutadas.

Por ejemplo, esta estructura podría estar escrita de la siguiente manera:

```
if (contador>100)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    digitalWrite(9,LOW);
}
```

2.2.6.2.2 Estructura if...else

Permite realizar una comparación, si la comparación es verdadera se ejecuta un grupo de instrucciones y si la comparación es falsa se ejecuta un grupo de instrucciones diferente.

Por ejemplo, esta estructura podría estar escrita de la siguiente manera:

```
if (contador<50)
{
    digitalWrite(8,LOW);
}
else
{
    digitalWrite(8,HIGH);
}
```

2.2.7 FUNCIONES

2.2.7.1 Funciones de E/S digitales

2.2.7.1.1 Función pinMode()

Permite configurar cada uno de los pines como entradas o como salidas digitales, la sintaxis de la función es la siguiente: pinMode(pin,modo).

pin: número del pin que se desea configurar

modo: se elige entre entrada (INPUT) y salida (OUTPUT)

Por ejemplo, esta función podría estar escrita de la siguiente manera:

```

void setup()
{
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
}

```

2.2.7.1.2 Función *digitalWrite()*

Permite escribir un cero lógico (LOW) o un uno lógico (HIGH) a uno de los pines previamente configurado como salida, la sintaxis de la función es la siguiente: `digitalWrite(pin,valor)`.

pin: número de la salida seleccionada

valor: se elige entre LOW y HIGH

Por ejemplo, esta función podría estar escrita de la siguiente manera:

```

void setup()
{
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(8,HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(8,LOW);
  delay(500);
}

```

2.2.7.1.3 Función *digitalRead()*

Permite leer el estado de uno de los pines previamente configurado como entrada, la sintaxis de la función es la siguiente: `variable=digitalRead(pin)`

pin: número del pin que se desea leer

Por ejemplo, esta función podría estar escrita de la siguiente manera:

```
byte entrada=0;
void setup()
{
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(8,OUTPUT);
}

void loop()
{
  entrada=digitalRead(2);
  digitalWrite(8,entrada);
  delay(1000);
}
```

2.2.7.2 Funciones de E/S análogas

El Arduino Duemilanove cuenta con un conversor analógico digital de 10 bits, por lo que, los valores analógicos se representan con números comprendidos entre 0 y 1023.

Al igual que para los pines digitales, existen instrucciones que permiten configurar los pines y el funcionamiento de los mismos en modo analógico. Estas funciones se presentan a continuación:

- `analogReference()`: permite seleccionar la referencia para los canales análogos.
- `analogRead()`: permite leer el valor de voltaje, entre 0V y 5V, que está presente en el pin seleccionado.
- `analogWrite()`: permite generar una señal PWM que entrega un valor medio correspondiente al valor de la variable análoga definida.

2.2.7.3 Funciones de tiempo

2.2.7.3.1 Función `millis()`

Esta función permite conocer la cantidad de milisegundos transcurridos desde que el módulo arduino inició la ejecución del programa, la variable que contiene este valor se desbordará regresando a cero en aproximadamente 50 días.

2.2.7.3.2 Función `micros()`

Esta función permite conocer la cantidad de microsegundos transcurridos desde que el módulo Arduino inició la ejecución del programa, la variable que contiene este valor se desbordará regresando a cero en aproximadamente 70 minutos.

2.2.7.3.3 *Función delay()*

Esta función permite generar una pausa en la ejecución del programa; en los paréntesis de la función se debe colocar la cantidad de milisegundos para lograr la pausa requerida. Por ejemplo, si se requiere una pausa de un segundo se debe escribir la función de la siguiente manera: `delay(1000)`

2.2.7.3.4 *Función delayMicroseconds()*

Esta función es similar a la función `delay()`, pero con la diferencia que el valor ingresado indica la cantidad de microsegundos que durará la pausa del programa.

2.2.7.4 **Funciones de interrupciones externas**

2.2.7.4.1 *Función attachInterrupt()*

Permite especificar la función a la que debe desviar el programa cuando ocurre un evento de interrupción externa. Esta configuración permite seleccionar el pin donde se desea detectar la interrupción y el comportamiento requerido para ejecutar la función ligada a la interrupción. La sintaxis de la función es la siguiente: `attachInterrupt (interrupción, función, modo)`.

Interrupción: permite seleccionar el pin donde se desea detectar la interrupción. El Arduino Duemilanove posee las interrupciones 0 y 1.

Función: indica la etiqueta a la que debe saltar el flujo del programa cuando se detecta un evento de interrupción externa.

Modo: permite seleccionar el comportamiento requerido de la señal conectada al pin configurado para saltar a la etiqueta previamente definida. Son cuatro los modos que se pueden configurar.

- **LOW:** salta a la interrupción siempre que el pin detecte un 0L.
- **CHANGE:** salta a la interrupción cada vez que se detecte un cambio de estado en el pin.
- **RISING:** salta a la interrupción cuando el estado del pin pasa de 0L a 1L.
- **FALLING:** salta a la interrupción cuando el estado del pin pasa de 1L a 0L.

2.2.7.4.2 *Función detachInterrupt()*

Permite inhabilitar una interrupción previamente configurada. La sintaxis es la siguiente: detachInterrupt(interrupción).

Interrupción: permite seleccionar la interrupción que se desea deshabilitar.

2.2.7.5 **Funciones de comunicación serial**

Son distintas funciones que permiten comunicar a través de un puerto serial el módulo Arduino y un computador u otros dispositivos capaces de comunicarse de forma serial. Las funciones existentes en ARDUINO 1.0 para comunicación serial son las mencionadas a continuación:

- begin()
- end()
- available()
- read()
- peek()
- flush()
- print()
- println()
- write()

2.3 DIAGRAMAS DE FLUJO

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ARDUINO



Figura 2.6 a Diagrama de flujo del programa en Arduino

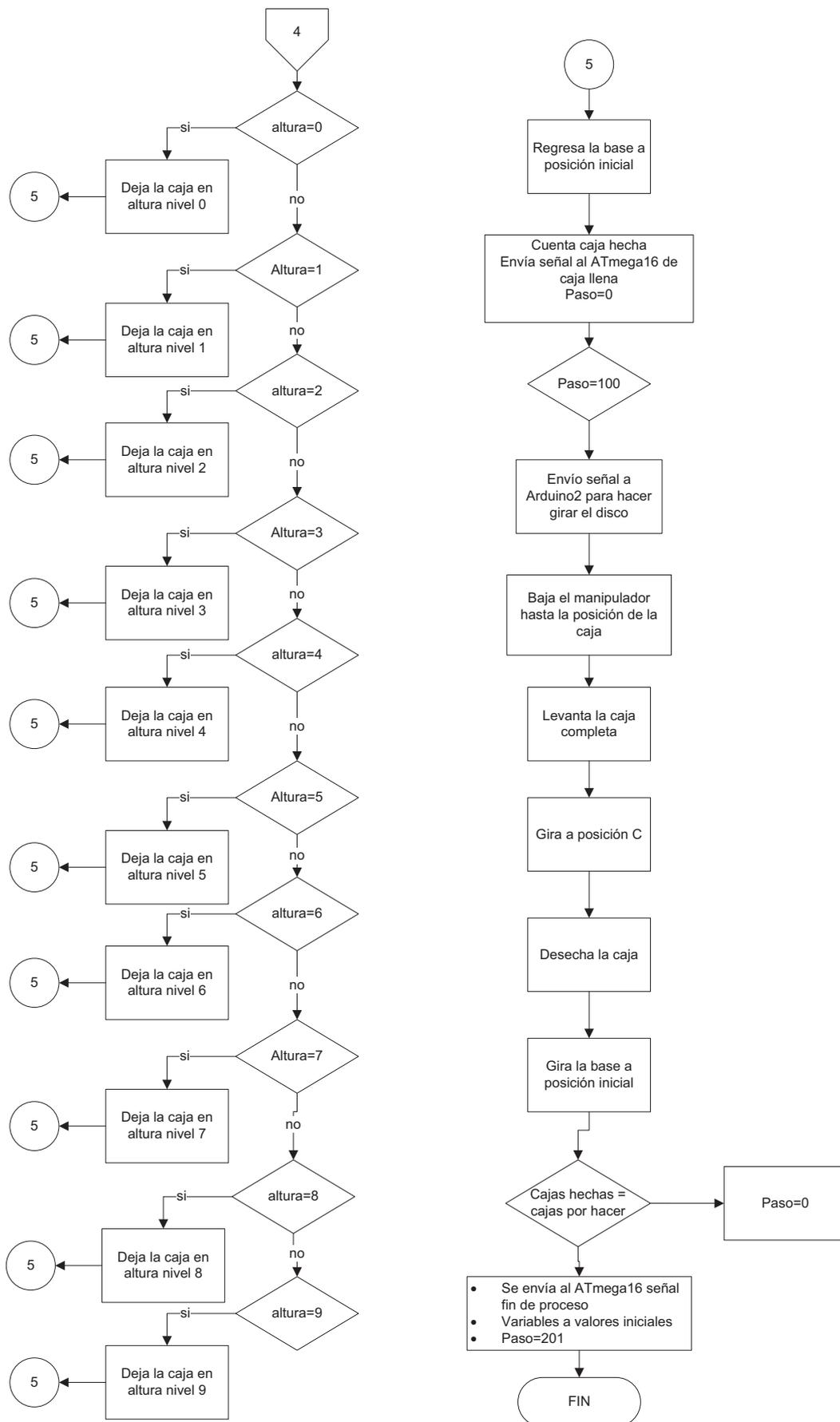


Figura 2.6 b Continuación del diagrama de flujo del programa en Arduino

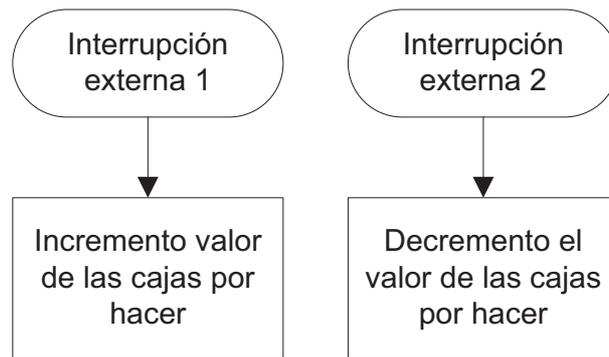
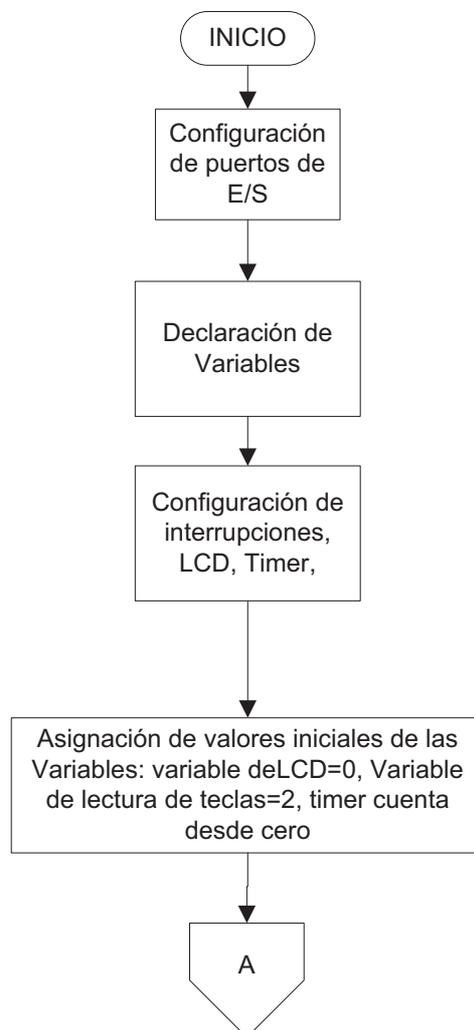


Figura 2.6 Diagramas de flujo de las interrupciones externas del Arduino

2.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO ATMEGA16



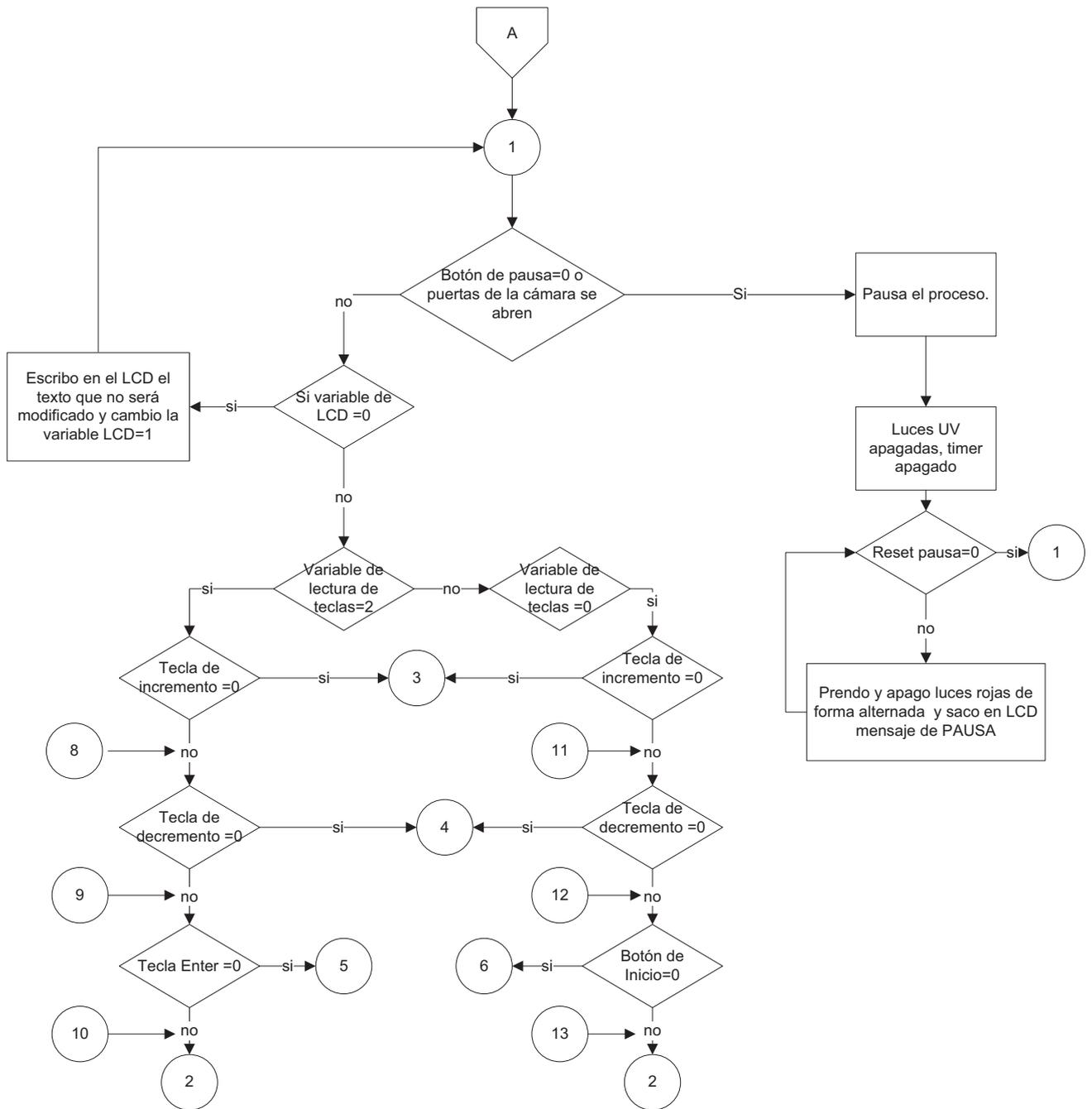


Figura 2.8 a Diagrama de flujo ATmega16

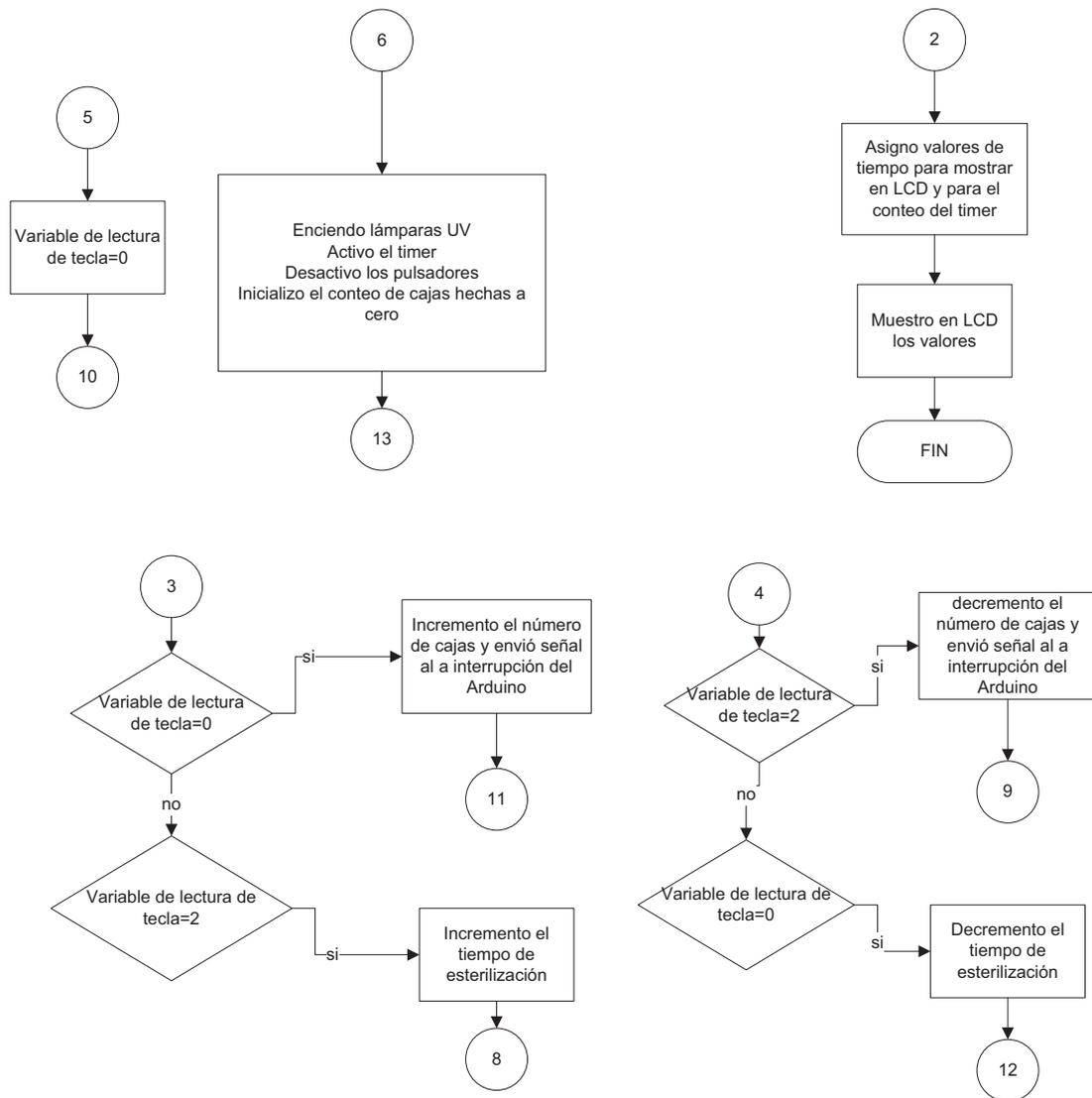


Figura 2.8 b Continuación Diagrama de Flujo ATmega16

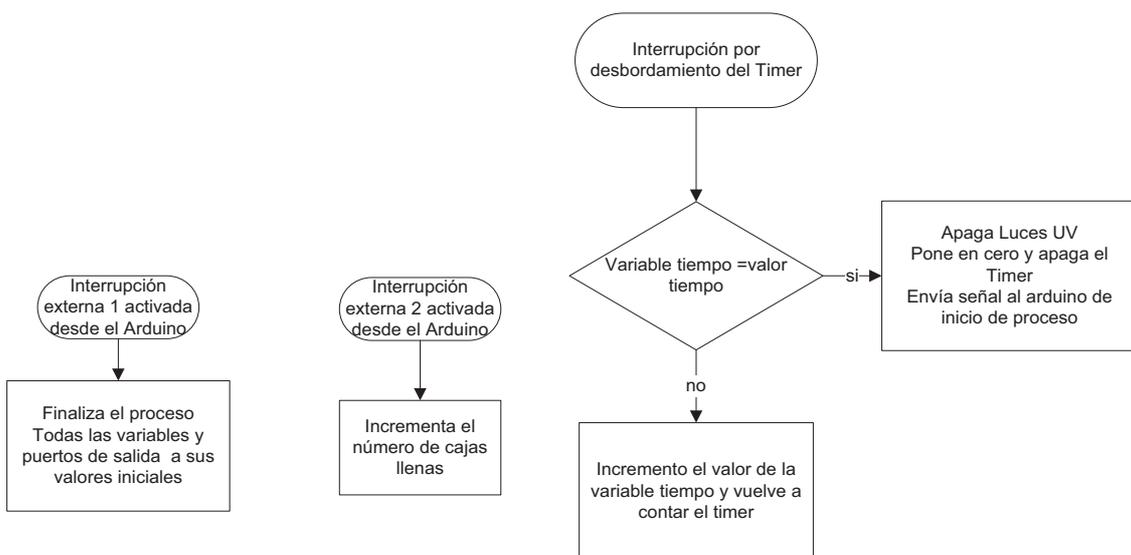


Figura 2.7 Diagrama de flujo de las Interrupciones del ATMEGA16

2.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO ARDUINO 2

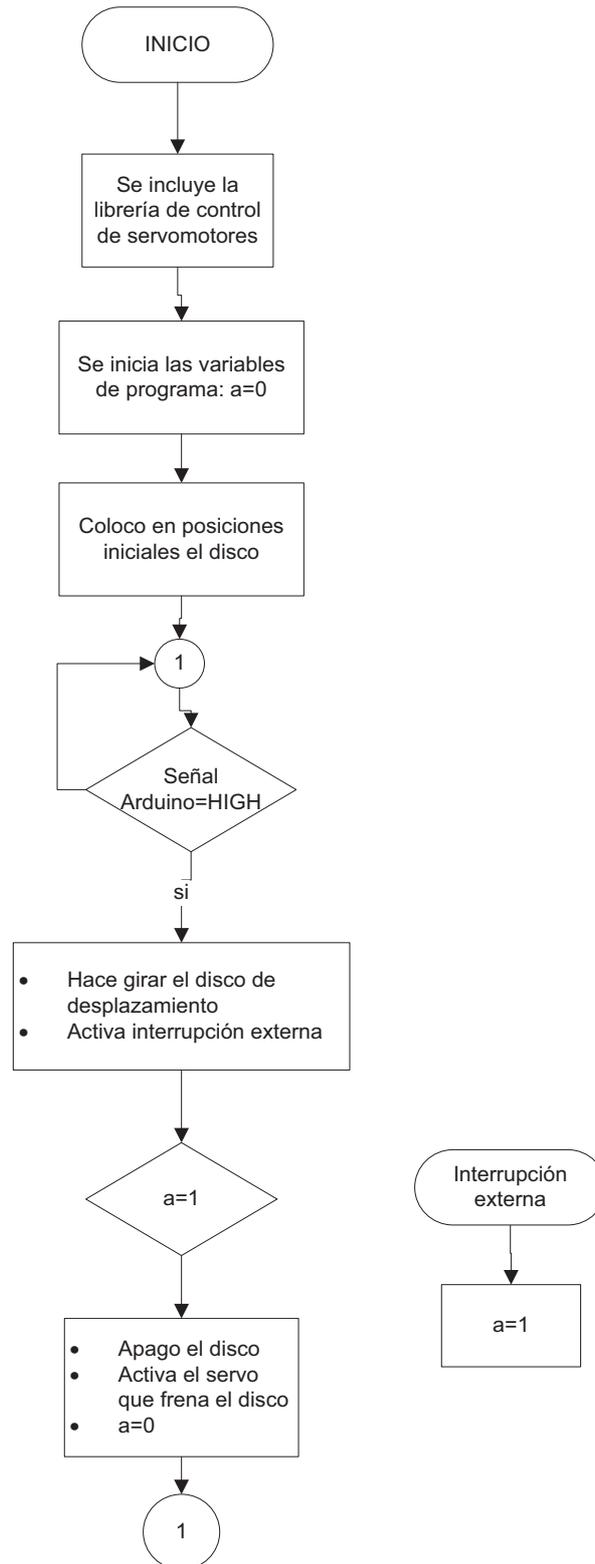


Figura 2.8 Diagrama de flujo del programa en Arduino 2 que controla el disco

2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN Y ESTERILIZADO

El diseño del sistema robótico manipulador se realizó en dos secciones, la parte mecánica y la electrónica. Bajo este esquema se desarrolló primero un prototipo virtual que permitió determinar la relación de dimensiones entre lo que se tenía que manejar y con lo que se iba a diseñar. Para conseguir este fin, se utilizó un programa de diseño asistido por computador (CAD) para el modelado mecánico de las partes.

El sistema diseñado sirve para realizar el llenado de un máximo de 20 cajas petri de 9cm de diámetro por 1.5cm de alto, y sin divisiones internas. Esta limitación es importante ya que dependiendo de eso se realizó la pinza del manipulador, y la columna de almacenamiento. Además, se realiza en un número de 20 cajas ya que los paquetes que comercialmente se consiguen en el mercado son de 20 cajas petri en un mismo empaquetado.

2.4.1 DISEÑO MECÁNICO

Para la parte mecánica se utilizó el *software* AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2012. Con la ayuda de este *software* se obtuvo el modelo digital de cualquier parte mecánica.

2.4.1.1 INVENTOR PROFESSIONAL

Este *software* facilita el diseño en dos y tres dimensiones de la parte mecánica gracias a la amplia gama de herramientas que ofrece. Entre las principales herramientas de dibujo en dos dimensiones que provee este sistema están la creación de figuras geométricas de cualquier tipo, además de las opciones de corte, alargamiento y desfase, que ayudan a agilizar el trabajo. En cuanto a las herramientas para el manejo de 3D tenemos la extrusión que es la principal herramienta para pasar del boceto en 2D a la figura ya con un volumen.

Además, se cuenta con opciones como revolución, barrido, espira, empalme, chaflán, vaciado, división, rosca, entre otros que se encuentran detallados claramente en la barra de herramientas superior que posee el programa.

Una vez realizada cualquier tipo de pieza en 3D, se pueden seguir realizando cortes de diferente índole a lo largo de su superficie, logrando así un acabado lo más cercano a la realidad, como las que se muestran en la Figura 2.10, en la cual se tiene el primer paso del dibujo en CAD que es el croquis en 2D.

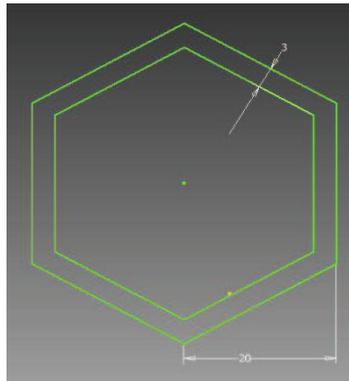


Figura 2.9 Croquis en dos dimensiones

En la Figura 2.11 se presenta la extrusión de la Figura 2.10, es decir, la transformación del dibujo en 2D a uno en 3D.

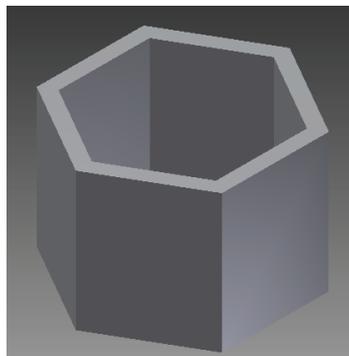


Figura 2.10 Extrusión del la figura 2.10

Por otro lado, este programa también brinda la posibilidad de juntar cada una de las piezas realizadas individualmente dentro de un solo grupo, a lo cual se lo conoce como ensamble. Esta herramienta facilita el armado de las piezas diseñadas por separado, tal como en un rompecabezas, como se indica a continuación en la Figura 2.12.

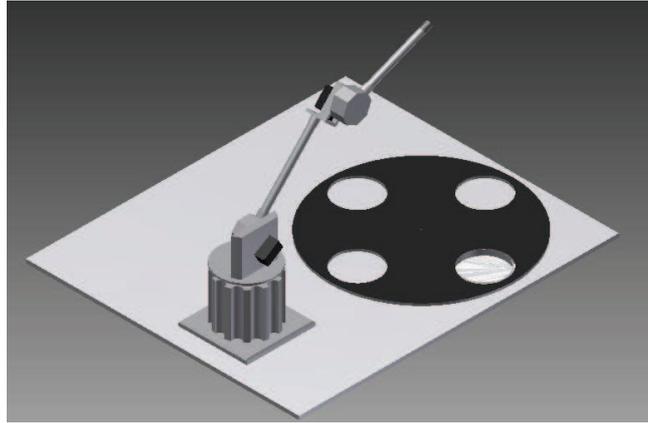


Figura 2.11 Ejemplo de ensamble

2.4.1.2 DISEÑO DEL MANIPULADOR

Para el diseño del manipulador se tomaron en consideración varios parámetros como la ubicación final del manipulador, el tipo de movimiento que se desea realizar, que peso debe tener cada una de sus partes y, lo más importante, como va a tomar los objetos que deberá manipular, entre otros. Tomando en cuenta estos aspectos se decidió elaborar el manipulador con materiales livianos, los cuales permitan realizar las operaciones necesarias sin exigir mayor esfuerzo a los motores colocados en las articulaciones del manipulador y realizar movimientos más suaves y controlados al momento de manejar los recipientes llenos. En la Figura 2.13 se presentan las partes de un robot manipulador para la familiarización de los términos que se irán mencionando a lo largo del proyecto.

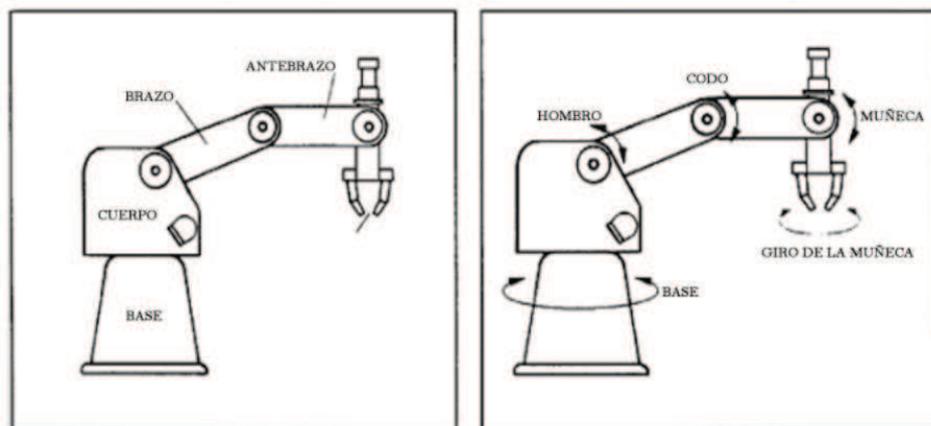


Figura 2.12 Ejemplo de estructura mecánica y partes principales que constituyen un robot manipulador. [22]

Cada una de las piezas que forman parte del manipulador robótico fueron dimensionadas utilizando como ayuda del INVENTOR [27], para posteriormente construirlas. A continuación se describen cada una de las partes que conforman el manipulador.

El material utilizado mayoritariamente para el alma de las piezas fue madera balsa, MDF y aglomerado. Mientras que para la cubierta se empleó masilla plástica para proporcionarle la dureza suficiente para resistir impactos moderados, impermeabilidad al agua, y darle una superficie lo más lisa posible para no almacenar suciedad. Además se consideró un peso máximo de los servomotores de 60 gramos para los servos grandes y de 20 gramos para los microservos.

2.4.1.2.1 Diseño de la base

La base del robot se encuentra construida con plástico PVC, madera, acero y bronce. Adicionalmente, las uniones fueron reforzadas con masilla plástica. Esta parte del manipulador es la pieza que se fijó sobre una superficie para brindar soporte al resto de la estructura.

La estructura de la base se encuentra hecha de plástico y su parte plana en madera. La base de forma cilíndrica tiene en su parte superior una lámina de bronce para reducir el rozamiento y facilitar la rotación del cuerpo del manipulador. Ésta posee una puerta en un costado para poder tener acceso al motor que hace girar al cuerpo. En el centro de la base se encuentra fijado un rodamiento donde se coloca un eje de acero que es el que se conecta al cuerpo del robot. Este eje de acero tiene fijado a lo largo un engranaje circular por medio del cual se realizará el movimiento del cuerpo a través del servomotor instalado dentro de la base. Además, cuenta con un soporte en la parte superior del eje de acero que lo sostiene para evitar al momento de girar el movimiento de vaivén. El eje de acero, también, sirve para que el peso de toda la estructura no se aplique sobre el eje del motor, protegiéndolo y facilitando el movimiento.

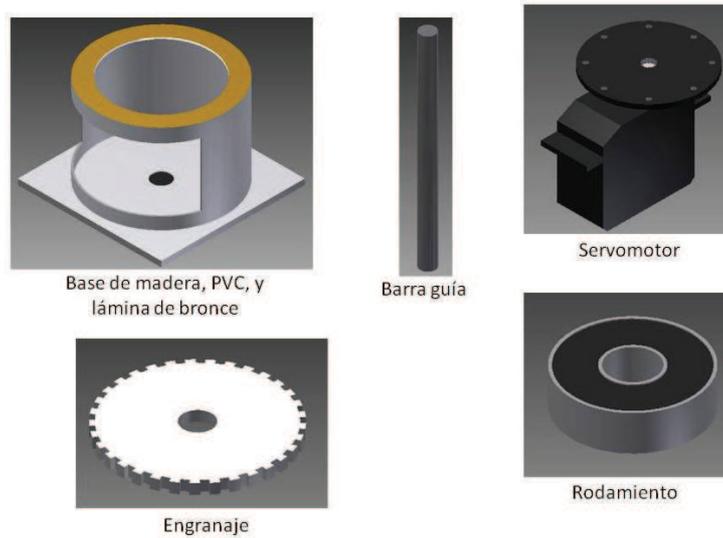


Figura 2.13 Piezas que conforman la base

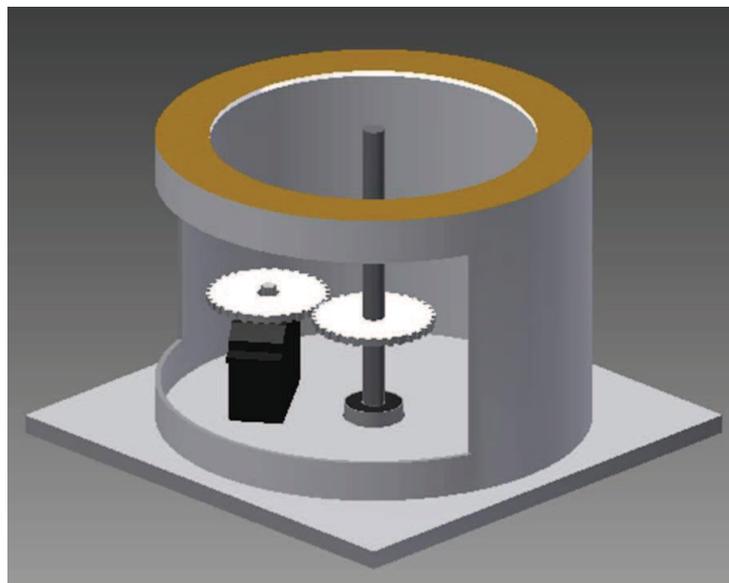


Figura 2.14 Ensamblaje de las piezas que componen la base del manipulador.

2.4.1.2.2 *Diseño del cuerpo.*

El cuerpo del manipulador constituye la primera articulación del mismo. Esta parte se encuentra construida en hierro de 4mm de espesor. Gracias al peso que proporciona el hierro, éste sirve como un contrapeso para el momento que el manipulador realiza sus movimientos, teniendo así un soporte fijo y estable.

En forma general, la articulación consta de una base y dos soportes que sirven de guía para el eje de la siguiente articulación. Éste posee un motor DC con caja reductora que cumple la función de movilizar la siguiente articulación.

Debido al peso y longitud del manipulador y a la fuerza de torque que éste aplicaba sobre este punto de articulación, al momento de realizar los movimientos de extensión fue necesario el empleo de engranajes adicionales para poder aumentar la fuerza del motor y reducir la velocidad del mismo para una mayor precisión del control de posición. De esa manera se protege al motor de exceso de esfuerzo. El eje del movimiento de la siguiente articulación se encuentra alineado con el eje de giro horizontal del cuerpo del manipulador para mayor estabilidad y una mejor distribución del peso del manipulador como muestra la Figura 2.16.

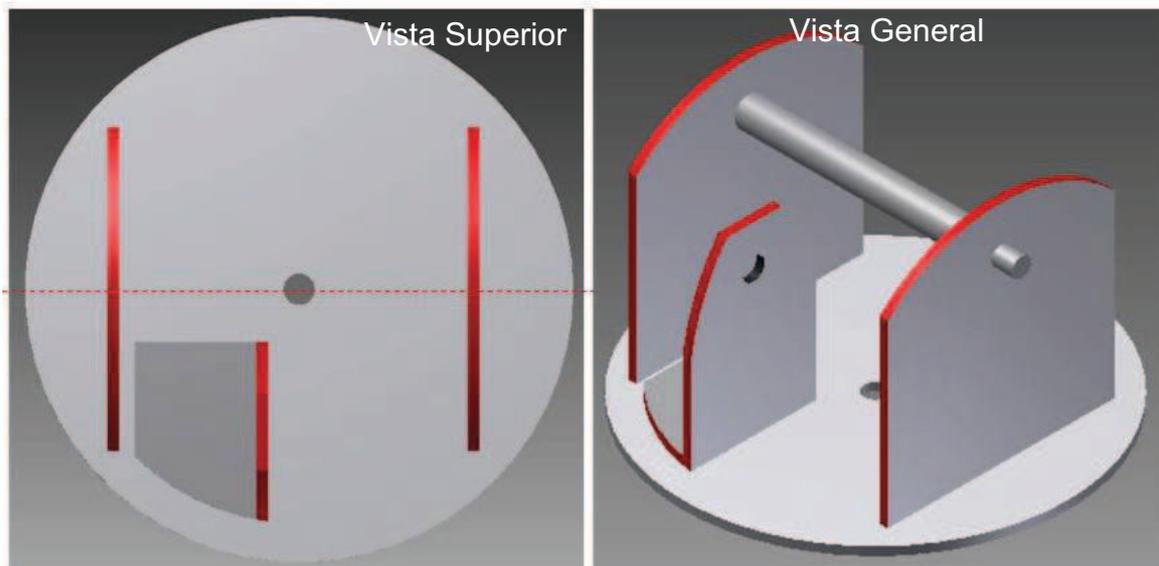


Figura 2.15 Cuerpo del manipulador

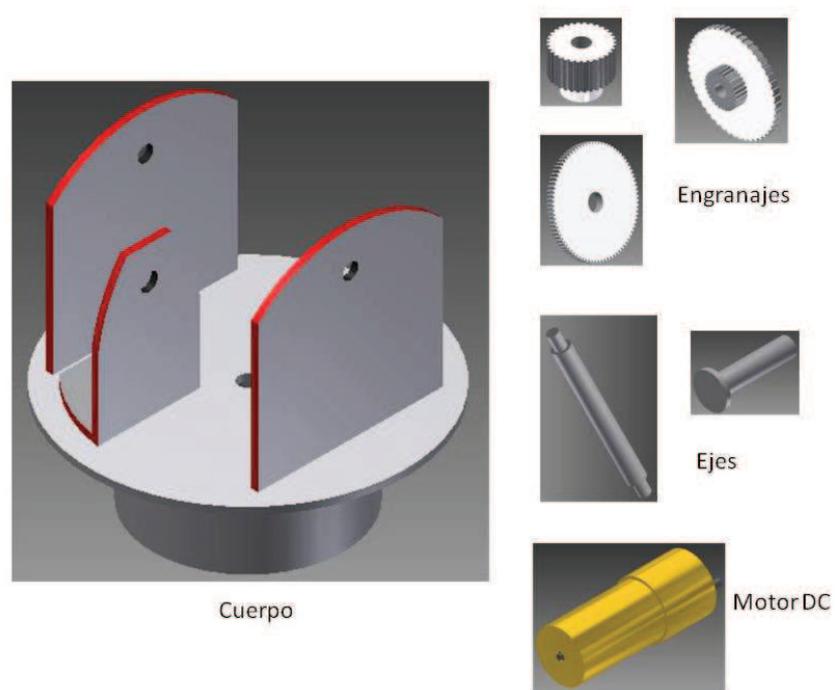


Figura 2.16 Piezas a ensamblar en del cuerpo del manipulador

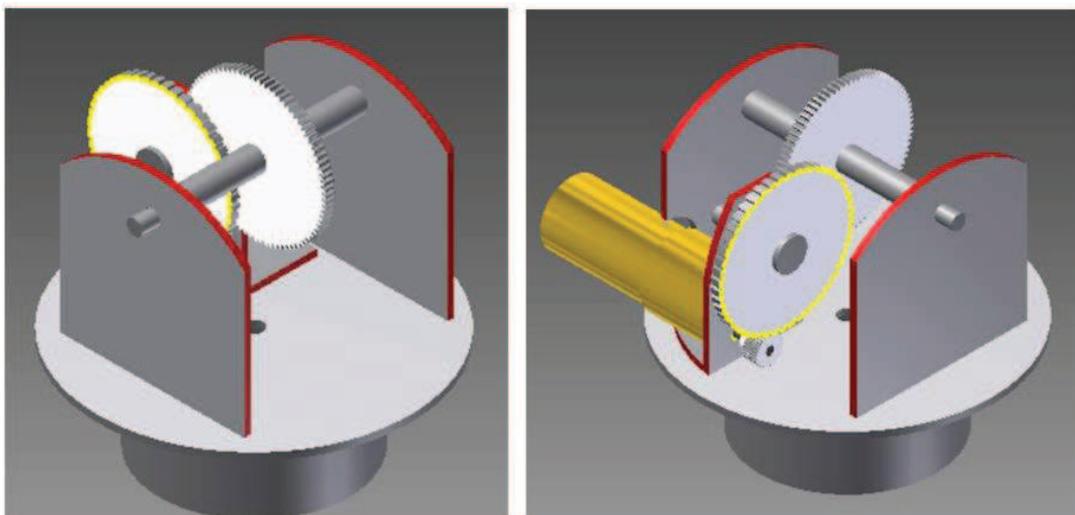


Figura 2.17 Ensamblaje del cuerpo

2.4.1.2.3 Diseño del brazo

Esta articulación fue construida en forma de “Y” para poder tener mayor apoyo en el movimiento y unificar la fuerza al final de ésta en una sola unión, y así poder unirse a la siguiente pieza del manipulador (Figura 2.20).

Esta articulación fue construida de madera balsa y recubierta de masilla plástica.

Es considerada una transición a la que se conectan los motores y servomotores de la primera articulación y de la tercera articulación.

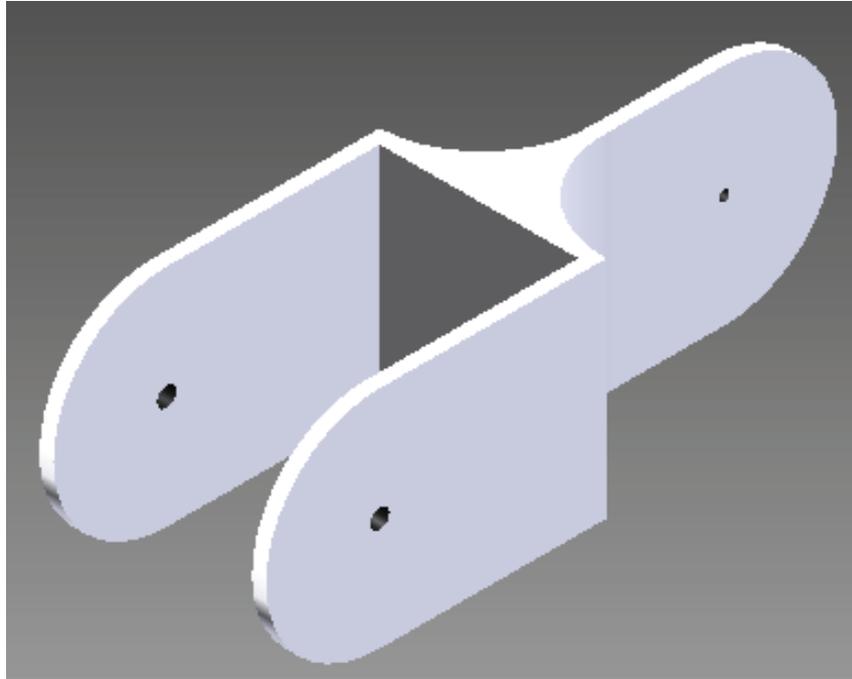


Figura 2.18 Brazo del manipulador

2.4.1.2.4 *Diseño del antebrazo.*

Esta pieza fue construida para dar forma a la tercera articulación. Dicha articulación está conformada por una pieza que contiene un espacio donde se encierra al servomotor que va a ir unido a la segunda articulación para dar movimiento a esta parte. Al extremo de la pieza se encuentra el espacio necesario para un micro servomotor. Al espacio que conforma la cámara que encierra al servomotor se le colocó una tapa para cubrir y proteger al servomotor con ayuda de tornillos. El micro servomotor fue sujetado por medio de tornillos.

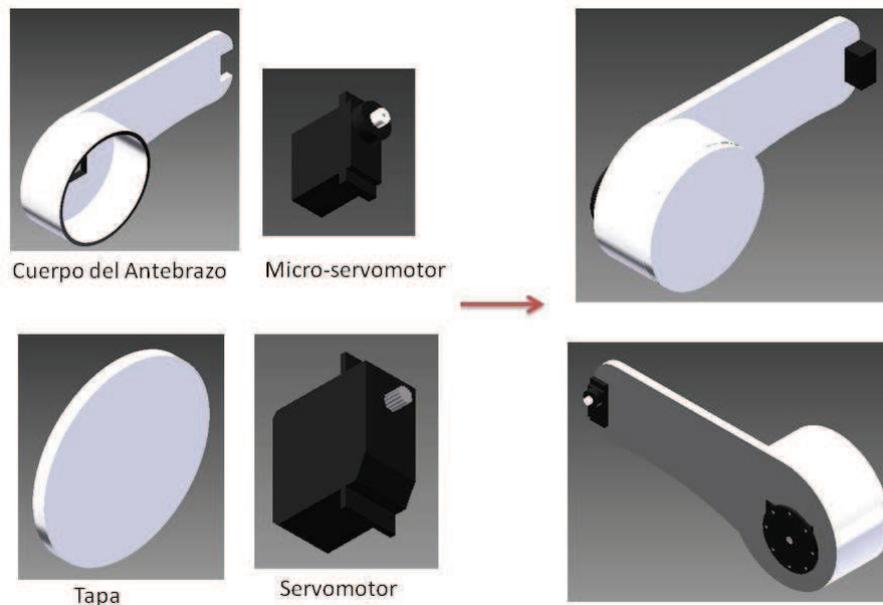


Figura 2.19 Piezas y ensamblaje del antebrazo del manipulador

2.4.1.2.5 Diseño del efector final o pinza.

Para este punto del manipulador se tuvo que tomar en cuenta la posición del objeto a manipular, la altura y el radio del recipiente. Debido a la forma cilíndrica de la caja petri se optó por colocar un efector final, que al momento de realizar la manipulación, tuviera la forma de su contorno y con un espesor tal que se adhiriera a la superficie de la caja. Para poder realizar el movimiento de apertura y cierre de la pinza se usó un micro servomotor, que con la ayuda de dos engranajes circulares contiguos, realizan el movimiento necesario.

Además al final de la pinza, en la parte que está en contacto con la caja petri, se encuentra adherido un pedazo de caucho necesario para no tener que realizar una presión muy grande sobre la caja petri, que por cierto, es de un plástico muy frágil, y de esa manera tener un excelente agarre de la caja sin necesidad de realizar mucha presión, y tampoco forzar demasiado al micro servomotor. Para este diseño de la pinza, se tomó en cuenta una caja petri de 90mm de diámetro y 15mm de altura.

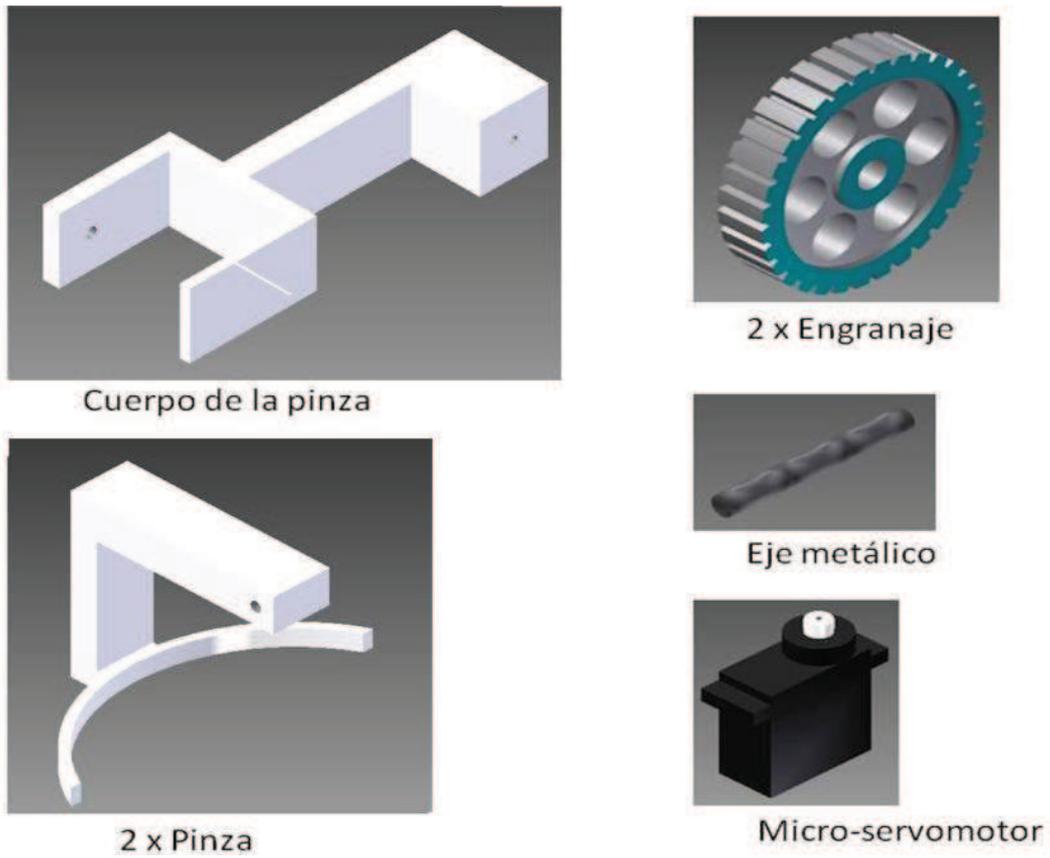


Figura 2.20 Piezas que conforman la pinza del manipulador

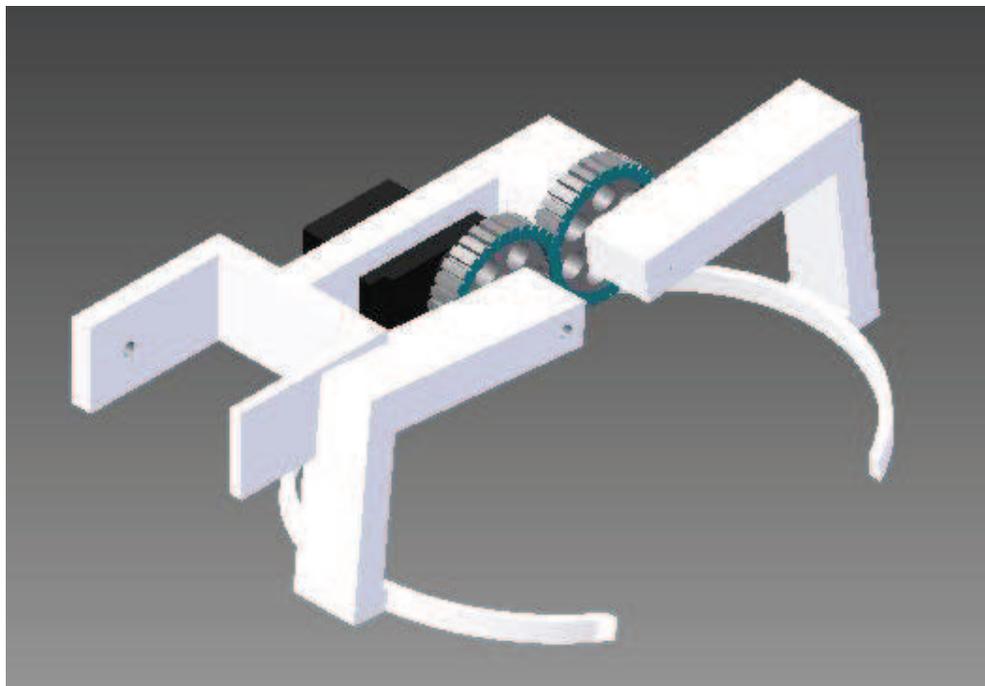


Figura 2.21 Ensamblaje de la pinza

A continuación se presenta el ensamblaje total del manipulador robótico:

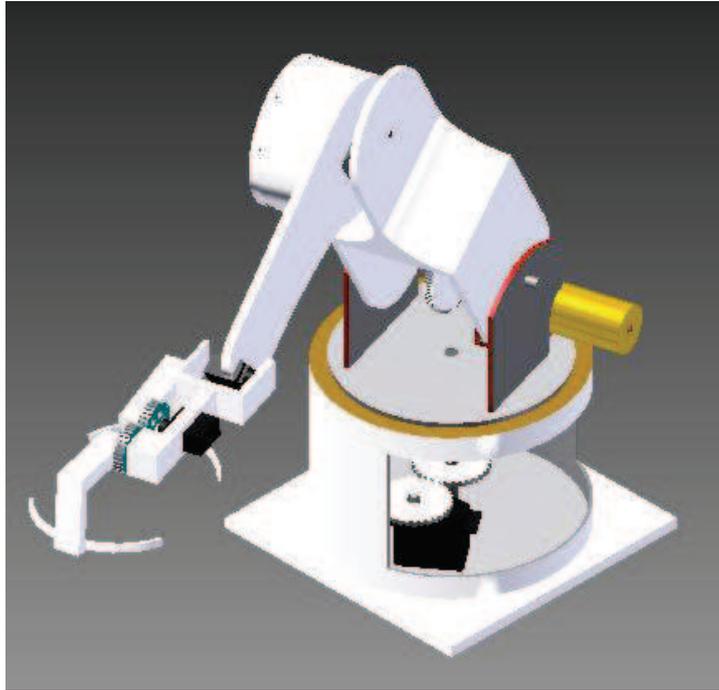


Figura 2.22 Ensamblaje total de piezas

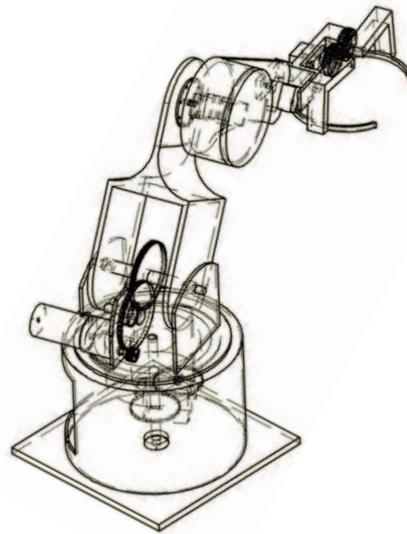
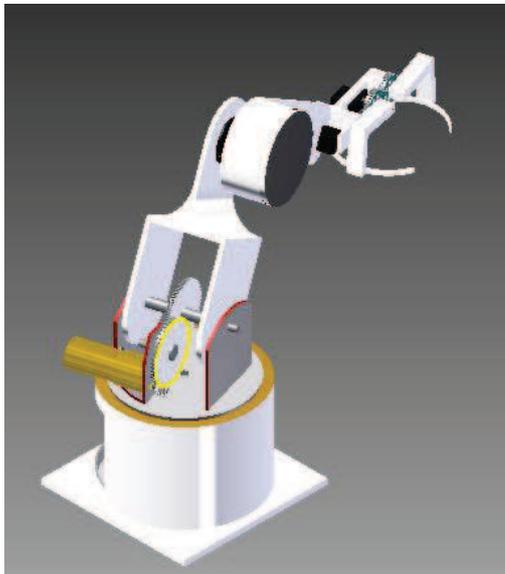


Figura 2.23 Ensamblaje del manipulador-sólido y transparente

2.4.1.3 DISEÑO DE LA CAMARA DE DISPENSADO Y ESTERILIZACIÓN.

Para crear el ambiente que contendrá el proceso de dispensado y esterilización se diseñó una cámara herméticamente cerrada de láminas de tol galvanizado de 0.7mm de espesor. Para el dimensionamiento de ésta se tomó en cuenta el número máximo de cajas a las cuales se deseaba dispensar, el tamaño del brazo y las partes adicionales que se colocarían tanto dentro como fuera de la cámara.

2.4.1.3.1 Dimensiones de la cámara de dispensado.

Para el diseño de la cámara de dispensado se tomó en cuenta el lugar en donde se van a colocar las cajas petri vacías que deben movilizarse al lugar de dispensado, lugar de almacenamiento de las cajas petri llenas, como se desplazan las cajas, el panel de control del sistema, la ubicación del manipulador, y el espacio destinado para las lámparas encargadas de la esterilización. La altura de la cámara es de 71 cm. La cámara interna es de 61 cm, ya que posee un doble fondo para poder realizar el cableado de los controladores y fuentes de energía.

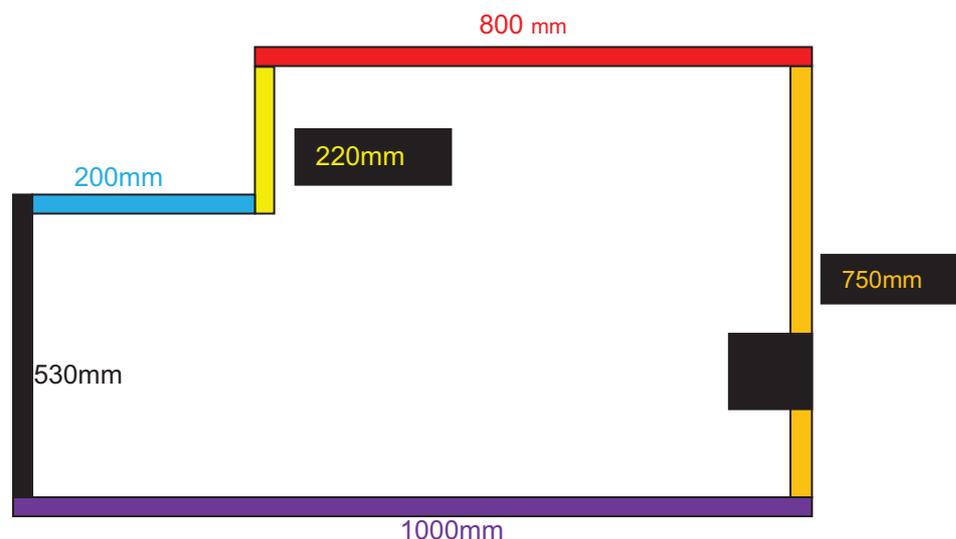


Figura 2.24 Vista superior de la caja con dimensiones principales

La pared lateral izquierda presenta un orificio que corresponde a la torre de dispensado.

En esta torre las cajas petri serán almacenadas al inicio del proceso para posteriormente desplazarlas hacia el manipulador para el dispensado del medio de cultivo.

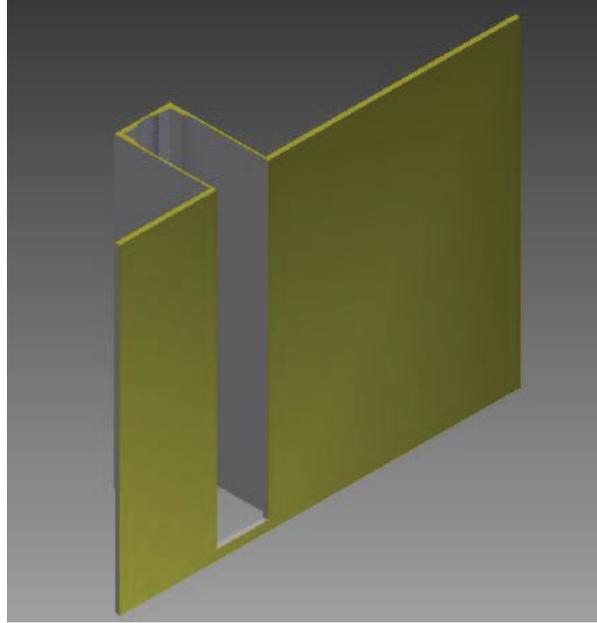


Figura 2.25 Pared lateral Izquierda Vista general

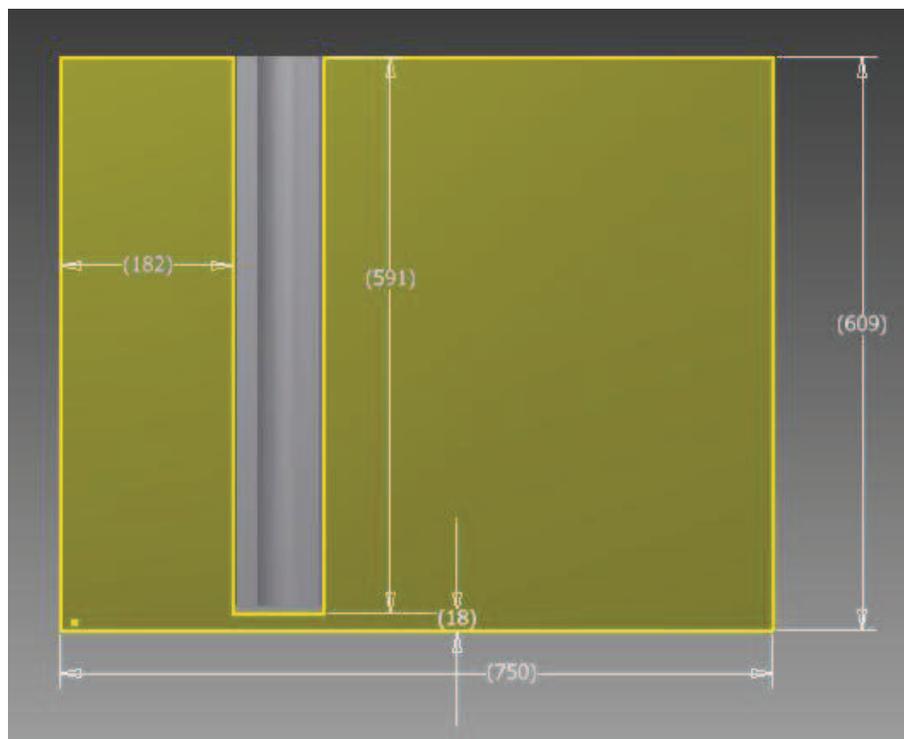


Figura 2.26 Vista frontal de la pared lateral izquierda (mm)

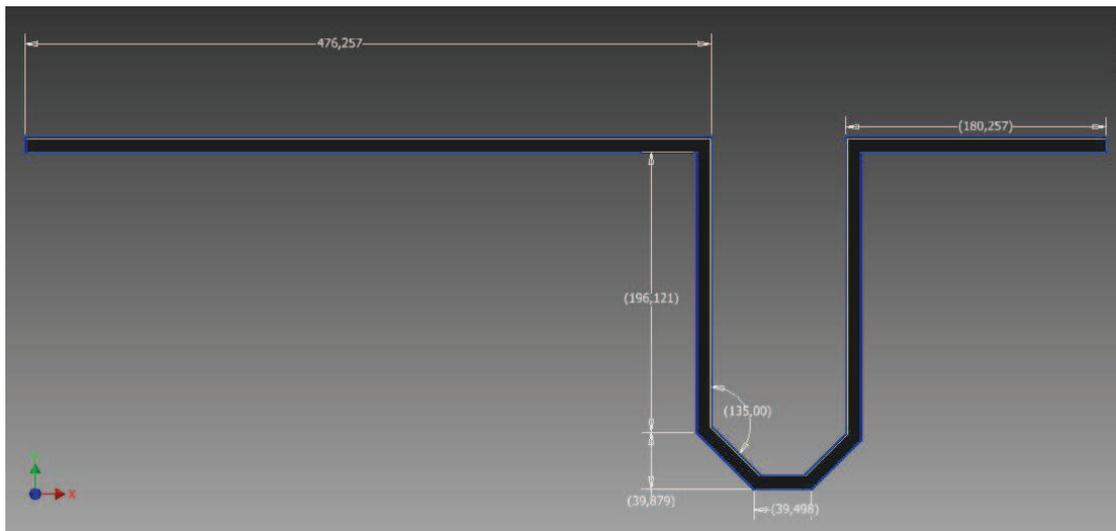


Figura 2.27 Vista superior de la pared lateral izquierda (mm)

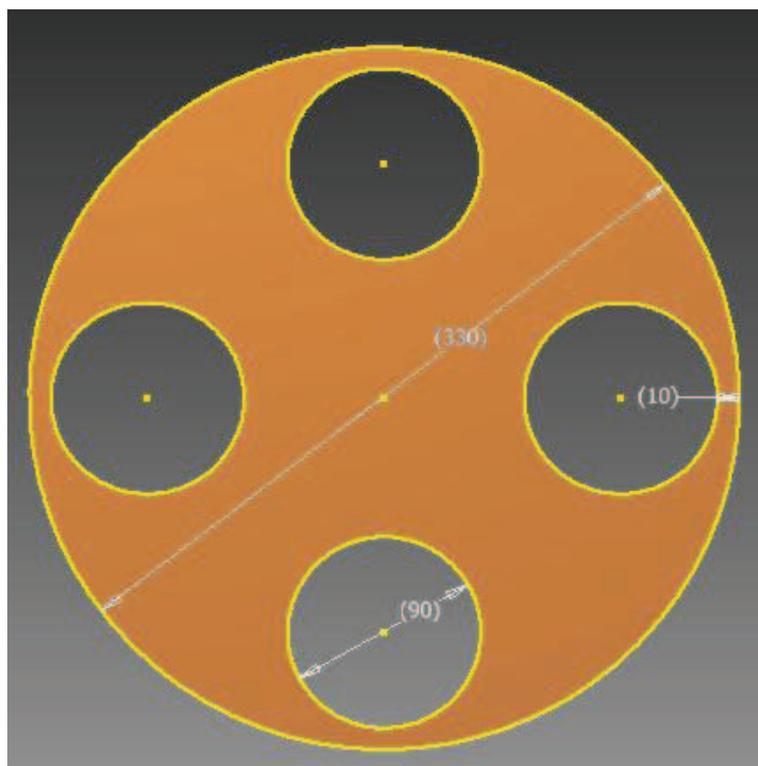


Figura 2.28 Disco de transporte de cajas hasta el manipulador (mm)

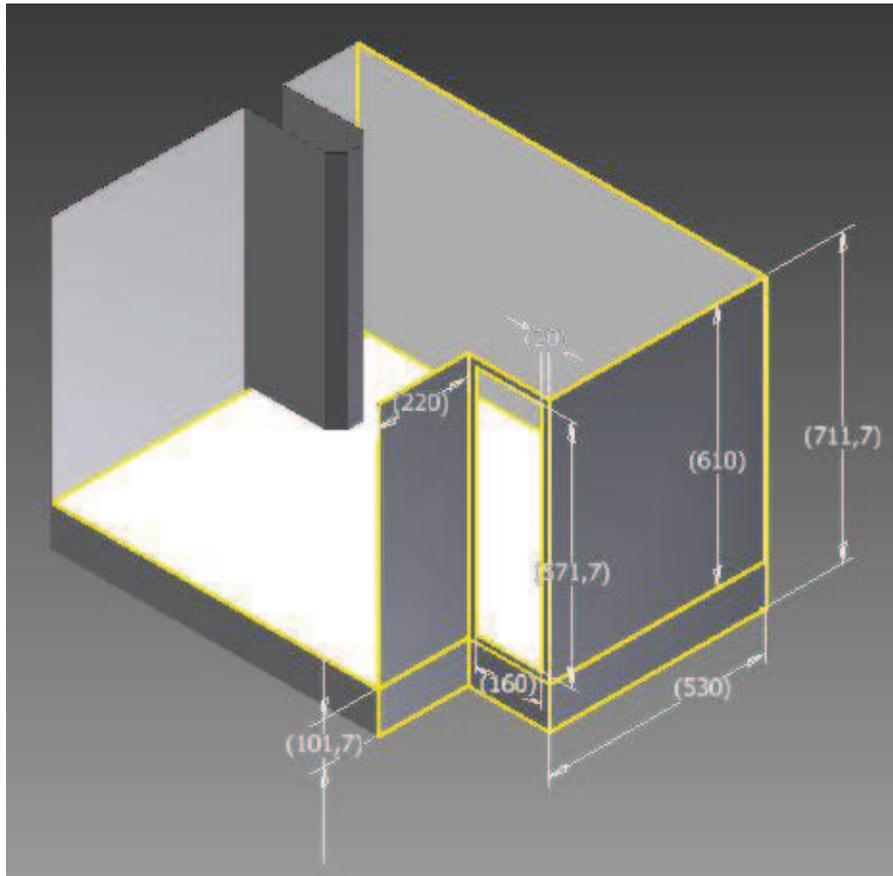


Figura 2.29 Dimensiones de las demás paredes de la cámara (mm)

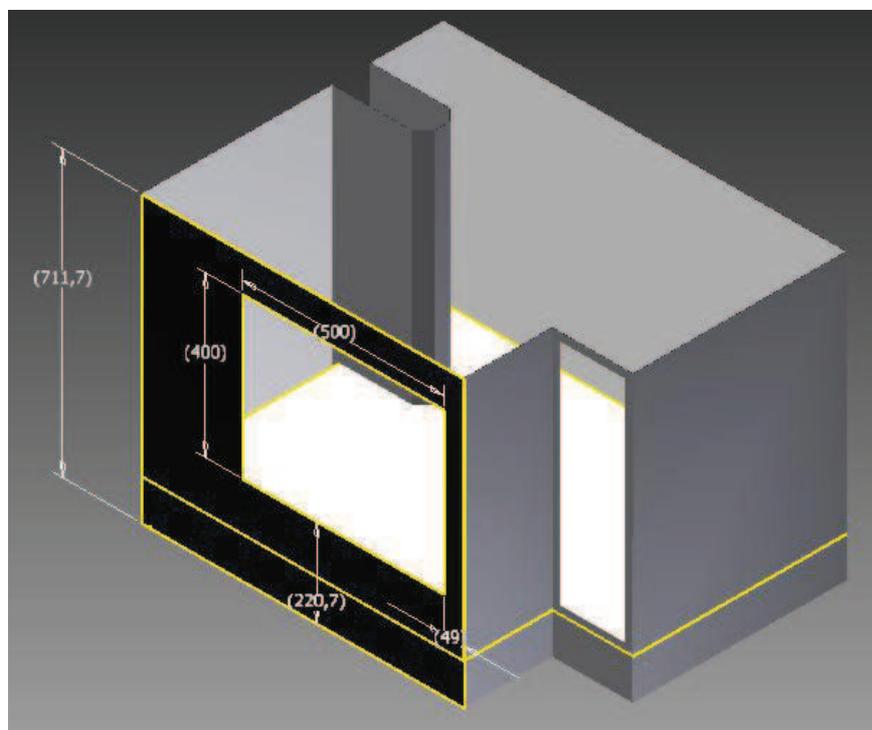


Figura 2.30 Dimensiones de la pared frontal de la cámara (mm)

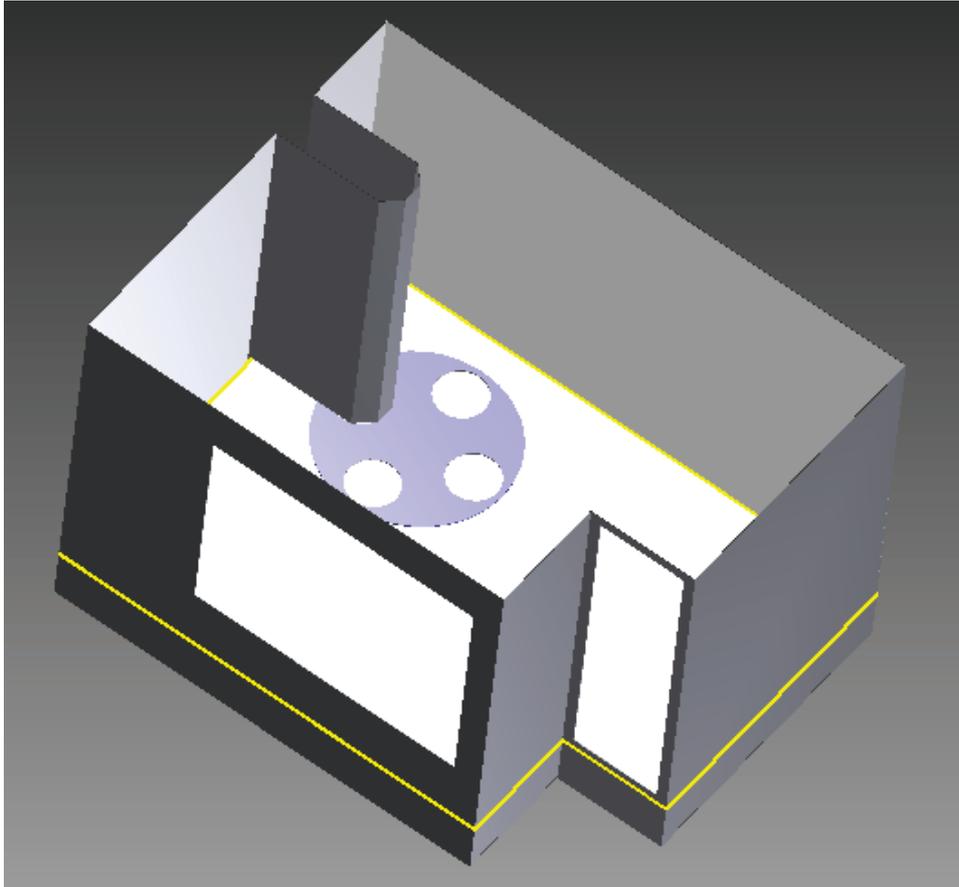


Figura 2.31 Ubicación del disco de transporte de cajas petri.

A continuación se presenta la medida del espacio entre la torre de cajas petri y la base de la cámara. La franja color naranja representa el disco de transporte y el bloque negro que lo sostiene representa un motor DC.

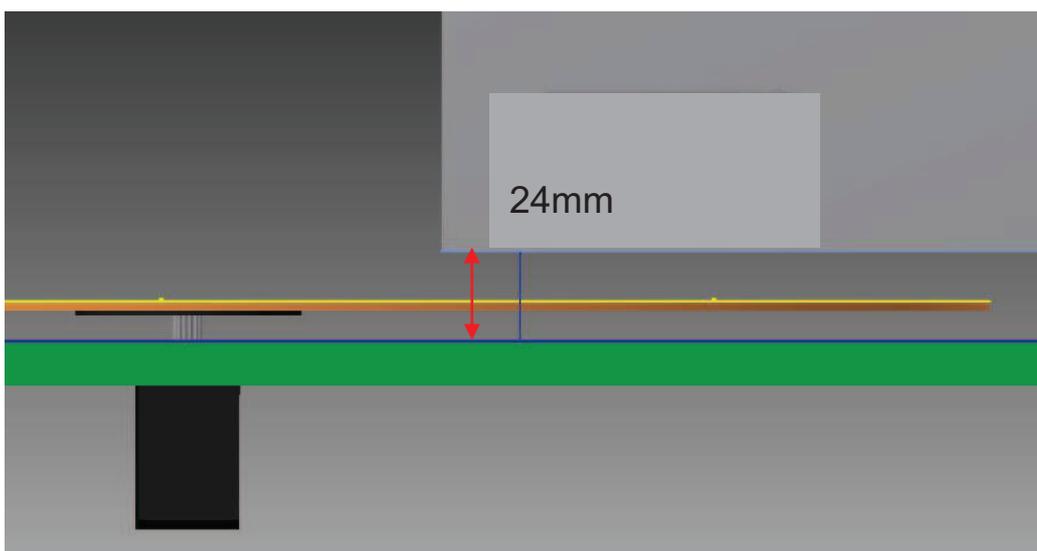


Figura 2.32 Altura entre la torre cajas petri y la base de la cámara

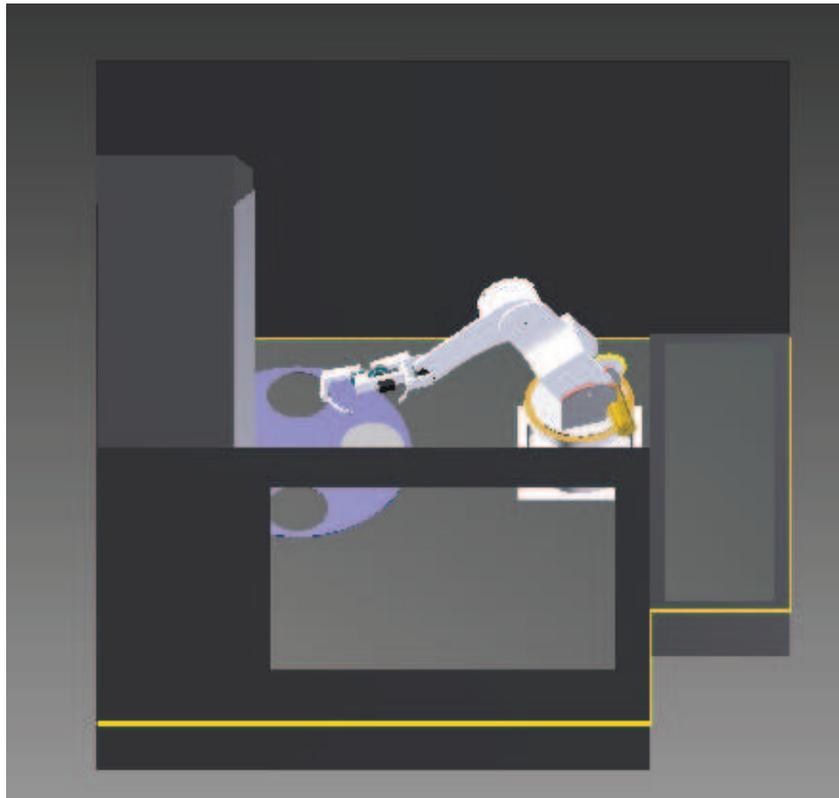


Figura 2.33 Proporción entre la cámara y el manipulador

2.4.1.3.2 Sistema de dispensado

Para el sistema de dispensado se consideró la esterilidad del fluido, el lugar inicial desde donde se va a almacenar el fluido, el punto de dispensado y la forma en la que se realizará el dispensado. Por todo esto, se decidió utilizar una bomba peristáltica que no entra en contacto con el fluido a ningún momento en que se realiza el desplazamiento del recipiente principal hacia la caja petri. Para el dispensado del fluido se colocó un servomotor para que acerque y aleje la manguera hasta la caja petri.

2.4.1.3.3 Sistema de desplazamiento de cajas petri

El desplazamiento de las cajas petri se realiza por medio de un disco de tol galvanizado de 0.7mm de espesor y del manipulador.

El disco toma las cajas desde la columna de almacenamiento y las desplaza hasta una posición cómoda para el manipulador. Durante la trayectoria de las cajas petri en el disco, se detecta si existe caja y tapa para realizar el dispensado, si existe caja y no tiene tapa, o si no existe ninguna de las dos, lo

cual dará paso a la secuencia a realizar. La detección de la caja se realiza mediante sensores infrarrojos colocados de una manera que no obstruyan el proceso. Adicionalmente, la caja petri llega desde la torre de dispensado hasta el punto donde se realiza su llenado a través de una rampa que hace que la caja se eleve 8mm desde el nivel más bajo de la caja. Esto permite que el manipulador pueda alcanzar sin problemas la caja para manipularlo.

2.4.1.3.4 Diseño del sistema de esterilización.

La esterilización consiste en la destrucción de microorganismos mediante mecanismos químicos o físicos. Para este proyecto se decidió emplear desinfección por luz ultravioleta, que es un método físico de desinfección muy efectivo y muy utilizado. Este sistema es utilizado con mucha frecuencia en hospitales y clínicas debido a la sencillez de su utilización y eficiencia, en los cuales se la emplea en armarios para esterilizar instrumental y quirófanos. La luz ultravioleta presenta un gran poder germicida en microorganismos, tales como bacterias, hongos, virus y protozoos. Para que la radiación ultravioleta sea eficiente debe ser aplicada de forma directa y sin dejar espacios sin cobertura, por lo que se debe aplicar iluminación que elimine sombras. [1]

Para asegurar el poder germicida de la luz ultravioleta se requiere de una dosis y tiempo adecuados de exposición. También se debe tomar en cuenta que la luz visible neutraliza los efectos de la luz ultravioleta, por lo que se debe evitar la exposición a una gran fuente de luz visible. Se debe considerar, también, que el manejo de este tipo de radiación puede ocasionar efectos sobre la salud como conjuntivitis y radiodermatitis, por lo que es necesario mantener una distancia prudente cuando se está realizando esterilización con este tipo de sistemas. Sin embargo, estos efectos pueden ser reducidos con el uso de gafas y máscaras protectoras y ropa adecuada. [1]

Para la esterilización se distribuyeron las lámparas de tal manera de no permitan la presencia de sombras en ninguna dirección ni espacio. Las lámparas empleadas trabajan en el rango del espectro UV-C que son radiaciones de onda corta en el rango de 200 a 290 nanómetros [3]. Al ser los más cortos, son los potencialmente más dañinos. En este proyecto se utiliza una radiación de 253.7nm, ya que es la de mayor efecto germicida. [4]

Para realizar la esterilización de un espacio se necesita la dosis necesaria de radiación, y además se debe considerar el tiempo mínimo de esterilización que se desea para obtener para de esa manera calcular la potencia de la lámpara fluorescente UV-C.

En la Tabla 2.5 se indica la dosis necesaria para eliminar microorganismos, expresada en J/m². [6]

Tabla 2.5 Dosis de radiación UV-C para cada tipo de microorganismo en mJ/cm² [7]¹

Target Pathogens	Log Inactivation							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
<i>Cryptosporidium</i>	1.6	2.5	3.9	5.8	8.5	12	15	22
<i>Giardia</i>	1.5	2.1	3.0	5.2	7.7	11	15	22
Virus	39	58	79	100	121	143	163	186

El cálculo de la dosis necesaria a ser aplicada se utiliza la Ecuación 2.1: [6]²

$$D_2 = \frac{\log(100/s_2)}{\log(100/s_1)} \times D_1 = \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

D_2 : nueva dosis requerida.

D_1 : dosis para el 90% de destrucción.

S_1 : porcentaje de supervivencia con dosis D_1 .

S_2 : porcentaje de supervivencia con dosis D_2 .

Para este caso se tiene:

D_1 es 1860 J/m² tomando el valor más alto de la Tabla 2.5 para el diseño en las condiciones más extremas que es la de los virus, a pesar que en este tipo de medios de cultivo no se incuban virus, pero de esa manera se asegura la eliminación de todos los demás microorganismos.

$$D_2 = \frac{\log(100/0.01)}{\log(100/90)} \times 1860 = \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad (2.2)$$

^[7] U.S. Environmental Protection Agency, "Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule". EPA 815-R-06-007. November del 2006.

^[6] <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/Descargas/Unidad7.pdf>

$$D_2 = 7440 \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad (2.3)$$

Ahora que se tiene la dosis requerida para cumplir una desinfección de aproximadamente el 99.9 %, se toma un valor de tiempo en el cual se desee hacer la esterilización, para así realizar el cálculo de la radiación eficaz de la lámpara.

Se asume un tiempo mínimo de 15 minutos para la esterilización, y se usa el dato de la dosis requerida D_2 para, por medio de la Ecuación 2.4 hacer el cálculo de la radiación eficaz. [8]

$$D_2 = \text{radiación eficaz} \times \text{tiempo de esterilización} \quad (2.4)$$

$$7440 \left[\frac{J}{m^2} \right] = \text{radiación eficaz} \times 900 \text{ [seg]} \quad (2.5)$$

$$\text{radiación eficaz} = 8,26666 \quad (2.6)$$

Con el valor de la radiación eficaz se usa la Tabla 2.6 y se busca un valor aproximado de radiación en los tipos de lámparas que se encuentra comúnmente en forma comercial.

Tabla 2.6 Detalles técnicos de los tubos germicidas PHILLIPS [9]

CARACTERÍSTICAS							
DESIGNACIÓN	DIÁMETRO	ZÓCALO	POTENCIA NOMINAL W	IRRADIANCE ¹ $\mu W/cm^2$	RADIACIÓN UVC ² W	VIDA ÚTIL ³ horas	DECAIMIENTO a las 2500 hs ⁴ %
TUV 15	T8 (26 mm)	G13	15	0,34	4,6	8000	12
TUV 30	T8 (26 mm)	G13	30	0,37	11,2	8000	12
TUV 36	T8 (26 mm)	G13	36	0,44	14,6	8000	12

Según la Tabla 2.6 se tiene que de acuerdo al valor obtenido de radiación necesitaríamos una lámpara de un valor entre 15W y 30W. En el mercado solo se encontró lámparas de hasta 30W como valor cercano por lo que recalculando se obtendrá el tiempo de acuerdo a la radiación de una lámpara de 30W.

Entonces, recalculando el tiempo de esterilización con los nuevos datos, se tiene:

$$D_2 = \text{radiación eficaz} \times \text{tiempo de esterilización} \quad (2.7)$$

$$7440 \left[\frac{J}{m^2} \right] = 11,2 \times t \quad (2.8)$$

$$t = 664,286 \text{ segundos} = 11,07 \text{ min} \quad (2.9)$$

Por lo que con lámparas de 30W se tendrá que, para esterilizar la cámara de dispensado, se debe mantener el proceso 11.07 minutos bajo la acción de la luz ultravioleta.

2.5 CINEMÁTICA DEL ROBOT

La cinemática del robot es la encargada de estudiar los movimientos con respecto a un sistema de referencia, es decir, es la descripción analítica del movimiento espacial del robot.

Los problemas fundamentales a resolver por la cinemática son, el **problema cinemático directo**, que consiste en determinar la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas tomado de referencia; y el **problema cinemático inverso**, que resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas. [10]

Denavit y Hartenberg [28] propusieron un método sistemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo. Haciendo uso de una matriz de transformación homogénea para describir la relación espacial entre dos elementos rígidos adyacentes, reduciéndose el problema cinemático directo a encontrar una matriz de transformación homogénea 4x4 que relacione la localización espacial del extremo del robot con respecto al sistema de coordenadas de su base.

Por otra parte, la cinemática del robot trata también de encontrar las relaciones entre las velocidades del movimiento de las articulaciones y las del extremo. Esta relación viene dada por el **modelo diferencial** expresado mediante la matriz Jacobiana. [10]

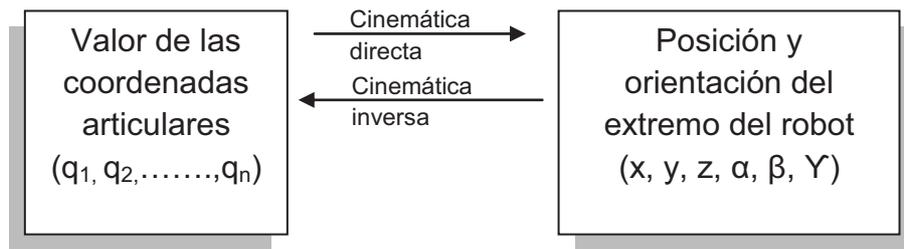


Figura 2.34 diagrama de relación entre cinemática directa e inversa.

2.5.1 PROBLEMA CINEMÁTICO DIRECTO [10]

Mediante la resolución del problema cinemático directo, se puede determinar la posición y orientación que adopta el extremo del robot. Este problema se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación \mathbf{T} que relacione la posición y orientación del extremo del robot con respecto a un sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Este sistema será función de las coordenadas articulares.

2.5.1.1 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA CINEMÁTICO DIRECTO

La resolución del problema consiste en encontrar las relaciones que permiten conocer la localización espacial del extremo del efector final a partir de los valores de sus coordenadas articulares.

Así, se han escogido coordenadas cartesianas y ángulos de Euler [29] para representar la posición y orientación del extremo de un robot de 4 grados de libertad, la solución al problema vendrá dado por el algoritmo de Denavit-Hartenberg (D-H).

El método de Denavit-Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo permite obtener la relación que existe entre dos elementos contiguos, donde se puede hacer uso de cualquier sistema de referencia.

Para empezar primero se debe: [10]

1. 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.

2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) acabando en n .
3. 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.
4. Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.
5. Situar el origen del sistema de la base (S_0) en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro¹ con z_0 .
6. Para i de 1 a $n-1$, situar el sistema (S_i) (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i 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 fuesen paralelos (S_i) se situarían en la articulación $i+1$.
7. Situar x_i en la línea normal común z_{i-1} y z_i .
8. Situar y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .
9. 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 .
10. Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} y x_i queden paralelos.
11. 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.
12. 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).
13. Obtener α_i como el ángulo que habría que girar en torno a x_i , para que el nuevo (S_{i-1}) coincida totalmente (S_i).
14. Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}A_i$ definidas en la Ecuación matricial 2.10.

$${}^{i-1}A_i = Rotz(\theta_i)T(0,0,q_i)T(\alpha_i,0,0)Rotz(\alpha_i) \quad (2.10)$$

¹ Dextrógiro= cuando el sistema de referencia cumple la regla de la mano derecha.

Y realizado el producto de matrices se tiene:

$${}^{i-1}\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$${}^{i-1}\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & q_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Donde $C\theta_i = \text{Coseno}(\theta_i)$, $S\theta_i = \text{Seno}(\theta_i)$, $C\alpha_i = \text{Coseno}(\alpha_i)$, $S\alpha_i = \text{Seno}(\alpha_i)$.

15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el extremo del robot

$$\mathbf{T} = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \dots \dots \dots {}^{n-1}A_n \quad (2.13)$$

16. La matriz \mathbf{T} define la orientación (sub-matriz de rotación) y posición (sub-matriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.

Los parámetros de D-H (θ_i , d_i , a_i , α_i) dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que le unen con el anterior y siguiente. En concreto estos representan:

- θ_i Es el ángulo que forman los ejes \mathbf{x}_{i-1} y \mathbf{x}_i medido en un plano perpendicular al eje \mathbf{z}_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha. Se trata de un parámetro variable en articulaciones giratorias.
- q_i Es la distancia a lo largo del eje \mathbf{z}_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas (i-1)-ésimo hasta la intersección del eje \mathbf{z}_{i-1} con el eje \mathbf{x}_i . Se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.
- a_i Es la distancia a lo largo del eje \mathbf{x}_i que va desde la intersección del eje \mathbf{z}_{i-1} con el eje \mathbf{x}_i hasta el origen del sistema i-ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de

articulaciones prismáticas, se calcula como 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, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato, ya que vienen dadas por las matrices **A**, que se calculan según la expresión de la Ecuación 2.12.

Las relaciones entre eslabones no consecutivos vienen dadas por las matrices **T** que, como ya se comentó anteriormente, se obtienen como producto de un conjunto de matrices **A**. [10]

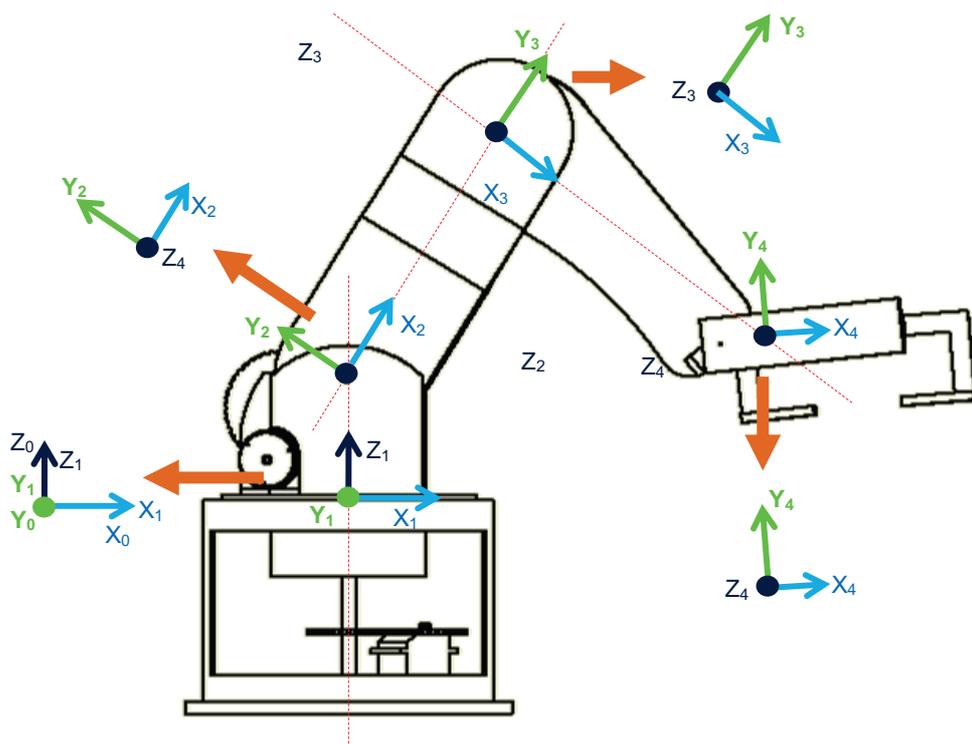


Figura 2.35 Ubicación de ejes para el cálculo de la cinemática directa

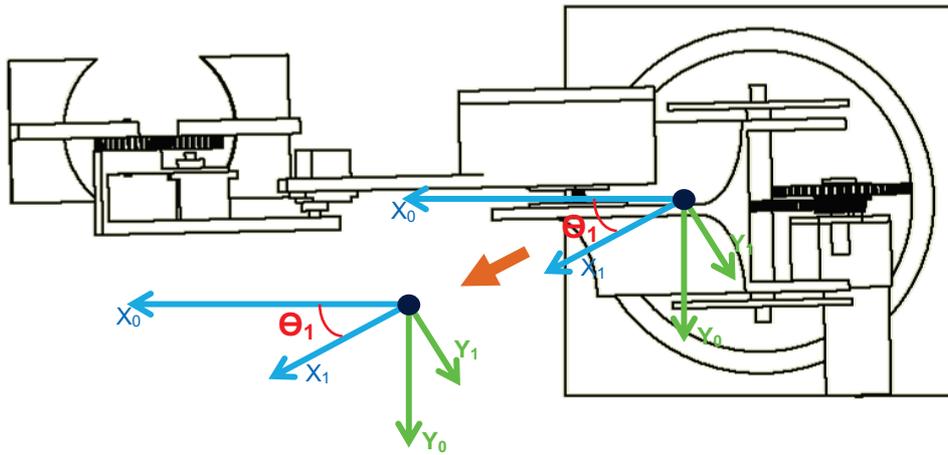


Figura 2.36 Ejes para ubicación de θ_1

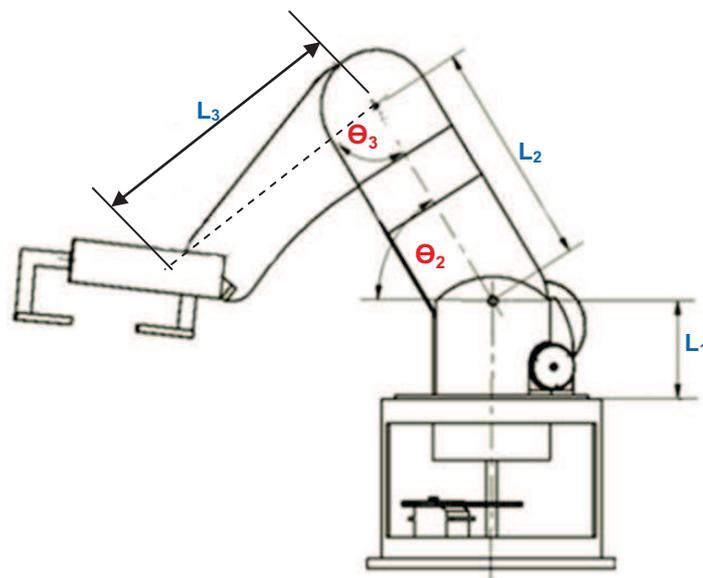


Figura 2.37 Vista de las dimensiones físicas del Manipulador.

Tabla 2.7 Parámetros Denavit-Hartenberg para el manipulador

Articulación (i)	θ_i	q_i	a_i	α_i
1	θ_1	L_1	0	0
2	θ_2	0	L_2	90
3	θ_3	0	L_3	0

El elemento final de control no influye en la posición del manipulador por lo que no se lo toma en cuenta para los cálculos.

Una vez obtenidos los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot manipulador, se procede a calcular la matriz T a partir de las matrices ${}^{i-1}A_i$ de la siguiente manera: [10]

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \quad (2.14)$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1A_2 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & L_2C\theta_2 \\ S\theta_2 & 0 & -C\theta_2 & L_2S\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & 0 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Por lo tanto, se obtiene que:

$$T = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & L_2C\theta_2 \\ S\theta_2 & 0 & -C\theta_2 & L_2S\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & 0 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\rightarrow T = \begin{bmatrix} ax & bx & cx & X \\ ay & by & cy & Y \\ az & bz & cz & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Donde:

$$ax = (C\theta_1 \cdot C\theta_2 - S\theta_1 \cdot S\theta_2)(C\theta_3)$$

$$ay = C\theta_3(S\theta_1 \cdot C\theta_2 + C\theta_1 \cdot S\theta_2)$$

$$az = S\theta_3$$

$$bx = -S\theta_3(C\theta_1 \cdot C\theta_2 - S\theta_1 \cdot S\theta_2)$$

$$by = -S\theta_3(S\theta_1 \cdot C\theta_2 + C\theta_1 \cdot S\theta_2)$$

$$bz = C\theta_3$$

$$cx = (C\theta_1 \cdot S\theta_2 + S\theta_1 \cdot C\theta_2)$$

$$cy = (S\theta_1 \cdot S\theta_2 - C\theta_1 \cdot C\theta_2)$$

$$cz = 0$$

$$X = L_2(C\theta_1 \cdot C\theta_2 - S\theta_1 \cdot S\theta_2)$$

$$Y = L_2(S\theta_1 \cdot C\theta_2 + C\theta_1 \cdot S\theta_2)$$

$$Z = L_1$$

La Ecuación 2.18 nos indica la posición del extremo final del manipulador con respecto al sistema de referencia situado en la base fija del robot. Siendo X, Y, Z las coordenadas que expresan la posición espacial del extremo del último eslabón con referencia a la base fija. Y los demás valores indican la orientación del mismo. [11]

2.5.2 CINEMÁTICA INVERSA

En este caso para el desarrollo de la cinemática inversa se tiene que dada una posición y orientación para el extremo del último eslabón, se desea encontrar el valor de los ángulos de las articulaciones del manipulador, que satisfagan su localización. Este sistema se complica, ya que aquí pueden existir varias soluciones para una misma posición y orientación, y estas posiciones se ven limitadas por el rango de limitaciones del elemento final y de la estructura de sus eslabones, es decir, las ecuaciones dependen de la configuración del robot.

A través de un método geométrico se permite obtener las expresiones que relacionen la posición espacial del extremo del manipulador en función de los giros de los actuadores.

Este sistema se utiliza cuando el manipulador se encuentra en una posición conocida y se la quiere llevar a otra posición que también es conocida mediante sus coordenadas. [11]

A la hora de resolver el problema cinemático inverso es mucho más adecuado encontrar una solución cerrada, es decir, encontrar una relación matemática explícita de la forma:

$$q_k = f_k(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \quad (2.19)$$

Donde k toma valores del grado de libertad del manipulador, estos valores van desde "1" hasta "n", según sea el caso de los grados de libertad del robot.

Con esta solución se obtienen las siguientes ventajas:

1. En muchas aplicaciones, el problema cinemático inverso ha de resolverse en tiempo real (por ejemplo, en el seguimiento de una trayectoria). Una solución de tipo iterativo no garantiza tener la solución en el momento adecuado.
2. 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 n-uplas $[q_1, \dots, q_n]^T$ que posicionan y orientan el extremo del robot del modo. En estos casos la solución cerrada permite incluir determinadas reglas o restricciones que aseguren que la solución obtenida sea la más adecuada entre las posibles (por ejemplo, límites en los recorridos articulares).

A pesar de las dificultades la mayoría de los robots presentan cinemáticas relativamente simples que facilitan en cierta medida la resolución de su problema cinemático inverso. [10]

2.5.2.1 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO POR MÉTODOS GEOMÉTRICOS.

Como se ha indicado, este procedimiento es adecuado para los robots de pocos grados de libertad o para el caso de que se consideren sólo los primeros grados de libertad, dedicados a posicionar el extremo.

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

En fin, lo que se desea obtener es el extremo del robot en un punto y orientación en el espacio. Las ecuaciones que se deben obtener debe ser igual en número que los grados de libertad que tenga el robot. [10]

$$q = [q_1, q_2, q_3]^T \quad (2.20)$$

Para esto primero se debe obtener q_1 a partir de la Ecuación 2.21 y de la Figura 2.38

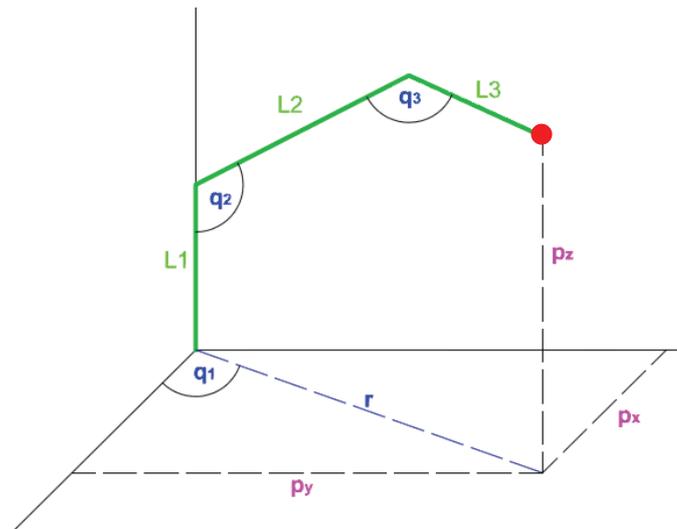


Figura 2.38 Coordenadas articulares del robot manipulador

$$q_1 = \tan^{-1} \left(\frac{p_y}{p_x} \right) \quad (2.21)$$

Donde q_1 puede tener cualquier valor dentro del rango de valores que se encuentra entre 0 y 270 grados; esto se debe a la restricción física que éste posee.

De la Figura 2.38 considerando que todos los eslabones se encuentran en el mismo plano y utilizando la ley de cosenos, se tendrá:

$$r = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (2.22)$$

$$r^2 + p_z^2 = L_2^2 + L_3^2 - 2 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot \cos q_3 \quad (2.23)$$

Se realiza el reemplazo de la Ecuación 2.25 en la Ecuación 2.26 se tendrá:

$$\cos q_3 = \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - (r^2 + p_z^2)}{2 \cdot L_2 \cdot L_3} \right) \quad (2.24)$$

Mediante esta expresión se obtiene q_3 : [30]

$$q_3 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - (\cos q_3)^2}}{\cos q_3} \right) \quad (2.25)$$

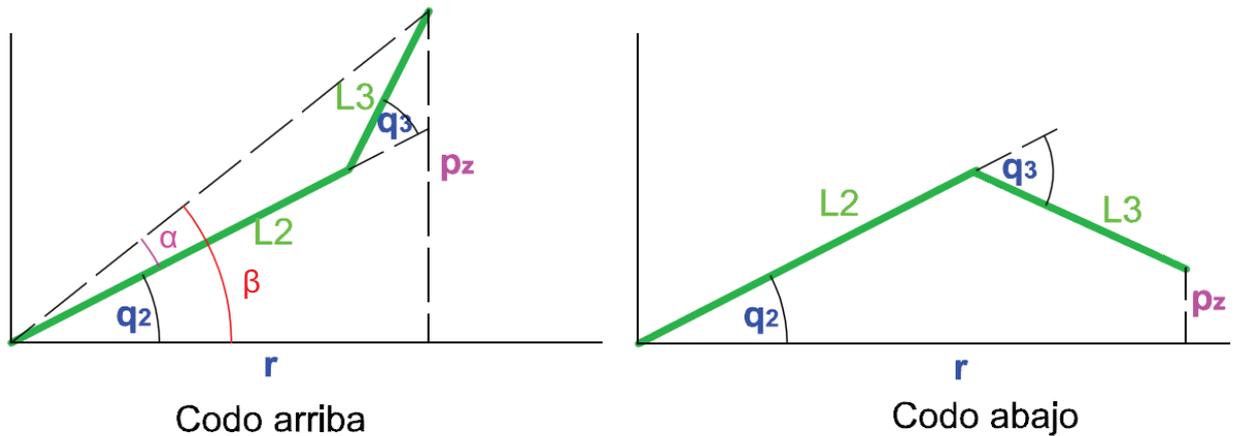


Figura 2.39 Visualización de los ángulos q_2 y q_3

Como se puede observar en la Figura 2.39, existen dos posibles soluciones para q_3 según se tome signo positivo o negativo en la raíz. Pero el valor de q_3 se ve limitado entre cero y 180° debido a la restricción que esta articulación trabaja con un servomotor como actuador.

El ángulo q_2 se obtiene:

$$q_2 = \beta - \alpha \quad (2.26)$$

Para hallar β se utiliza la siguiente relación:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{p_z}{r}\right) \quad (2.27)$$

Para α utilizamos la ley de cosenos y se tiene:

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{L_2^2 + r^2 + p_z^2 - L_3^2}{2 \cdot L_2 \cdot \sqrt{r^2 + p_z^2}}\right) \quad (2.28)$$

Entonces, se realiza el reemplazo de la Ecuación 2.30 y la Ecuación 2.31 en la Ecuación 2.29 para obtener q_2 .

$$q_2 = \tan^{-1}\left(\frac{p_z}{r}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{L_2^2 + r^2 + p_z^2 - L_3^2}{2 \cdot L_2 \cdot \sqrt{r^2 + p_z^2}}\right) \quad (2.29)$$

El rango de q_2 también se encuentra entre cero y 180° debido a las limitaciones físicas del servomotor en esta articulación.

De esta forma se obtiene las expresiones correspondientes al problema de cinemática inversa en función de la posición y de los parámetros físicos del robot.

$$q_1 = \tan^{-1} \left(\frac{py}{px} \right) \quad (2.30)$$

$$q_2 = \tan^{-1} \left(\frac{pz}{r} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + r^2 + p_z^2 - L_3}{2 \cdot L_2 \cdot \sqrt{r^2 + p_z^2}} \right) \quad (2.31)$$

$$\cos q_3 = \left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - (r^2 + p_z^2)}{2 \cdot L_2 \cdot L_3} \right) \quad (2.32)$$

$$q_3 = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - (\cos q_3)^2}}{\cos q_3} \right) \quad (2.33)$$

2.6 DISEÑO ELECTRÓNICO

2.6.1 ACONDICIONAMIENTO SENSOR DE POSICIÓN-PRIMERA ARTICULACIÓN.

Para controlar la posición del motor DC que conforma el actuador de la primera articulación del manipulador se usa un potenciómetro lineal de 5kΩ. Para utilizar esa señal se procede a acondicionarlo en tres etapas; la primera etapa es de filtrado de la señal, la segunda es una etapa de amplificación e inversión, y la tercera resulta como consecuencia de la segunda que consta en una etapa de inversión de la señal.

2.6.1.1 ETAPA DE FILTRADO.

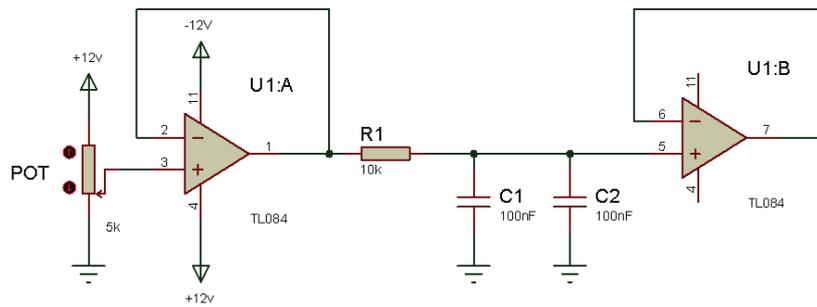


Figura 2.40 Etapa de filtrado

En esta etapa de filtrado se coloca, antes y después del filtro, una sección de seguidores para el acoplamiento de impedancias y para que el filtro realice su trabajo y no sufra variaciones, ya que se está filtrando una señal de una resistencia variable y con la resistencia del filtro, esta etapa podría verse afectada en su desempeño.

Para el filtrado se realizó para una frecuencia de 60Hz que entraba a manera de ruido debido a la fuente de alimentación y que se identificó con el uso del osciloscopio.

$$F_c = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad (2.34)$$

Tomando $F_c = 60\text{Hz}$ y una $R = 10\text{k}\Omega$ se procede a buscar el valor de C :

$$60\text{Hz} = \frac{1}{2.\pi.10\text{k}\Omega.C} \quad (2.35)$$

De donde:

$$C = \frac{1}{2.\pi.10\text{k}\Omega.60\text{Hz}} \quad (2.36)$$

$$(2.37)$$

$$C = 265.26\text{nF}$$

Con los reajustes al momento de la implementación se finalizó que:

$$C = 200\text{ nF} \quad (2.38)$$

2.6.1.2 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN

Aquí se considera que el potenciómetro se encuentra polarizado por 12V para de esa manera, al momento de acondicionarlo a 5V que es el valor que acepta el conversor análogo digital de Arduino, poder disminuir y atenuar en la misma proporción cualquier tipo de ruido que se pueda escapar a la primera etapa de filtrado.

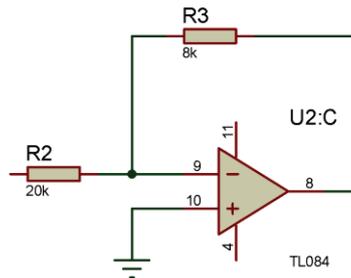


Figura 2.41 Etapa de amplificación y primera Inversión

La entrada máxima que se recibe es de 12V y se requiere solamente 5V, entonces para este amplificador se usa la siguiente relación de ganancia:

$$G = -\frac{R_3}{R_2} \quad (2.39)$$

Se utiliza este amplificador en configuración inversor, ya que el no inversor solo puede dar ganancias mayores a uno y en este caso se requiere reducir el voltaje.

Se necesita una ganancia de relación que a los 12 V tenga una salida de 5V por lo que se tiene:

$$G_{requerida} = \frac{5}{12} \quad (2.40)$$

Reemplazando la Ecuación 2.34 en la Ecuación 2.33 y tomando una $R_2 = 20k\Omega$

$$\frac{5}{12} = -\frac{R_3}{20k\Omega} \quad (2.41)$$

Entonces:

$$R_3 = 8333.33\Omega \quad (2.42)$$

Colocando valores estándar se tiene que:

$$R_3 = 8.2k\Omega \quad (2.43)$$

2.6.1.3 ETAPA DE INVERSIÓN

Esta etapa nace como resultado de la ganancia negativa de la etapa anterior por lo que se procede a colocar esta etapa de inversión y con una ganancia de menos uno. Además, se colocó un diodo Zener de 5.1V para que por cualquier variación de voltaje, nunca exceda ese valor a la salida de la etapa de acondicionamiento.

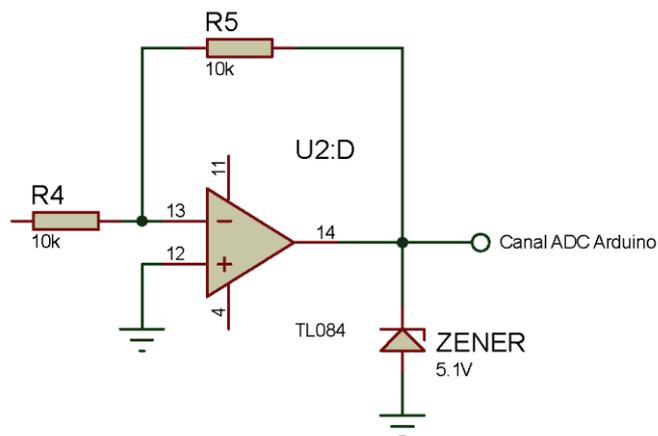


Figura 2.42 Etapa final de inversión

$$G = -\frac{R_5}{R_4} = -1 \quad (2.44)$$

Para que esto se cumpla:

$$R_4 = R_5 \quad (2.45)$$

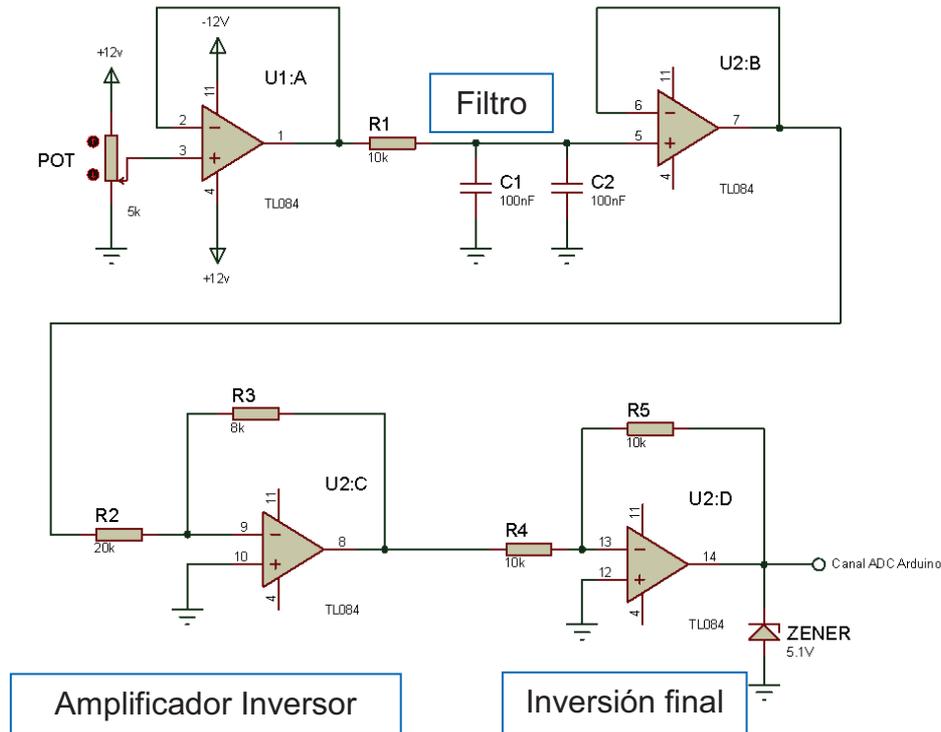


Figura 2.43 Diagrama completo del acondicionamiento

2.6.2 MANEJO DE MOTORES

Para el desarrollo del proyecto se manejan dos tipos de motores: servomotores y motores DC. Los servomotores conectan directamente su señal de control al Arduino Duemilanove y su alimentación a la fuente DC de 5V general.

Por otro lado, para el manejo de los motores DC que comprenden el motor de la primera articulación, la bomba que dispensa el medio de cultivo, y el motor que controla el giro del disco que acerca a las cajas hacia el manipulador, se utiliza el driver L293D. Los motores manejan voltajes de hasta 24V, por lo que, este circuito integrado es muy útil para la función que debe desempeñar. Éste tiene las características de manejar cargas de potencia media, en especial pequeños motores y cargas inductivas, con la capacidad de controlar corriente hasta 600mA en cada circuito y una tensión entre 4.5V y 36V.

Tabla 2.8 Tabla de valores máximos del circuito Integrado L293D obtenido del datasheet del elemento.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V_I	Input Voltage	7	V
V_{en}	Enable Voltage	7	V
I_o	Peak Output Current (100 μ s non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{pinz} = 90$ °C	4	W
$T_{stg.} T_J$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

A continuación se presentan los diagramas de conexiones para los motores DC.

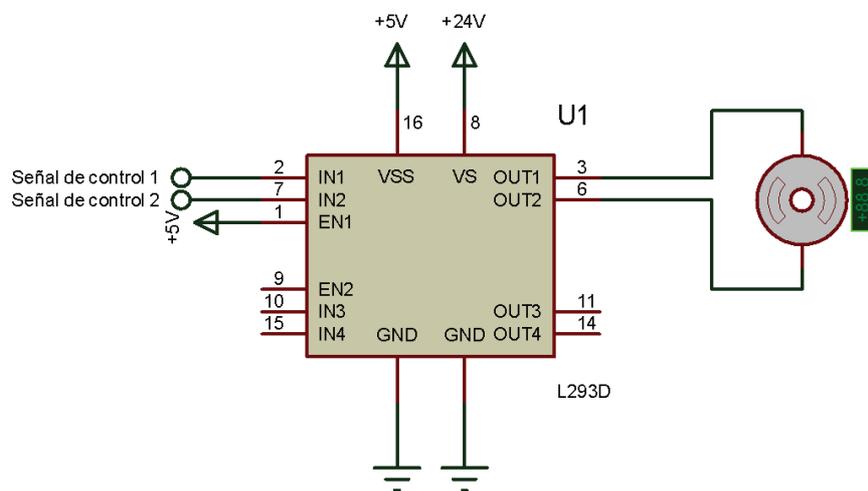


Figura 2.44 Circuito del motor DC de la 1era articulación del manipulador

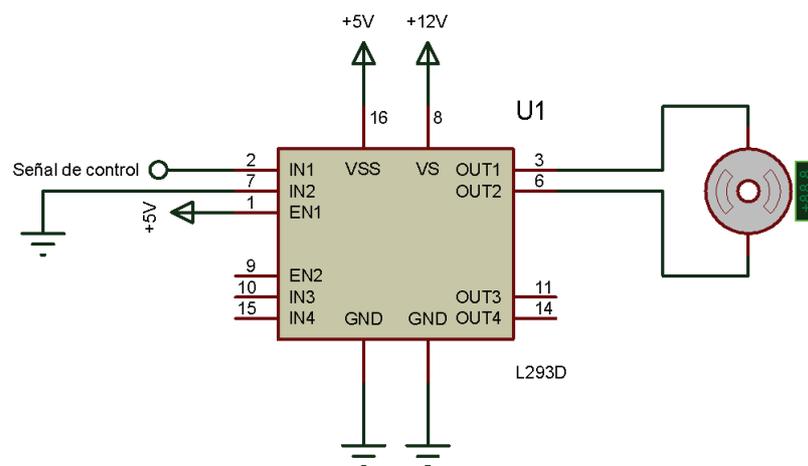


Figura 2.45 Circuito del manejo del motor DC de la bomba de dispensado.

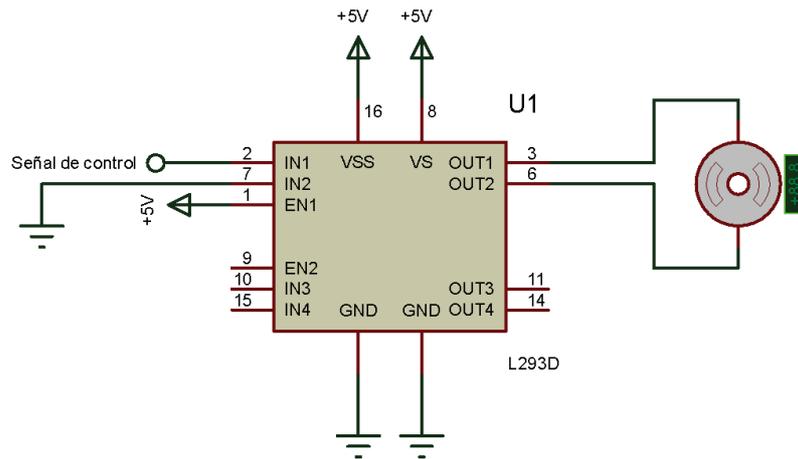


Figura 2.46 Circuito del manejo del motor DC del disco.

2.6.3 CONEXIONES PARA LÁMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA Y LUCES PILOTO

Para las lámparas UV y luces piloto, que funcionan a 110V se utiliza relés de 12V para separar la parte de control con la de potencia. Las señales de control desde el microcontrolador pasan por el circuito integrado ULN2803, que es un arreglo de ocho transistores tipo Darlington NPN. Este modelo de circuito integrado es compatible con las familias con estándar TTL.

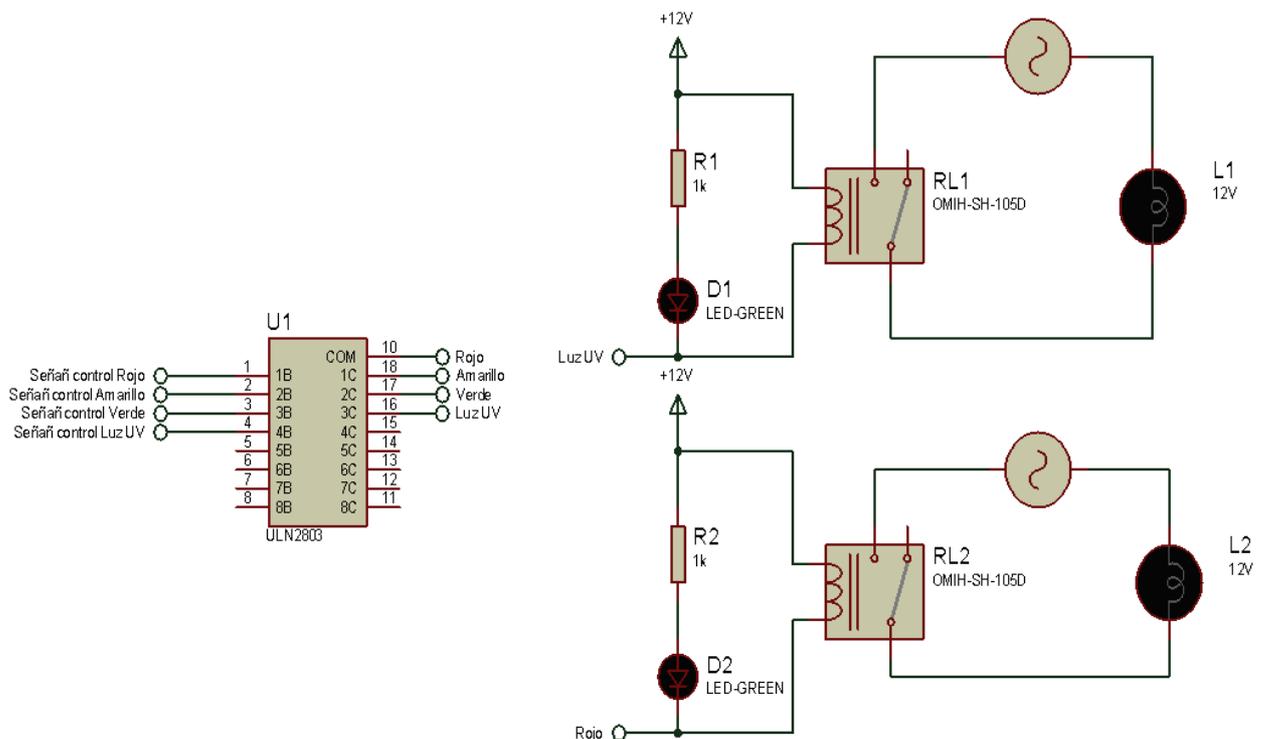


Figura 2.47 Muestra de las conexiones de lámparas UV y luces piloto.

2.6.4 SENSORES PARA DETECCIÓN DE CAJAS

Las cajas petri son de plástico transparente, por lo que una manera económica y sencilla de identificarlas fue en base a sensores de luz infrarroja. A pesar de ser transparentes presentan una superficie que refleja la cantidad de luz necesaria para emitir un cambio de estado en la caja. Es por eso que se emplean los sensores infrarrojos QRD1114.

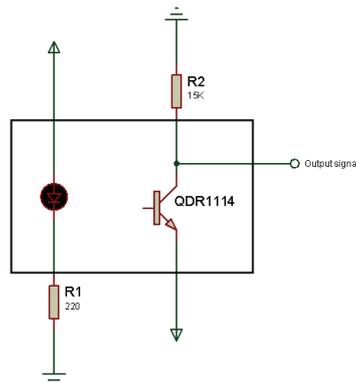


Figura 2.48 Diagrama de conexiones del sensor infrarrojo

2.6.5 PANTALLA LCD

La pantalla LCD es una interfaz visual sencilla muy utilizada. En su estructura lleva integrado una memoria ROM conocida como “generador de caracteres” que crea los patrones de la matriz de puntos para formar los caracteres en la pantalla. Además, una memoria RAM interna que almacena los caracteres y los exhibe. El controlador del LCD es el HITACHI HD44780, que se ha convertido en un estándar con funciones imitadas por la mayoría de fabricantes. [13]



Figura 2.49 Foto de una pantalla LCD 20x4

2.6.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Para el sistema implementado se requiere unas fuentes de la alimentación de la siguiente denominación:

- 5V / 6A requeridos para la parte de control sensores, servomotores, pulsantes, LCD.
- +12V / -12V / 2A para la polarización de circuitos integrados, bomba de dispensado y disco de desplazamiento
- +24V / 1A para el motor DC de la primera articulación del manipulador.

Debido a los niveles de voltaje que se requieren, se opta por colocar una fuente de computador para suplir los voltajes de +12V / -12V / +5V. Para la fuente de 24V, se realiza una por medio de un transformador, un puente rectificador, un regulador lineal.

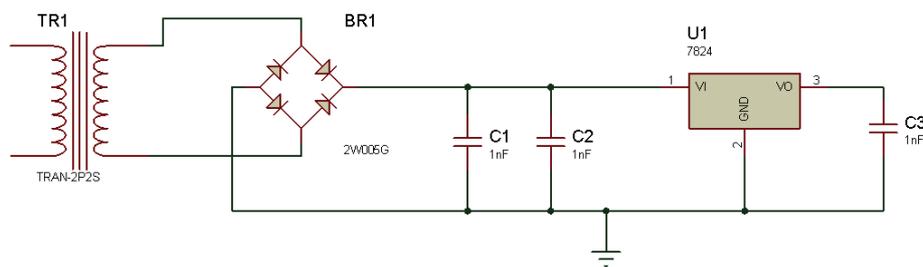


Figura 2.50 Diagrama de fuente de la 24V

2.6.7 CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA.

Se utiliza una bomba de tipo peristáltica, ya que debido a su tipo de funcionamiento, ésta no tiene contacto alguno con el fluido que pasa a través de ella. Adicionalmente, la cantidad de líquido máxima, por cada caja petri, es de 25 mililitros, es por eso que la bomba seleccionada posee las siguientes características:

- Alimentación: 12 V
- Corriente: 80 mA
- Caudal: 0-60 ml/min
- Velocidad: 0.1-100 rpm



Figura 2.51 Vistas frontal y lateral de la bomba peristáltica utilizada.

3 CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DISPENSADO AUTOMÁTICO

3.1 GENERALIDADES

En este capítulo se describe la forma como se encuentran implementados, distribuidos, conectados, he instaladas las diferentes partes que conforman el sistema robótico dispensador de medios de cultivo.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

3.2.1 Conexiones de la etapa con ATmega16

En esta sección se utiliza el Microcontrolador ATmega16 por medio del cual se realiza el control y manejo de la temporización para la esterilización con luces UV, las señales visuales, como son luces de indicación de proceso, selección del número de cajas, visualización en LCD, entrada de los controles para las variables tiempo y número de cajas.

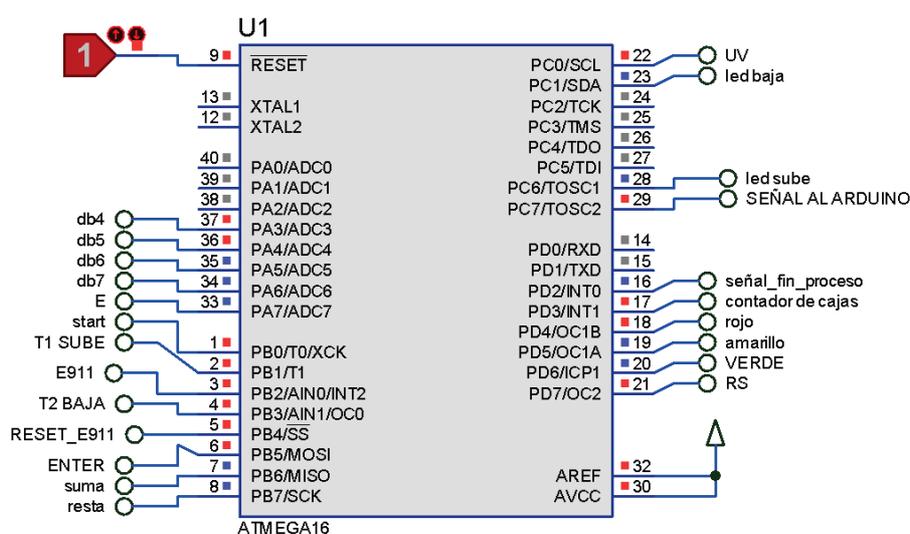


Figura 3.1 Diagrama de conexiones microcontrolador ATmega16

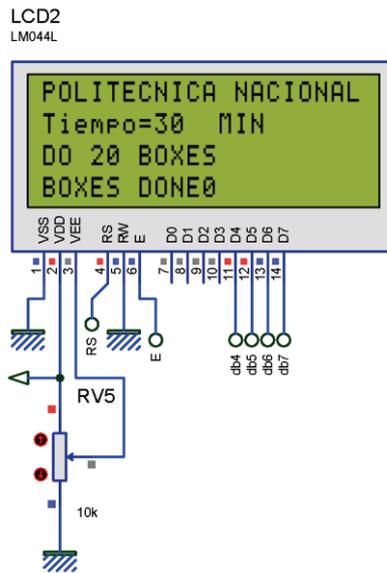


Figura 3.2 Indicador LCD de estado del proceso.

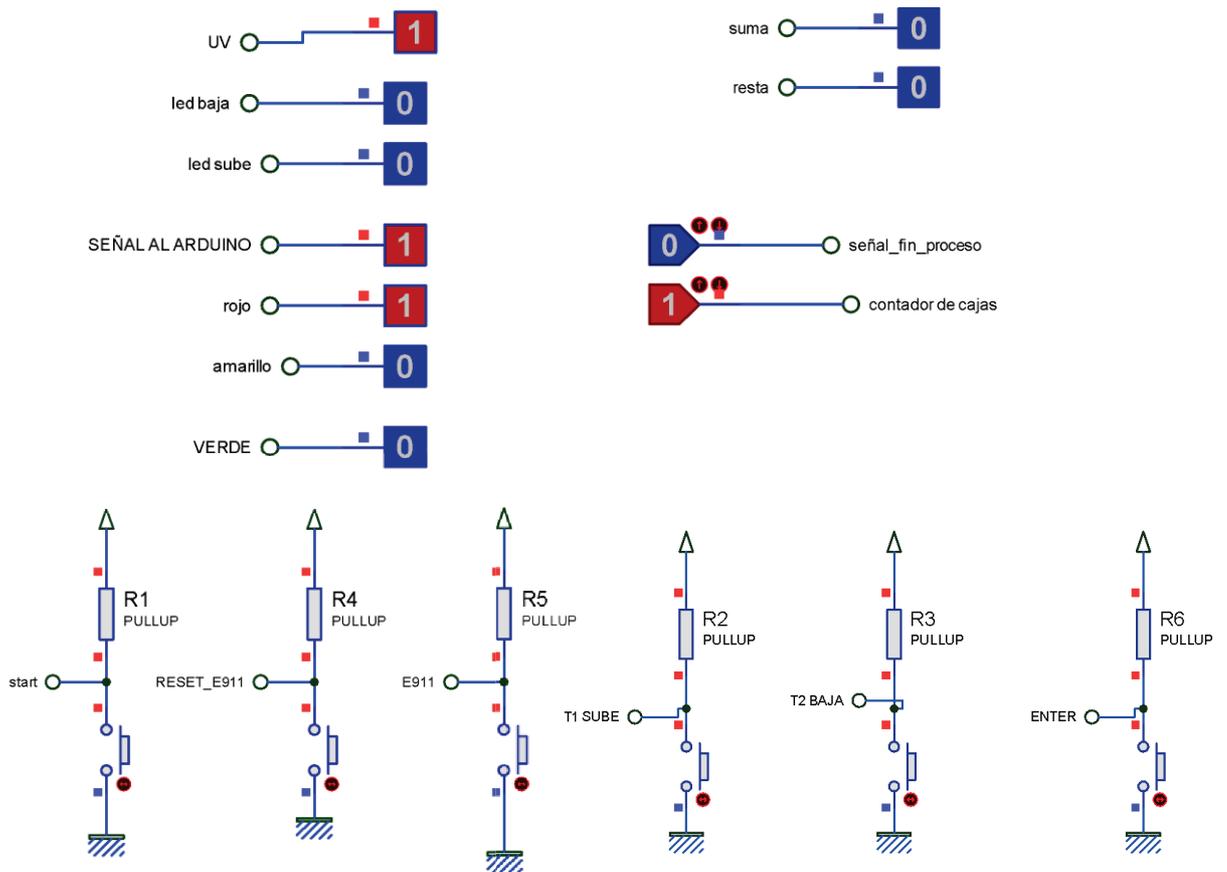


Figura 3.3 Entradas y salidas del microcontrolador

A continuación en la Tabla 3.1 se describe las conexiones ilustradas en las Figuras 3.1- 3.3:

Tabla 3.1 Pines ATmega16

Número de Pin	Puerto del Microcontrolador	Conexión
1	PB.0	Botón de Start
2	PB.1	Botón incrementa
3	PB.2	Botón de pausa de proceso
4	PB.3	Botón decremento
5	PB.4	Reset de la pausa
6	PB.5	Enter
7	PB.6	Señal de incremento al Arduino
8	PB.7	Señal de decremento al Arduino
9	RESET	Reset del sistema(Arduino y atmega16)
10	VCC	+5v
11	GND	GND
12	XTAL 2	-
13	XTAL 1	-
14	PD.0	-
15	PD.1	-
16	PD.2	Recibe señal de fin de proceso del Arduino
17	PD.3	Recibe señal para contar cajas elaboradas
18	PD.4	Luz piloto roja
19	PD.5	Luz piloto roja 2
20	PD.6	Luz piloto verde
21	PD.7	RS
22	PC.0	Activa luces UV
23	PC.1	Indicador de decremento
24	PC.2	-
25	PC.3	-
26	PC.4	-
27	PC.5	-
28	PC.6	Indicador de incremento
29	PC.7	Señal al Arduino de inicio de proceso
30	AVCC	-
31	GND	GND
33	PA.7	E
34	PA.6	Db7
35	PA.5	Db6
36	PA.4	Db5
37	PA.3	Db4
38	PA.2	-
39	PA.1	-
40	PA.0	-

Tabla 3.2 Pines correspondientes al LCD

Pines LCD	Pines Microcontrolador(Puerto)
VSS	GND
VDD	VCC
VEE	Entrada para potenciómetro
RS	PD.7
RW	GND
E	PA.7
DB0	-
DB1	-
DB2	-
DB3	-
DB4	PA.3
DB5	PA.4
DB6	PA.5
DB7	PA.6
ANODO (BACK LIGHT)	VCC (a través de resistor= 10Ω)
CÁTODO (BACK LIGHT)	GND

3.2.2 CONEXIONES DE LA ETAPA CON ARDUINO

Con el Arduino se realiza el control del proceso de dispensado en forma general. Se controla la secuencia del manipulador robótico, se realiza el control de la bomba dispensadora, se lee los sensores, se controla el disco de desplazamiento, y se recibe señales del microcontrolador ATmega16 para coordinar funciones.

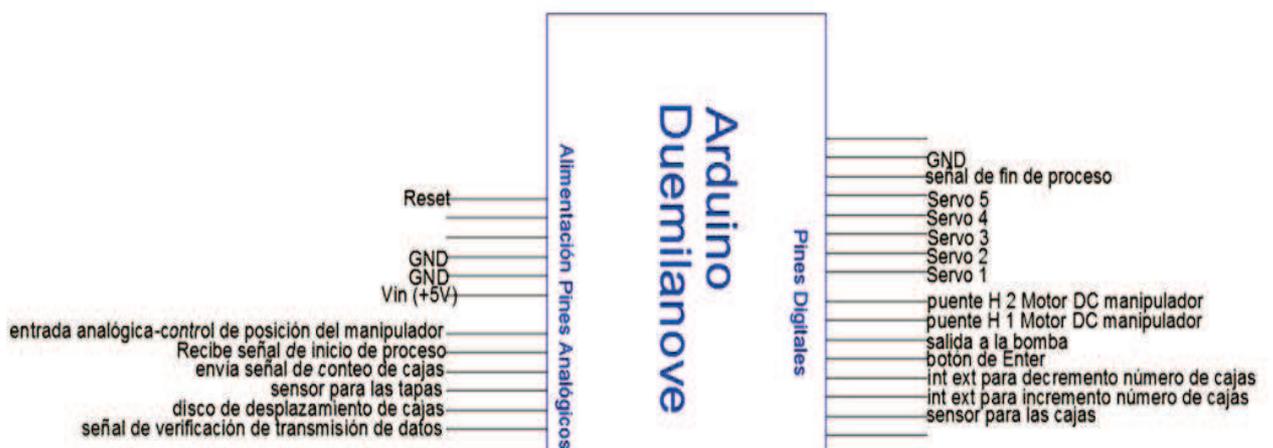


Figura 3.4 Conexiones del Arduino Duemilanove.

A continuación, en la Tabla 3.3 se describe las conexiones ilustradas en la Figura 3.4:

Tabla 3.3 Lista de conexiones del Arduino Duemilanove

Pines Arduino	Conexiones
PIN 0 (RX)	-
PIN 1 (TX)	Sensor de cajas 2
PIN 2	Incremento número de cajas
PIN 3	Decremento número de cajas
PIN4	Enter
PIN 5	Control bomba
PIN 6	Control 1 1era articulación
PIN 7	Control 2 1era articulación
PIN 8	Servo1(segunda articulación)
PIN 9	Servo 2 (tercera articulación)
PIN 10	Servo 3 (cuarta articulación)
PIN 11	Servo 4 (control efector final)
PIN 13	Servo 5 (bomba)
GND	GND
AREF	-
ANALOG IN 0 (PIN 14)	Potenciómetro control de posición del la 1era articulación
ANALOG IN 1 (PIN 15)	inicio del proceso(recibe del atmega16)
ANALOG IN 2 (PIN 16)	Envío conteo de cajas al atmega16
ANALOG IN 3 (PIN 17)	Sensor de cajas 1
ANALOG IN 4 (PIN 18)	Señal al Arduino 2 para control del disco
ANALOG IN 5 (PIN 19)	Led indicador
RESET	Reset del circuito
3V3	-
5V	-
GND	GND
GND	GND
VIN	+5V

3.2.3 CONEXIONES DE LA ETAPA DE CONTROL DEL DISCO DE DESPLAZAMIENTO

Con este Arduino adicional se realiza el control del disco que se encarga de llevar las cajas desde la torre de almacenamiento hasta la posición de dispensado.

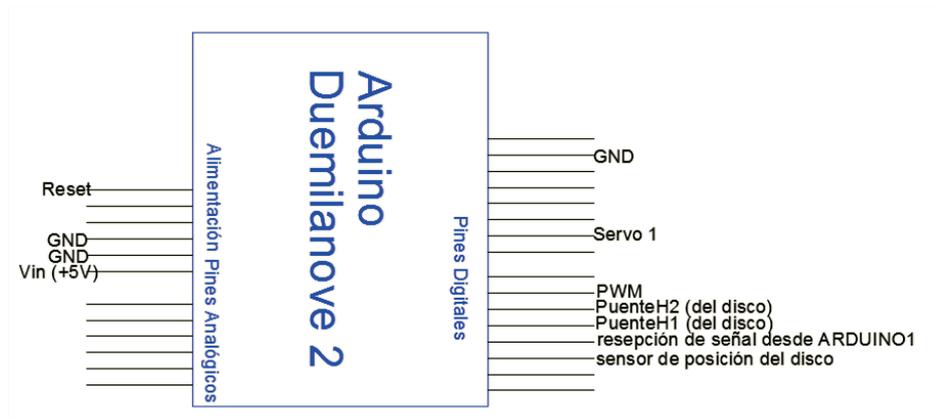


Figura 3.5 Conexiones del Arduino controlador del disco

Tabla 3.4 Lista de conexiones del Arduino controlador del disco

Pines Arduino	Conexiones
PIN 2	Sensor de posición del disco
PIN 3	Recepción de señal del Arduino1
PIN4	Puente H1
PIN 5	Puente H2
PIN 6	PWM
PIN 9	Servo (Freno)
GND	GND
AREF	-
RESET	Reset del circuito
3V3	-
5V	-
GND	GND
GND	GND
VIN	+5V

3.3 MONTAJE DE LA CÁMARA DE ESTERILIZACIÓN Y MANIPULADOR

En la cámara de esterilización se colocaron todos los elementos que conforman el sistema para realizar el proceso. Entre estos están los botones de control, los controladores, el manipulador, las luces ultravioleta, las luces piloto, y los sensores que forman parte del control del proceso.

En la pared frontal izquierda se coloca el panel de control conformado por botones, luces piloto y el LCD.

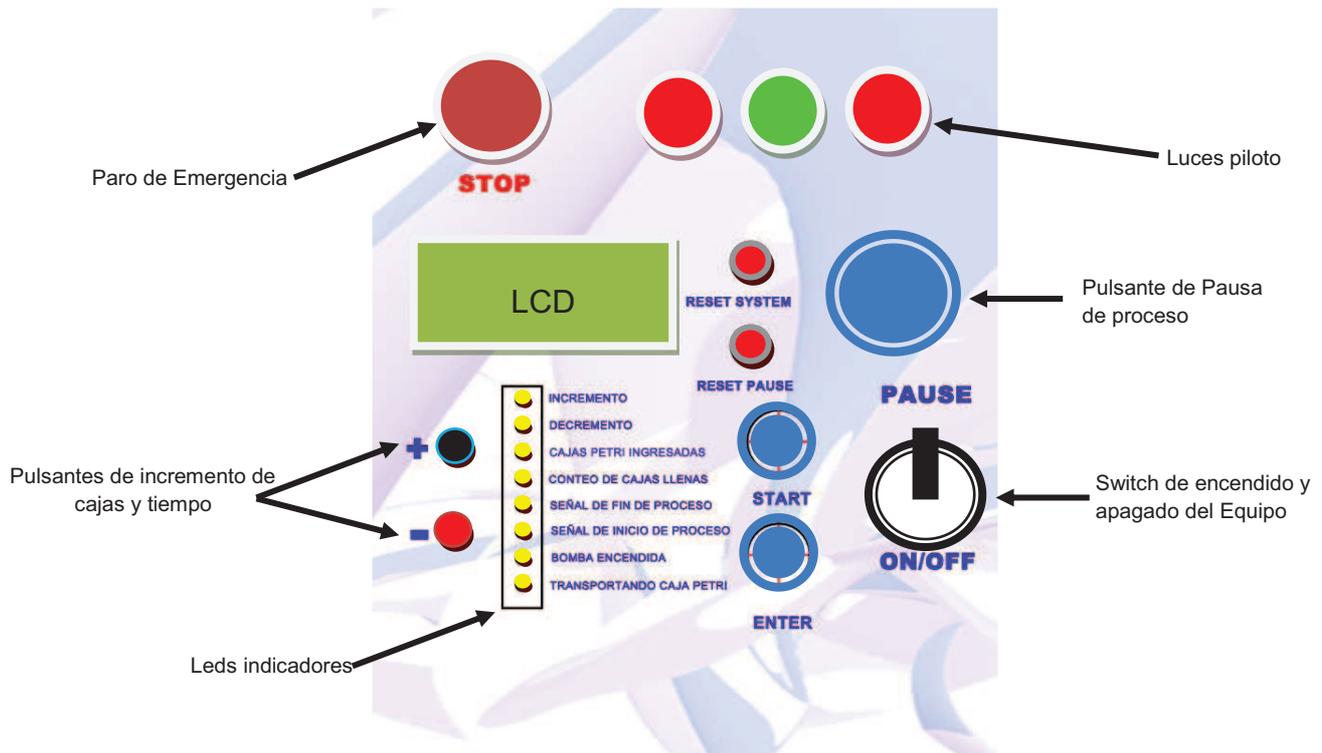


Figura 3.6 Panel de control

En la parte interior de la cámara y detrás del panel de control, se encuentra colocada la tarjeta de control, en un lugar de fácil acceso para posteriores mantenimientos.

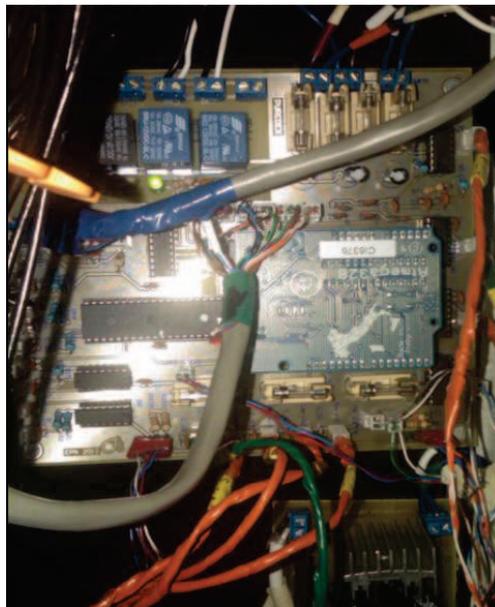


Figura 3.7 Tarjeta de control.

El manipulador se coloca dentro de la cámara a una distancia de 20cm del lugar de dispensado, esa distancia es la que necesita el manipulador debido a

sus dimensiones para poder alcanzar sin problemas las cajas petri. Además, se instalan la rampa, el disco de desplazamiento y las lámparas de luz ultravioleta para completar así el sistema descrito.

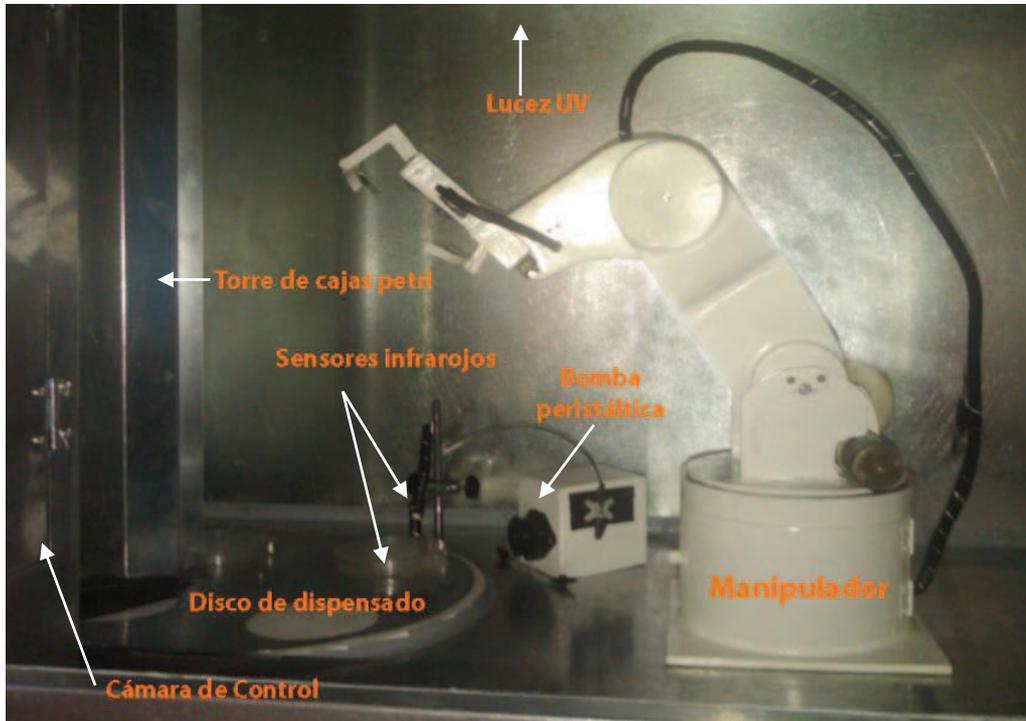


Figura 3.8 Foto interna de la distribución de elementos en la cámara de dispensado.

3.4 PLACA DE CONTROL

Para esta parte se tomó todas las conexiones expresadas anteriormente y se hizo uso del software computacional Altium Designer, que es una herramienta muy útil para poder realizar el diseño de circuitos impresos.

En el Anexo E se encuentran las conexiones realizadas para el esquemático de Altium y finalmente el paso a PCB (printed circuit board) donde se muestra el circuito impreso final.

3.5 COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO

Tomando en cuenta los valores de los elementos que conforman el sistema implementado se resume a continuación los costos de estos y el costo final de la implementación.

Tabla 3.5 Costos de implementación

ELEMENTOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	VALOR(dólares)
Arduino	1	Arduino Duemilanove	38.25
Microcontrolador	1	Atmega16	6.50
Capacitores cerámicos	30	100nF	3.00
Resistencias	20	Varios valores	0.60
Potenciómetro lineal	1	5K Ω	20.00
Potenciómetro	1	10K Ω	0.50
Regulador de voltaje	1	24V	1.50
Controlador de motores	3	L293D	2.70
Amplificadores operacionales	1	TL084	0.60
Arreglo de transistores Darlington	1	ULN2803	0.90
Diodos led	13	LED	0.65
Botón tipo hongo de emergencia	1	Tipo industrial	3.00
Botones	6	Tipo pulsador	20.00
Relé	4	12VDC, 250VAC	4
Compuertas lógicas	2	OR & NOT	1.00
Pantalla	1	LCD 20x4	9
Sócalos polarizados doble	16	-	2.50
Sócalos polarizados triples	6	-	1.50
Cartón	3	Plancha de cartón	15.39
Servomotores	4	Torque 9kg por cm	40
Microservomotores	3	Torque 1.5 kg por cm	20
Bomba	1	Bomba peristáltica	44.83
Engranajes	5	Varios tamaños	10
Madera balsa	2	Planchas largas de 9cmx80cm	14
Lijas	8	Varios tipos	2.8
Pintura	2	Pintura blanca	12

Fondo	1	Fondo blanco	7
Thiner	2	Thiner laca	15
Goma	3	Super bonder	10
Cables	4m	Cable UTP	2.25
Cables	4m	Cable multipar 6 pares	2.25
Erlenmeyer	2	De pyrex	12.78
Cajas petri	10	plásticas diámetro=9cm y alto =1.5cm	5
Masilla	2	Masilla plástica	13
Caja de Esterilidad	1	Caja de tol galvanizado	370
Tubo	2m	Tubo anillado flex negro de ½ pulg	0.40
Luces Ultravioleta	2	G30W	90
Luces piloto	3	Varios colores a 110V	5.26
Agitador	1	Agitador magnético y hot plate	180.73
Motores DC	2	Motores DC con caja reductora	30
Placa	1	Circuito impreso	100
TOTAL			1095.89

De este sencillo desglose de valores se puede observar que el costo del diseño de un equipo es relativamente alto cuando se realiza de manera independiente, y sin tomar en cuenta los costes de otros elementos utilizados para las pruebas que no fueron utilizados en la implementación final.

Además, muchas de los equipos fueron adquiridas fuera del país para tratar de reducir los costos de las partes.

4 CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las distintas pruebas realizadas para tener el mejor funcionamiento del equipo. Para esto, hay que realizar varias pruebas que permiten calibrar las posiciones del manipulador para que cubra el rango de posiciones necesarias, y acondicionamientos y filtros adecuados para evitar problemas en el desempeño del sistema.

4.2 PRUEBA DE CONTROL CON EL ARDUINO

En esta etapa se realiza la programación en el Arduino y las respectivas conexiones para poder observar el comportamiento de los motores en conjunto pero sin adaptarlos a ninguna estructura aún; y ver si se cumple las secuencias establecidas. En estas pruebas no se tuvo ningún tipo de inconveniente por lo que se pudo pasar al siguiente paso.

4.2.1 PRUEBA DE SECUENCIA DEL MANIPULADOR

Adaptando los servomotores a la estructura del manipulador para realizar las pruebas y así probar la secuencia se presentó un inconveniente, a pesar de tener motores fuertes; el servomotor de la primera articulación se empezó a fatigar hasta llegar a dejar de funcionar, obligando a cambiar este servomotor por un motor DC con caja reductora para aprovechar la fuerza que este presenta y facilitar el movimiento.

Una vez instalado el motor DC se realiza el control de este por medio de un potenciómetro lineal, dando muy buenos resultados. Pudo manejar sin problemas el peso y además tenía una velocidad aceptable para realizar el proceso.

4.2.2 PRUEBA DE SECUENCIA CON SENSORES INFRARROJOS

En esta etapa se procede a asignar acciones de la secuencia dependiendo de la señal que emiten los sensores infrarrojos.

Primero se realiza pruebas para ver si los sensores infrarrojos responden ante la caja petri, que es un objeto de plástico transparente. Gracias al tipo de sensor infrarrojo que se consideró es posible lograr detectar una señal al tener presencia o ausencia de la caja, estos sensores se activan cuando se presenta un objeto a una distancia de hasta 3mm de separación del mismo, medida que se obtuvo tras pruebas independientes realizadas al sensor.

Con estos sensores se obtiene las siguientes acciones:

Tabla 4.1 Acciones tomadas a partir de los estados de los sensores

	SENSOR CAJAS	SENSOR TAPAS	ACCIÓN
HIGH	X	X	Realiza el dispensado
LOW			
HIGH	X		Elimina la caja sin tapa
LOW		X	
HIGH			Vuelve a hacer girar el disco en busca de otra caja, solo una vez al inicio, luego finaliza el proceso.
LOW	X	X	

4.3 PRUEBAS CON EL ATMEGA16

En esta sección se describen las pruebas realizadas con el Microcontrolador ATmega16.

4.3.1 CALIBRACIÓN DEL TIMER EN ATMEGA16

Para poder contar los tiempos de esterilizado se utiliza el Timer2 que presenta el ATmega16, se utiliza el desbordamiento del Timer2 para generar una interrupción.

De esa manera para alcanzar tiempos más largos de cuenta las veces que sucede la interrupción y dependiendo el número de veces que se desea realiza una acción.

Las pruebas del Timer2 consiste en pulsando un botón inicia el Timer2 y luego de un tiempo se desactiva el Timer2 y se enciende una luz. Con esta prueba

después de hacer la calibración de los tiempos se pudo usar para dar el tiempo de esterilización.

La siguiente tabla muestra algunas de las pruebas realizadas para calibrar los tiempos. Estos tiempos fueron calibrados de acuerdo a pruebas físicas, tomando en cuenta que 100 desbordamientos del Timer2 correspondían en la realidad a 27segundos.

De donde el cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$tiempo\ deseado = \frac{\# de\ desbordamientos \times 27seg}{100\ desbordamientos} \quad (4.1)$$

Tabla 4.2 Pruebas de los tiempos de esterilización

# de desbordamientos del Timer2	Tiempo esperado en segundos	Tiempo esperado	Tiempo obtenido	Asignación usada en el programa
112	30.24	30seg	29seg	
200	54	54seg	58seg	1 min
1120	302.4	5 min	4 min-55seg	
1200	324	5min-24seg	5min-10seg	5min
2240	604.8	10 min	9min-48seg	
2300	621	10min-25seg	10min-5seg	10 min
3350	904.5	15 min	14min-43seg	
3500	945	15min-45seg	15 min-15seg	15 min
4480	1209.6	20min	19min-40seg	
4600	1242	20min-55seg	20min-40seg	20 min
5600	1512	25min	24min-51seg	
5750	1552.5	25min-57seg	25min-8seg	25 min
6700	1809	30min	29min-49seg	
6850	1849.5	30min-45seg	30min-10seg	30 min

4.3.2 PRUEBA DE SECUENCIA ATMEGA16 CON PARTE DE POTENCIA

En el ATmega16 se tiene los pulsadores de Pausa, Enter, Reset de la Pausa, Subir, Bajar, y Reset general, estos controlan la selección del número de cajas y del tiempo de esterilización.

Una vez calibrados los tiempos y la lectura de los botones de control se procede realizar pruebas de las luces indicadoras del proceso que funcionan, entonces se unifica mediante relés de 12V la parte de potencia y de control. Sin tener contratiempos las pruebas son un éxito.

4.4 COORDINACIÓN ENTRE ATMEGA16 Y ARDUINO

Se necesita coordinar las actividades entre el Arduino y el ATmega16, por lo que mediante pines de los microcontroladores se puede enviar y recibir señales entre ellos. Para esto uso las interrupciones del Arduino para poder subir y bajar el número de cajas a realizar, y se usa dos pines más para enviar las señales de fin de proceso y de la caja realizada. Esta caja realizada indica si fue llenada una caja petri. Por el lado del ATmega16 se emiten las señales de inicio de proceso, el incremento o decremento del número de cajas a realizar. Con estas acciones se procede a coordinar las acciones del proceso de dispensado.

Al momento de realizar el incremento o decremento del número de cajas se tuvo el inconveniente de la presencia de rebotes al momento de presionar los botones que controlaban este sistema, lo que se solucionó por software, usando dos puertos de salida del ATmega16 para enviar la señal Al Arduino, que a su vez se le colocó un pequeño retarde dentro la rutina de interrupción para evitar la lectura de los pulsos extras en el conteo.

4.5 PRUEBA DE MANIPULACIÓN DE CAJA PETRI

En esta sección solamente se realiza la calibración de la pinza del manipulador con el tamaño de la caja petri. El único inconveniente que este pudo haber presentado fue que se necesitaba dos ángulos distintos para atrapar ya sea la tapa o la caja completa.

4.6 CALIBRACIÓN DE ÁNGULOS DEL MANIPULADOR

En la etapa de calibración de ángulos del manipulador se procede ya dentro de la cámara de dispensado. Esto se pudo hacer ya con las demás partes instaladas previamente. De esa manera se comienza por ver los límites que se nos presentan físicamente para poder realizar el dispensado y la limitación que aparece al tomar la caja llena de fluido. Para evitar este inconveniente en una parte de la secuencia de elevación se calibra de tal manera que la caja quede siempre en posición horizontal evitando derrames del medio de cultivo.

Las pruebas en general se realizaron sin fluido para evitar problemas en las pruebas previas ya incluyendo el fluido.

4.7 PRUEBAS FINALES DEL SISTEMA

Las pruebas del funcionamiento del sistema se realizaron al mismo tiempo que se obtenía las muestras para las pruebas de esterilidad. De esa manera se comprueba el funcionamiento en conjunto de todas las partes del equipo.

4.7.1 PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN

Para este punto de las pruebas del sistema se tuvo que llevar al equipo hacia James Brown Pharma, que son los encargados de certificar el proceso de esterilizado del equipo.

Se realizan pruebas con distintos tiempos de esterilización para verificar cuales son los tiempos necesarios para poder eliminar en su totalidad los microorganismos.

Luego de realizar el proceso de dispensado en cada uno de los tiempos, se deja durante 48 horas a una temperatura de 37°C, para de esa manera poder ver en cuál de las cajas se obtiene crecimiento microbiológico y comprobar el funcionamiento del equipo.

Tabla 4.3 Tiempos y resultados obtenidos de la esterilización

TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN	NÚMERO DE CAJAS	RESULTADOS
SIN ESTERILIZACIÓN	5	20 UFC ¹
5 MINUTOS	5	15 UFC
11 MINUTOS	5	13 UFC
15 MINUTOS	5	8 UFC
20 MINUTOS	5	0 UFC

Como indica la Tabla 4.3 se puede observar que al minuto 15 ya casi no se presenta crecimiento de microorganismos, por lo que al tiempo 20 ya no se tiene rastros de estos.

De esa manera se certifica la capacidad de esterilización del equipo. Además se indica en el Anexo D el certificado de Esterilidad otorgado por la Empresa James Brown Pharma.



Figura 4.1 Pesaje del agar para preparar 500ml de medio de cultivo

¹ UFC.- Unidades formadoras de colonia. La prueba se desarrolló con Trypticase soy agar, que es un medio de cultivo no selectivo.



Figura 4.2 Disolución del agar en agua previamente calentada

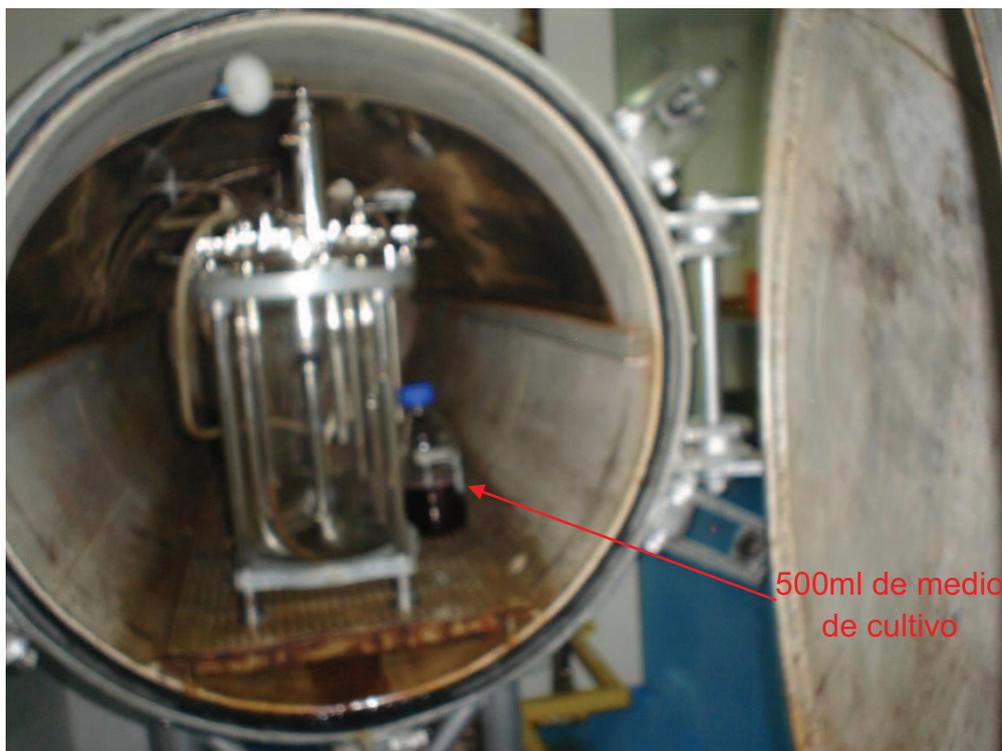


Figura 4.3 Ingreso del agar disuelto al autoclave



Figura 4.4 Robotic Petri Filler realizando el proceso de dispensado



Figura 4.5 Manipulador depositando caja petri llena

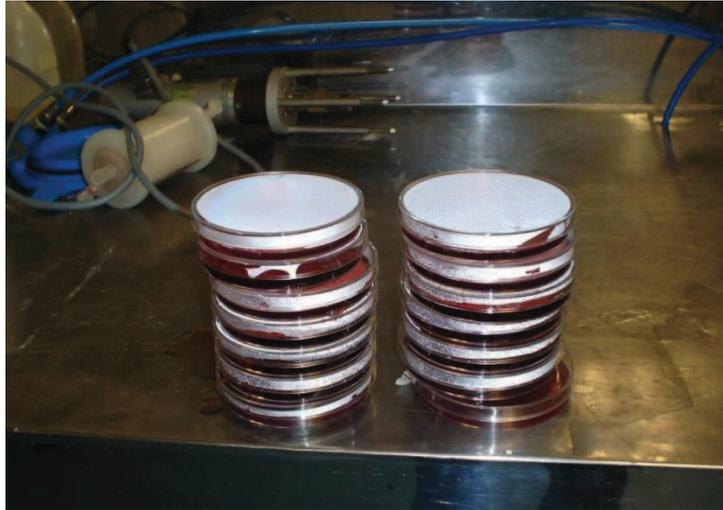


Figura 4.6 Cajas petri llenas y fuera del equipo.

5 CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El objetivo inicial del presente proyecto fue el de construir un equipo que a través de un manipulador robótico pudiera reemplazar el trabajo de un laboratorista al momento de realizar el dispensado de medios de cultivo para bacterias. Para ello se dispuso del diseño de una cámara que encierre el sistema herméticamente y que, a base de luz ultravioleta, esterilice el ambiente dentro de la cámara para que el manipulador realice el manejo de cajas petri y así facilitar el dispensado del medio de cultivo. Con la experiencia adquirida durante el proceso del diseño y construcción del equipo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Para poder realizar un equipo en el que intervengan componentes mecánicos se requiere mucha información de fondo, ya que es necesario saber cómo se comportan los materiales implicados en el diseño, la relación de fuerzas respecto a los movimientos que se desea hacer, como se va a dar continuidad a los movimientos, entre otros. Por esto, lo mejor es primero realizar el diseño completo de todos los elementos trabajando en conjunto para poder obtener valores razonables sobre las variables de diseño y no tener que corregir al momento de la construcción.
- La ventaja que este equipo presenta es que puede realizar el proceso de manera continua, sin riesgo de fatiga, lo que normalmente le sucedería a un operador. Así también se tiene la confianza de tener un sistema completamente estéril y que no pone en riesgo al operador. Ya que el operador no entra en contacto con la luz ultravioleta. Además, el equipo solamente necesita la intervención del operador para encender el sistema, ingresar el número de cajas petri que se desea llenar, ingresar el tiempo de esterilización, iniciar el proceso de dispensado y al final de todo el proceso, retirar las cajas petri llenas con el medio de cultivo.

- La luz ultravioleta (UV) es una herramienta que, a pesar de su naturaleza peligrosa para las personas, usándola de una manera controlada y cuidadosa se vuelve muy útil para diversas aplicaciones. En este caso, para la esterilización de la cámara, obteniendo así un sistema de mucha utilidad y protegiendo la integridad de los operadores.
- El uso del sistema Arduino facilitó de una manera enorme el control del manipulador robótico, debido a la gran variedad de funciones integradas que éste posee y a las librerías que se actualizan de manera continua. Además, presenta un entorno muy amigable con el usuario, y una gran cantidad de información a la cual se puede acceder. Además del ahorro de espacio que este permite, gracias a su cómoda presentación.
- Dentro de la construcción de todo tipo de equipos, especialmente en las partes móviles, el uso de componentes mecánicos como rodamientos, ejes, engranajes, guías, y varias piezas más, su importancia radica en que se pueden reducir esfuerzos, aumentar velocidades, guiar movimientos, reducir el número de actuadores en ciertas actividades, siendo una manera de ahorrar en los diseños.
- Respecto a las partes que se requiere para armar un equipo, éstas están directamente relacionadas a los requerimientos del programa de control, siendo así que, según el control se vuelva más complejo, estos requerimientos se irán complicando de la misma manera.
- El aislamiento del ruido, que se induce en los componentes electrónicos, es un punto que no se puede dejar a un lado, ya que de la fuente de ruido que se tenga dependerá el correcto o incorrecto desenvolvimiento del sistema implementado. Es por eso que se debe buscar la manera de aislar toda fuente de ruido, asegurarse de eliminar el mayor porcentaje de ruido. si el sistema se va a encontrar en un ambiente con estas características. Esto especialmente en lo que se refiere a sistemas controlados por sistemas microprocesados.

- En el diseño del manipulador, se consideró la cinemática inversa, ya que ésta brinda la facilidad de que al tener las posiciones deseadas para la ubicación del último eslabón, se pueden encontrar los ángulos que se necesita girar para lograr el posicionamiento deseado. Obteniendo de esta manera una ayuda para facilitar el control del manipulador.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al utilizar luz ultravioleta para el esterilizado, o para cualquier aplicación, siempre es muy importante mantener una distancia adecuada de la radiación, o a su vez, cubrir la fuente emisora de luz UV, de tal forma que no se tenga contacto alguno.
- Es muy importante tomar en cuenta la fuerza que deben realizar las articulaciones de un motor, para de esa manera poder escoger el motor adecuado para desarrollar sus actividades. Para el caso de aplicaciones pequeñas es suficiente el uso de servomotores.
- Es muy importante seguir las instrucciones de uso del equipo que se encuentran mencionadas en el Anexo A, para de esa manera evitar problemas de daños al sistema como falla en los motores, problemas en la calibración del equipo, errores al ingreso de los datos, y además los problemas relacionados con el operador. Estos conciernen a los efectos producidos por la luz UV como conjuntivitis y radiodermatitis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Guillamas C; Gutiérrez E.; y otros. “Higiene del medio hospitalario y limpieza de material”. Editorial EDITEX, S.A. España.
- [2] Wate Treatment Solutions; LENNTECH. “Información de la Luz ultravioleta”. Disponible en <http://www.lenntech.es/uv-informacion.htm>
- [3] Lupal, M. “Luz Ultravioleta ofrece desinfección confiable”. Disponible en http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/luz_ultravioleta.htm
- [4] Ponce Ochoa, E. “Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada”. Cholula, Puebla, México. Mayo 2005. Disponible en:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo_7.pdf
- [5] ECONEXT. “UV ofrece seguridad en desinfección”. Disponible en http://www.elaguapotable.com/UV_OFRECE_SEGURIDAD_EN_DES.pdf
- [6] Universidad Nacional de Entre Ríos. “Radiaciones no ionizantes”. Capítulo 7. Argentina 2009. Disponible en:
<http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/Descargas/Unidad7.pdf>
- [7] U.S. Environmental Protection Agency. “Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule”. EPA 815-R-06-007. November del 2006.
- [8] Ortega Cárdenas, G. “Desinfección de agua residual tratada mediante luz ultravioleta de presión media, alta intensidad y longitud de onda múltiple”. Ingeniería y Proyectos. GERM-EX, S.A. Naucalpan, Estado de México.
- [9] Training Tec.ISPA. “Información sobre radiación UV germicida”. Córdoba, Argentina.
- [10] Barrientos, A; Peñín, L; y otros. “Fundamentos de Robótica”. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. España. 2007.
- [11] Navarro Narvaez, N; “Modelado Cinemático y Dinámico de un Manipulador de 5 Grados de Libertad Articulado Verticalmente”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Marzo 2011

- [12] ARÉVALO, P; HERRERA, S. *Diseño, Construcción, y Control de un robot industrial con arquitectura Antropomórfica dotado con Visión Artificial*. Escuela Politécnica Nacional, 2010
- [13] OTERO VALLESTEROS, P. *Diseño y Construcción de una Balanza Electrónica con una Interfaz Gráfica para la Visualización*. Escuela Politécnica Nacional, Noviembre, 2007
- [14] LABORATORIOS LINSAN S.A. *Manual Microdiagnóstica*. Santiago, Chile. Disponible en:
http://www.lablinsan.cl/manual/MANUAL_PARTE_3.pdf
- [15] ERTOLA, R; YNTORNO, O; MIGNORE, C. *Microbiología Industrial*. Capítulo 4. Disponible en:
http://www.redhucyt.oas.org/OcyT/Simbio/mbio_ind/mbio_ind.htm
- [16] PORTAL EDUCATIVO EDUCA MADRID. *Clasificación de los Medios de Cultivo*. Microbiología. Disponible en:
http://www.educa2.madrid.org/cms_tools/files/0e8a6919-7eeb-423f-9fa8-b9c866aab3ff/Medios%20de%20cultivo.pdf
- [17] OLLERO BATURONE, A. *Robótica, Manipuladores y Robots Móviles*. Editorial MARCOMBO, S.A. 2001
- [18] SANDIN, P. *Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated*. Editorial McGraw-Hill. 2003
- [19] *Página oficial de Arduino*. Disponible en:
<http://arduino.cc/es/Main/arduinoBoardDuemilanove>
- [20] DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. *Servomotores*. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile. Diciembre 2003
- [21] QUIMINET. *Principio del Funcionamiento de las Bombas Peristálticas*. Diciembre 2008. Disponible en:
<http://www.quiminet.com/articulos/principio-del-funcionamiento-de-las-bombas-peristalticas-32722.htm>
- [22] MAESTRE, J.M; VICARIA FLORES, J.A; CAMACHO, E. F. *Control de Robot Manipulador mediante Wiimote*. Comité Español de Automática (CEA). Disponible en:
http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXVIII/documentos/1441-manipulador_wiimote.pdf
- [23] ATMEL. *Microcontroler ATmega16*. Disponible en:

- <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2466S.pdf>
- [24] RUIZ, J; Robótica: Estado del Arte, Universidad de Deusto. Disponible en: http://www.academia.edu/913608/Robotica_Estado_del_arte
- [25] Bueno; A. “Control y Robótica” Disponible en:
http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html
- [26] RAMSU Robot. “Servomotores.” Disponible en:
<http://ramsurobot.blogspot.com/2008/08/servomotores.html>
- [27] Autodesk Inventor Professional 2012. Información disponible en:
<http://latinoamerica.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=14601337&siteID=7411870&mktvar004=463857>
- [28] SOMMER III; H.J. “Student Biographies of Famous Kinematicians and Dynamicist“. The Pennsylvania State University 2006 Disponible en:
http://www.mne.psu.edu/sommer/me581/bio_Sp06.pdf
- [29] GAVILÁN, M.E; MUÑOZ, J. “Simulación por Dinámica Molecular del Movimiento de un Trompo Pesado”. Universidad Nacional de Colombia. Abril 2006. Disponible en:
http://revcolfis.org/publicaciones/vol38_1/articulos/pdf/3801417.pdf
- [30] GRUPO DE AUTOMÁTICA, ROBÓTICA Y VISIÓN ARTIFICIAL. Universidad de Alicante. “Cinemática inversa, Concepto teórico” disponible en:
http://www.disclab.ua.es/robolab/EJS2/RRR_Intro_3.html
- [31] MEDLINE PLUS, Servicio de la Biblioteca Nacional de Estados Unidos. Disponible en:
<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002230.htm>

Anexo A

Instrucciones de operación del equipo

El equipo Robotic PetriFiller 2001 fue diseñado de manera que su operación sea muy sencilla, y para que cualquier persona pueda acceder a su manejo. De esta forma se presenta a continuación una serie de pasos necesarios para lograr el funcionamiento adecuado del equipo.

- 1) Primero se hace el reconocimiento del panel de control, por medio del cual se configurará el sistema.

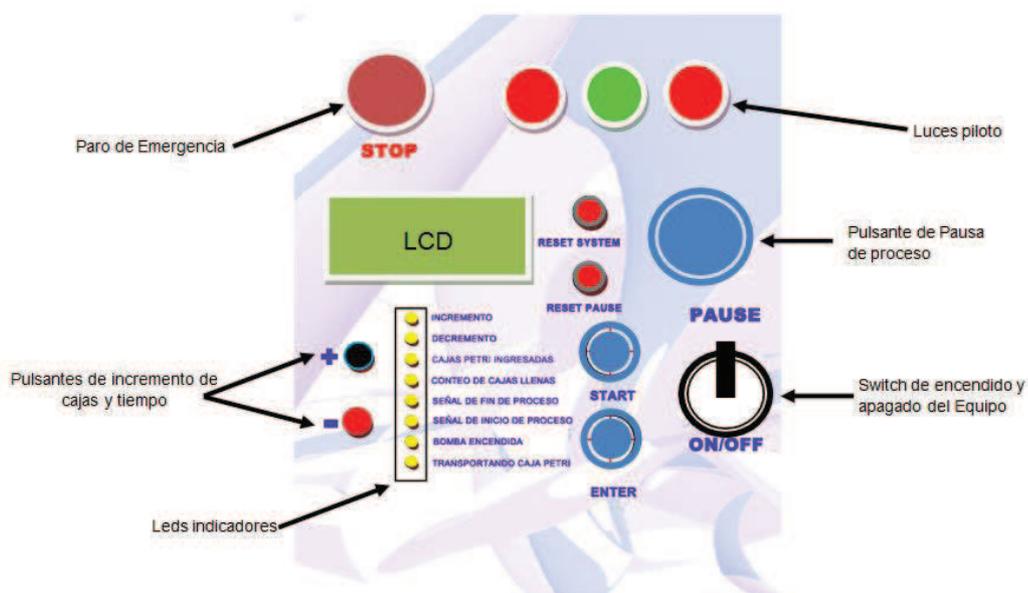


Figura A- 1 Panel de Control

- 2) Encender el interruptor que alimenta el sistema



Figura A- 2 Interruptor que enciende el sistema

- 3) Esperar que el sistema se encienda y se estabilice, El sistema indica que se encuentra listo para ser usado a través del parpadeo del led de recepción del dato ubicado en el panel de control.

Una vez estabilizado el sistema que no toma más de unos segundos, se procede a la selección del número de cajas. El número de cajas puede ir entre 0 y 20 cajas petri. Para este paso se utiliza los botones de más (+) y menos (-) ubicados en el panel de control, que se indican en la Figura A-1 como pulsantes de incremento de cajas y tiempo.

Nota:

Estos botones deben ser presionados de una forma no muy rápida, se debe esperar que cambie el número de cajas para poder volver a presionarlos. Además, existe un led que indica si la caja fue ingresada exitosamente, si el led indicado no parpadea es señal de que la caja no fue tomada en cuenta.

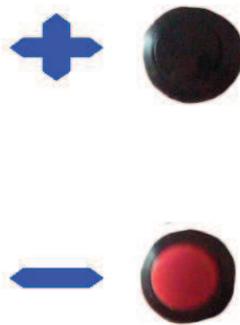


Figura A- 3 Botones de selección del número de cajas.

- 4) Una vez seleccionado el número de cajas que se desea utilizar, se presiona el botón de ENTER.

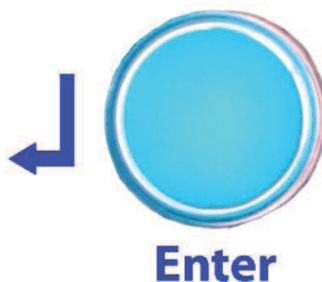


Figura A- 4 Botón ENTER

- 5) Luego de presionar ENTER, se puede acceder a la siguiente función que consiste en la selección del tiempo de esterilizado. Este tiempo será indicado en la pantalla LCD del panel y puede tomar valores como 1, 5, 10, 15, 20, 25, y 30 minutos. El tiempo mínimo recomendado para tener una esterilización óptima es de 20 minutos. Los tiempos bajo el tiempo recomendado son en caso de existir una pausa y tener que reiniciar el sistema. Colocar solamente valores bajos para poder iniciar nuevamente el proceso. Hay 3 tiempos bajo los 15 minutos tomando en cuenta para pausas no muy prolongadas. Si el tiempo de contaminación es muy grande se recomienda volver a realizar la esterilización.

Para la selección del tiempo de esterilización se usa los mismos botones de más (+) y menos (-). En este caso no es necesario presionar ENTER para aceptar la selección, y basta con presionar el botón de START, que es el que inicia el proceso.



Figura A- 5 Botón START

Una vez presionado START, las lámparas UV se encienden dando paso al proceso de esterilización. El tiempo que las lámparas van a estar encendidas es el tiempo seleccionado previamente, por lo que es recomendable mantener cierta distancia de la luz UV para evitar problemas relacionados con la piel y la vista. Pero manteniendo una buena distancia durante el periodo de esterilización es suficiente.

Al terminar la esterilización, inmediatamente se envía la orden para comenzar el proceso del llenado de las cajas.

Nota:

Las puertas del equipo no deben ser abiertas por ningún motivo, a menos que exista una emergencia de por medio. Para esto existen 3 maneras de parar el proceso.

- a) Presionando el botón de PAUSA: que pone un estado de espera (stand by) al proceso. Además, se muestra en el LCD un mensaje indicando el estado del sistema y luces rojas que se encienden y apagan para indicar que el proceso ha sido detenido.

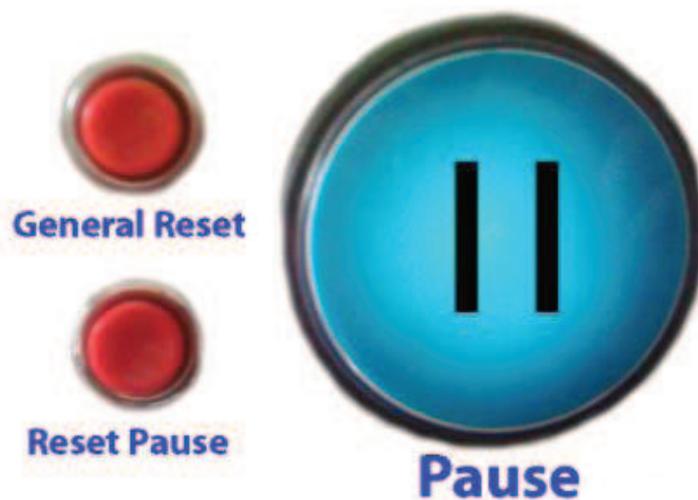


Figura A- 6 Botón de PAUSA Y RESET PAUSA



Figura A- 7 Pantalla LCD en estado de PAUSA

Para salir del estado de PAUSA basta con mantener presionado el botón de RESET PAUSA. Una vez en la pantalla principal se procede a configurar el tiempo de esterilización nuevamente y a presionar START para regresar al proceso.

- b) Abriendo las puertas del equipo: esta acción tiene exactamente el mismo efecto que el botón de PAUSA, y para salir de éste, se procede de la misma manera que en el punto anterior.
- c) Presionando el botón de paro de emergencia: en este caso si la emergencia fue inesperada, este botón quita la fuente de energía, apagando por completo el sistema.

Para salir de este modo, se debe quitar el bloqueo que presenta este botón y de esa manera volver a configurar desde el principio el proceso.



Figura A- 8 Botón de paro de emergencia

Anexo B

Microcontrolador ATmega16

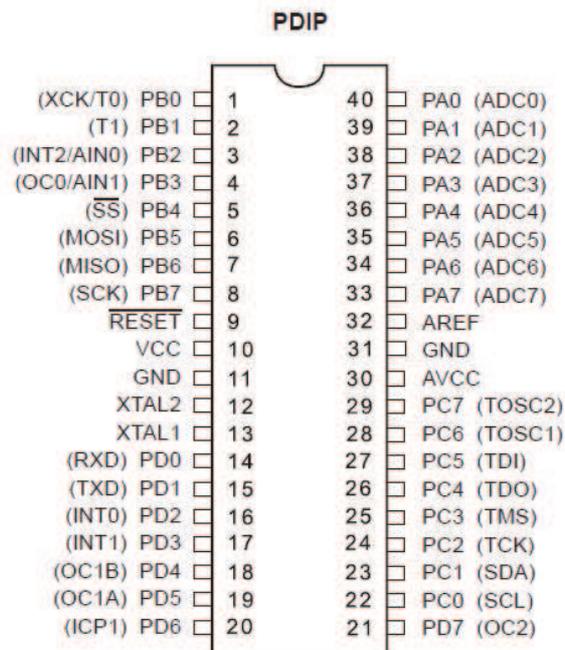


Figura B- 1 Distribución de pines del microcontrolador

Features

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
 - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash

Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles

- Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits In-System Programming by On-chip Boot Program

True Read-While-Write Operation

- 512 Bytes EEPROM

Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles

- 1K Byte Internal SRAM
- Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture

Mode

- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Four PWM Channels
- 8-channel, 10-bit ADC

8 Single-ended Channels

7 Differential Channels in TQFP Package Only

2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x

- Byte-oriented Two-wire Serial Interface
- Programmable Serial USART
- Master/Slave SPI Serial Interface

- Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby
and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
 - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
 - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
 - 0 - 8 MHz for ATmega16L
 - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
 - Active: 1.1 mA
 - Idle Mode: 0.35 mA
 - Power-down Mode: < 1 μ A

Anexo C

Especificaciones de los actuadores

C.1. Motores

C.1.1 Características de Servomotor HK15288A



Figura C- 1 Servomotor HK15288A

HK15288A Analog BB/MG Servo

Especificaciones:

- Torque: 9kg @ 4.8v, 8kg @ 6v
- Weight: 51g
- Speed: 0.21 / 60deg @ 4.8v, 0.20 / 60 deg @ 6v
- Voltage: 4.8v~6v
- Plug: JR style

Características:

- Metal Gears
- Dual Ball-race

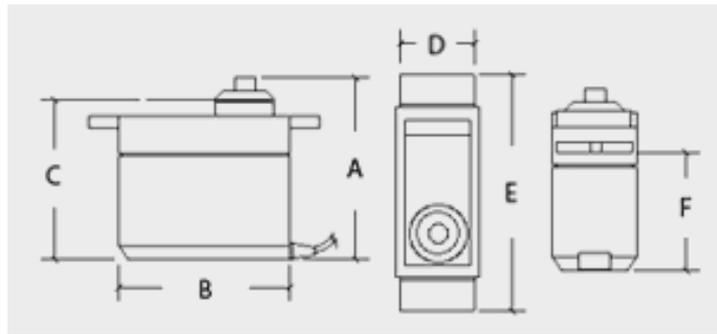


Figura C- 2 Dimensiones del servomotor HK15288A

Tabla C- 1 Tabla de dimensiones del servomotor HK15288A

Dimensiones	
A(mm)	44
B(MM)	40
C(mm)	39
D(mm)	20
E(mm)	54
F(mm)	27

C.1.2 Características de Servomotor HK928BB



Figura C- 3 Servomotor HK928BB

Especificaciones:

- Torque: 1.5kg @ 4.8v, 1.2kg @ 6v
 - Weight: 25g
 - Speed: 0.21 / 60deg @ 4.8v, 0.20 / 60 deg @ 6v
 - Voltage: 4.8v~6v
- Plug: JR style

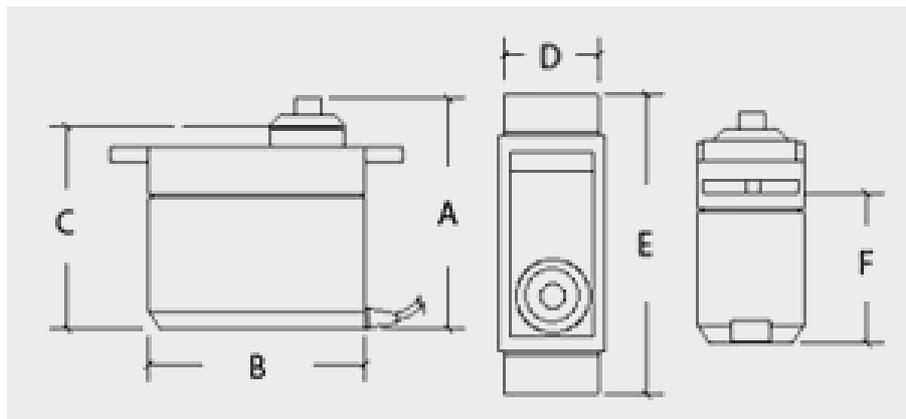


Figura C- 4 Dimensiones del servomotor HK928BB

Tabla C- 2 Tabla de dimensiones del servomotor HK928BB

Dimensiones	
A(mm)	29
B(MM)	20
C(mm)	25
D(mm)	9
E(mm)	29
F(mm)	19

C.1.3 Motor DC de la articulación del manipulador



Figura C- 5 Motor DC para la primera articulación

Modelo: GM8212D027-R1

Marca: PITTMAN

Características:

- MOTOREDUCTOR DE CORRIENTE DIRECTA
- DE 24 VDC,
- RATIO DE 297.5:1 Y UNA FLECHA EN PARALELO DE 3/16(1-B)

C.1.4 Motor DC para el disco



Figura C- 6 Motor DC para el disco

Características:

- MOTOREDUCTOR DE CORRIENTE DIRECTA DE 12 V
- RATIO DE 19:1
- 500 RPM
- 5A

C.2 Sensores

C.2.1 Sensor infrarrojo QRD1114



Figura C- 7 Sensor infrarrojo QRD1114

Tabla C- 3 Rangos Máximos Absolutos a 25°C

Symbol	Parameter	Rating	Units
T_{OPR}	Operating Temperature	-40 to +85	°C
T_{STG}	Storage Temperature	-40 to +100	°C
T_{SOL-I}	Lead Temperature (Solder Iron) ^(2,3)	240 for 5 sec	°C
T_{SOL-F}	Lead Temperature (Solder Flow) ^(2,3)	260 for 10 sec	°C
EMITTER			
I_F	Continuous Forward Current	50	mA
V_R	Reverse Voltage	5	V
P_D	Power Dissipation ⁽¹⁾	100	mW
SENSOR			
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	30	V
V_{ECO}	Emitter-Collector Voltage		V
P_D	Power Dissipation ⁽¹⁾	100	mW

Tabla C- 4 Características Eléctricas y Ópticas

Electrical/Optical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
INPUT (Emitter)						
V_F	Forward Voltage	$I_F = 20\text{mA}$			1.7	V
I_R	Reverse Leakage Current	$V_R = 5\text{V}$			100	μA
λ_{PE}	Peak Emission Wavelength	$I_F = 20\text{mA}$		940		nm
OUTPUT (Sensor)						
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown	$I_C = 1\text{mA}$	30			V
BV_{ECO}	Emitter-Collector Breakdown	$I_E = 0.1\text{mA}$	5			V
I_D	Dark Current	$V_{CE} = 10\text{V}, I_F = 0\text{mA}$			100	nA
COUPLED						
$I_{C(ON)}$	QRD1113 Collector Current	$I_F = 20\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}, D = .050^{(6,8)}$	0.300			mA
$I_{C(ON)}$	QRD1114 Collector Current	$I_F = 20\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}, D = .050^{(6,8)}$	1			mA
$V_{CE(SAT)}$	Collector Emitter Saturation Voltage	$I_F = 40\text{mA}, I_C = 100\mu\text{A}, D = .050^{(6,8)}$			0.4	V
I_{CX}	Cross Talk	$I_F = 20\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}, E_E = 0^{(7)}$.200	10	μA
t_r	Rise Time	$V_{CE} = 5\text{V}, R_L = 100\Omega, I_{C(ON)} = 5\text{mA}$		10		μs
t_f	Fall Time			50		μs

C.2.2 Sensor infrarrojo TCRT5000

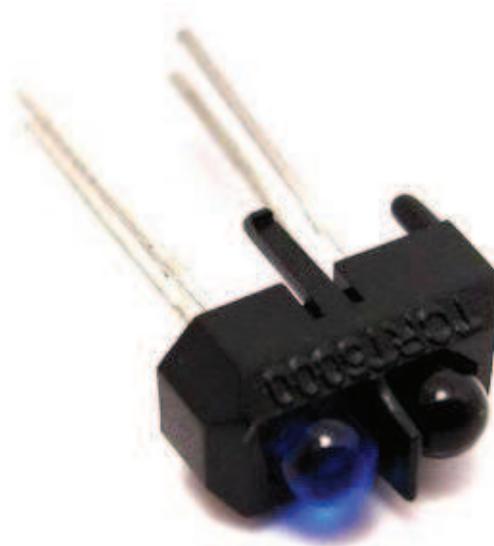


Figura C- 8 Sensor infrarrojo TCRT5000

APLICACIONES

- Sensor de posición para encoder.
- Detección de material reflectante como papel, tarjetas de IBM, cintas magnéticas.
- Final de carrera para los movimientos mecánicos en VCR.
- Uso general donde el espacio es limitado.

CARACTERÍSTICAS

- Tipo de detector: fototransistor
- Distancia máxima de funcionamiento: 2,5mm
- Emisor de longitud de onda: 950nm
- Cumple con las normas RoHS directiva 2002/95/EC y de acuerdo a WEEE 2002/96/EC

Tabla C- 5 Resumen del producto

PRODUCT SUMMARY				
PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR _{rel} (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE I _{out} > 20 % (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

Tabla C- 6 Características eléctricas TCRT5000-1

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT (EMITTER)				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Forward surge current	t _p ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	P _V	100	mW
Junction temperature		T _J	100	°C

Tabla C- 7 Características eléctricas TCRT5000-2

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
OUTPUT (DETECTOR)				
Collector emitter voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter collector voltage		V _{ECO}	5	V
Collector current		I _C	100	mA
Power dissipation	T _{amb} ≤ 55 °C	P _V	100	mW
Junction temperature		T _J	100	°C
SENSOR				
Total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	P _{tot}	200	mW
Ambient temperature range		T _{amb}	- 25 to + 85	°C
Storage temperature range		T _{stg}	- 25 to + 100	°C
Soldering temperature	2 mm from case, t ≤ 10 s	T _{sd}	260	°C

C.2.3 Potenciómetro lineal



Figura C- 9 Potenciómetro lineal

CARACTERÍSTICAS:

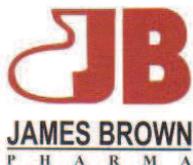
- Completamente sellado para alta inmunidad a los daños medioambientales
- Excelente estabilidad de la temperatura
- La vida útil de rotación superior a los 2 millones de revoluciones
- Bajo costo y la amplia gama de opciones
- Eje en acero inoxidable
- Shock G a 30 G de vibración a 15 de 10 a 2000 Hz

Tabla C- 8 Especificaciones Eléctricas

ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
PARAMETER	
Standard Resistance	1 k Ω to 100 k Ω
Capability Range	200 k Ω
Resistance Tolerance	$\pm 20\%$
Linearity	$\pm 2\%$
Power Rating	1.0 W at 85 °C
Electrical Travel	240° \pm 4°
Dielectric Withstanding	500 V _{RMS} at 60 Hz minimum
Output Smoothness	0.2 % maximum

Anexo D

Informe de esterilidad de JAMES BROWN FARMA



A quien corresponda:

Yo, Carlos Palacios Valdivieso, Jefe de producción de biológicos de James Brown Pharma certifico que:

Robotic Petri Filler 2001, diseñado y construido por Luis Rodrigo Paredes Ayala estudiante de la Escuela Politécnica Nacional, equipo planteado para realizar el dispensado de medios de cultivo para crecimiento bacteriano, cumple con las condiciones de funcionamiento, los estándares de esterilidad establecidos y requerimientos dispuestos por la compañía; luego de haber realizado las pruebas respectivas del equipo y analizado los resultados en las instalaciones de nuestra empresa.

Con el afán de los efectos oportunos, expido el presente certificado, para corroborar los resultados de funcionamiento del Robotic Petri Filler 2001, en Pífo al 7 de Enero del 2013.

A continuación se presenta una tabla de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN	NÚMERO DE CAJAS	RESULTADOS
SIN ESTERILIZACIÓN	5	20 UFC*
5 MINUTOS	5	15 UFC
10 MINUTOS	5	13 UFC
15 MINUTOS	5	8 UFC
20 MINUTOS	5	0 UFC

- UFC.- Unidades formadoras de colonia. La prueba se desarrolló con Tripticase soy agar, que es un medio de cultivo no selectivo.

Estos datos representan los resultados obtenidos al momento de las pruebas realizadas, comprobando los tiempos que se requiere para la esterilización.

Atentamente,


 Firma y sello AUTORIZADA



Anexo E

Esquemáticos de Conexiones Eléctricas de la Placa de Control

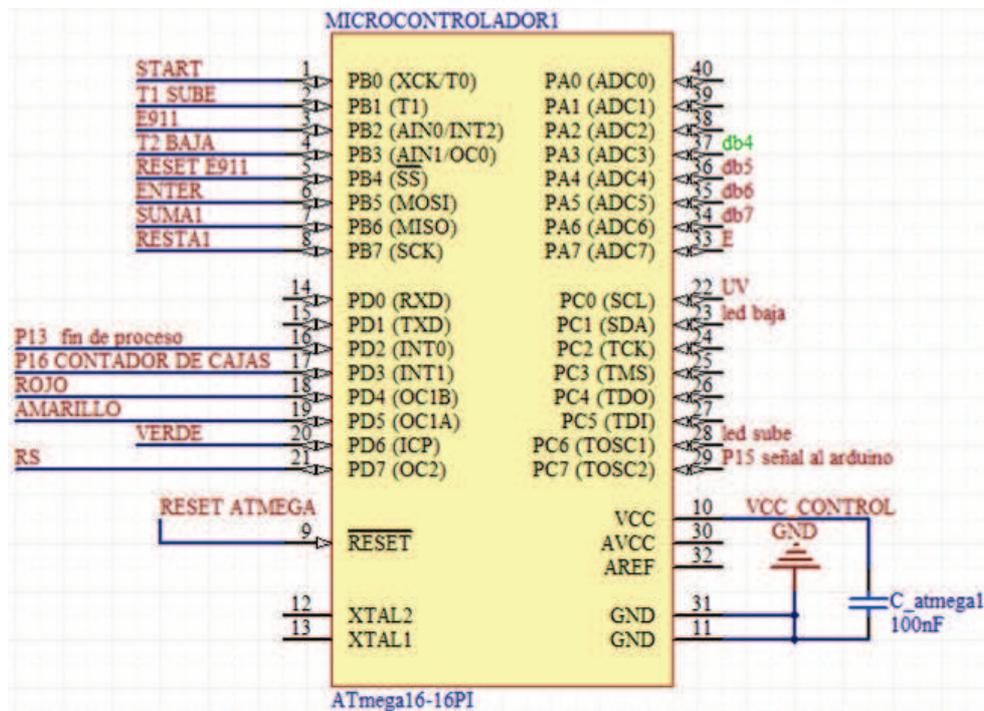


Figura E- 1 Esquemático del microcontrolador ATmega16

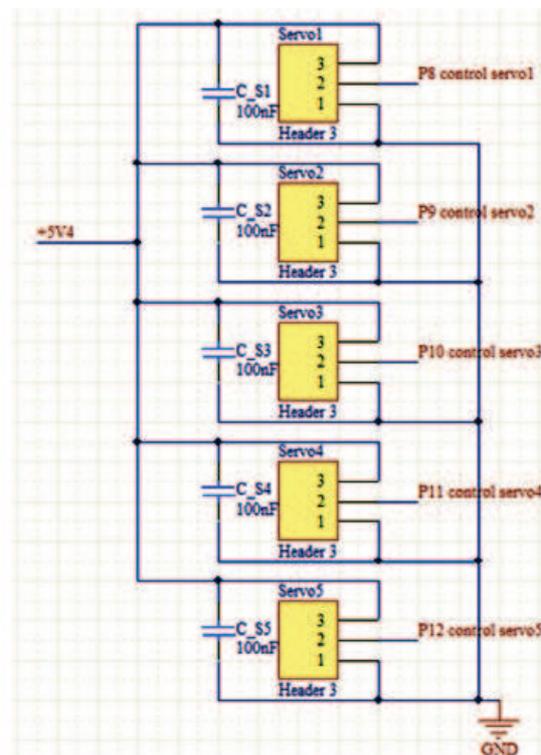


Figura E- 2 Esquemático de las conexiones para los servomotores

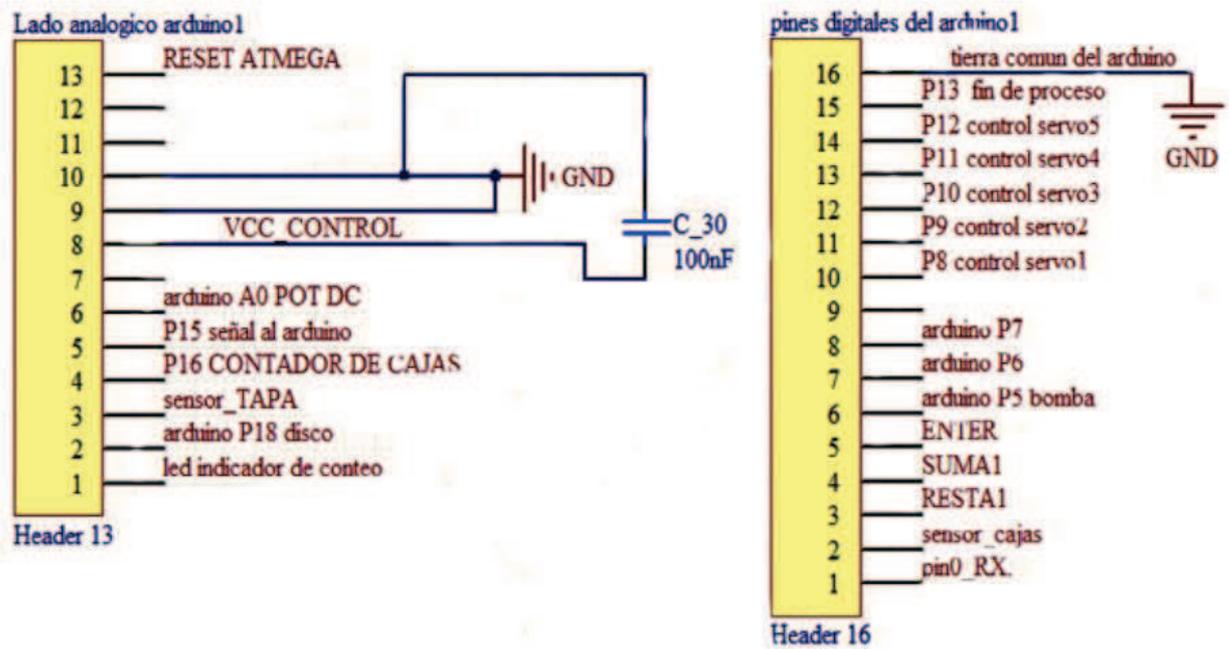


Figura E- 3 Esquemático de la conexión del Arduino Duemilanove

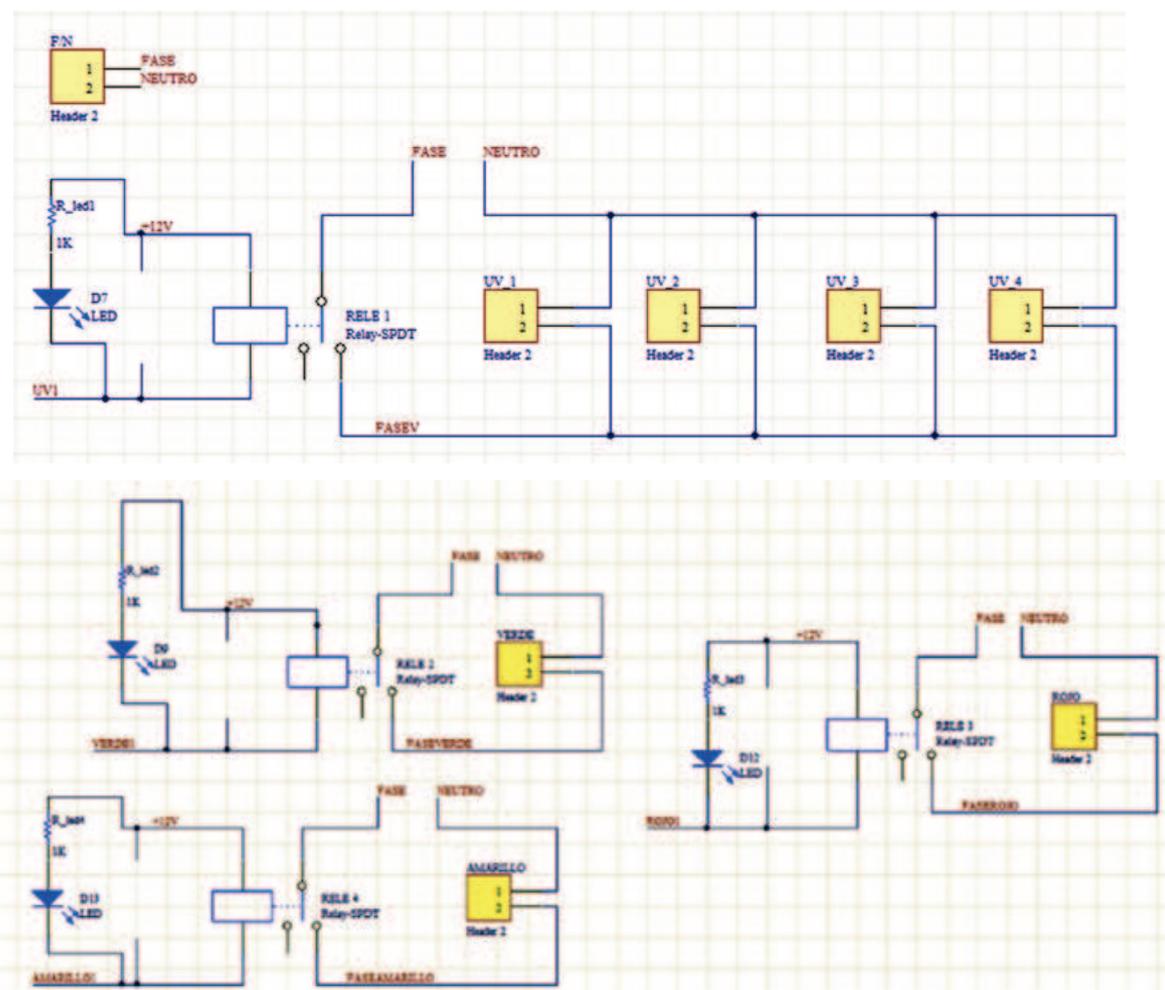


Figura E- 4 Esquemático de conexiones de los Relés de luces piloto y ultravioleta.

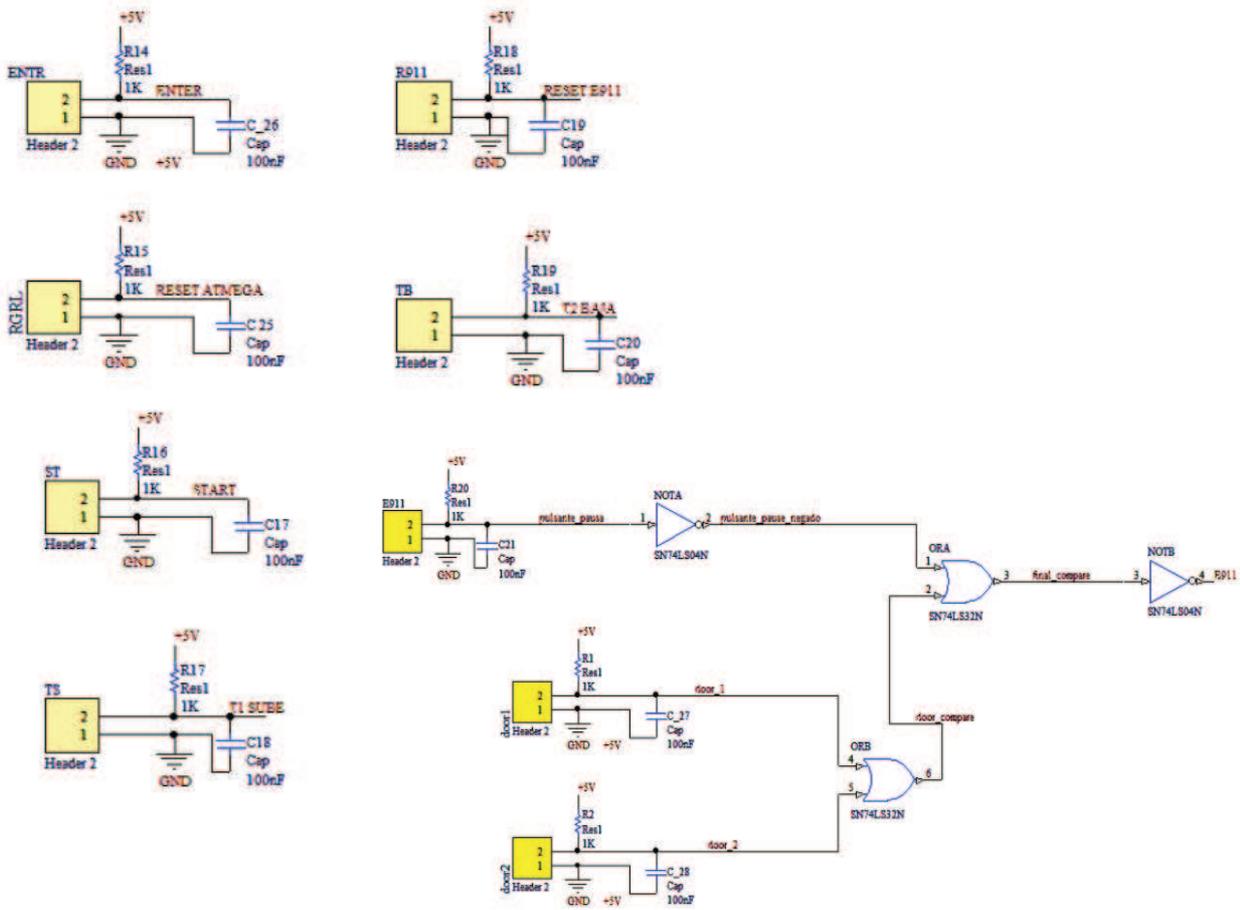


Figura E- 5 Esquemático de las conexiones de los pulsadores y sensores magnéticos

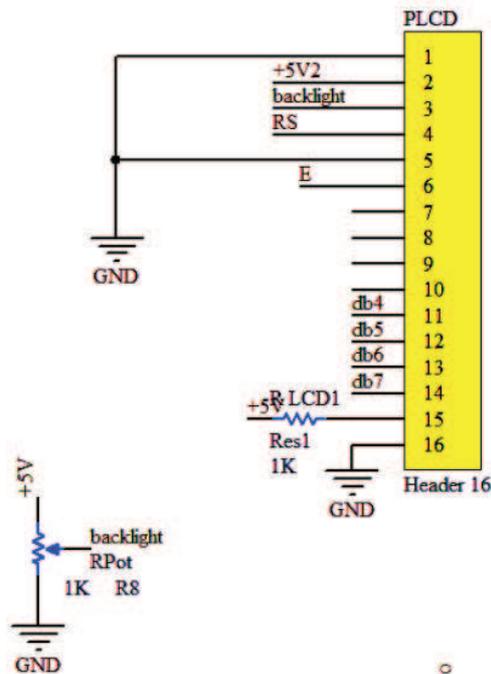


Figura E- 6 Esquemático de las conexiones del LCD

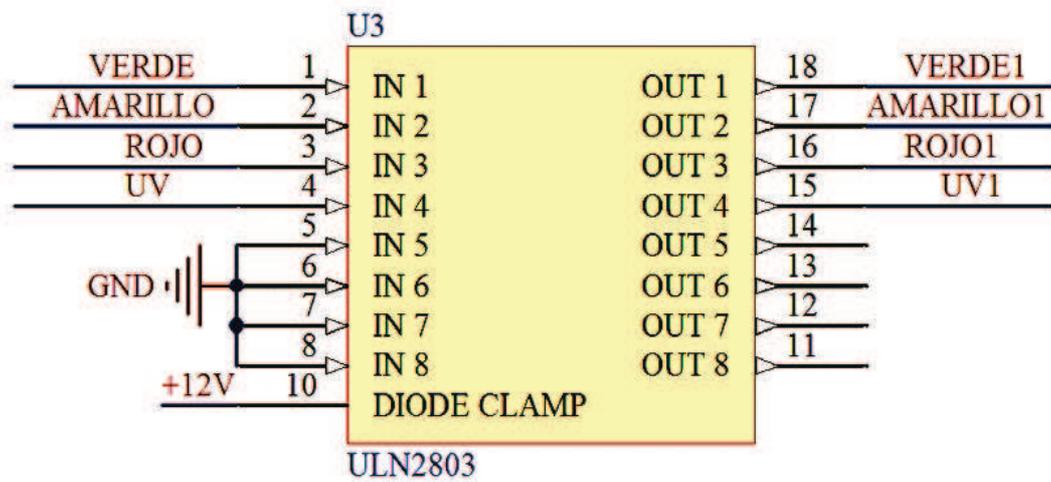


Figura E- 7 Esquemático de las conexiones del ULN2803

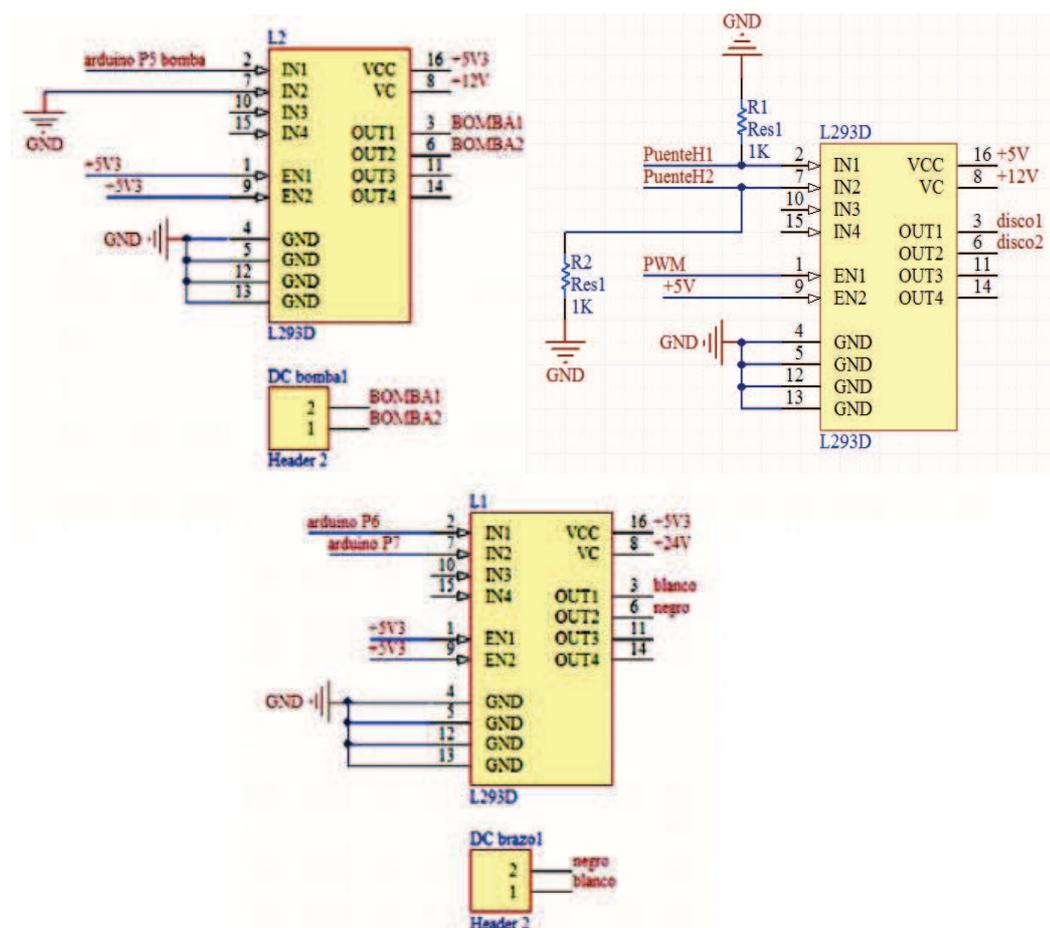


Figura E- 8 Esquemático de las conexiones de los motores DC y sus drivers

L293D

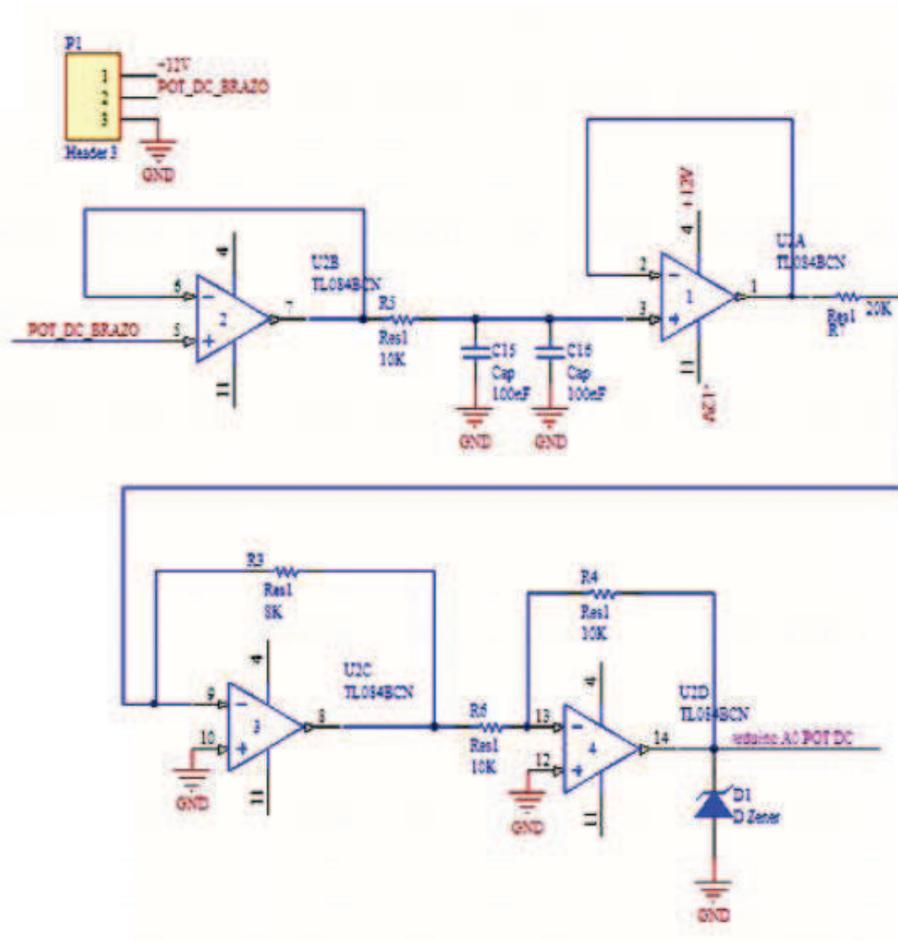


Figura E- 9 Esquemático de las conexiones del acondicionamiento del potenciómetro de la primera articulación

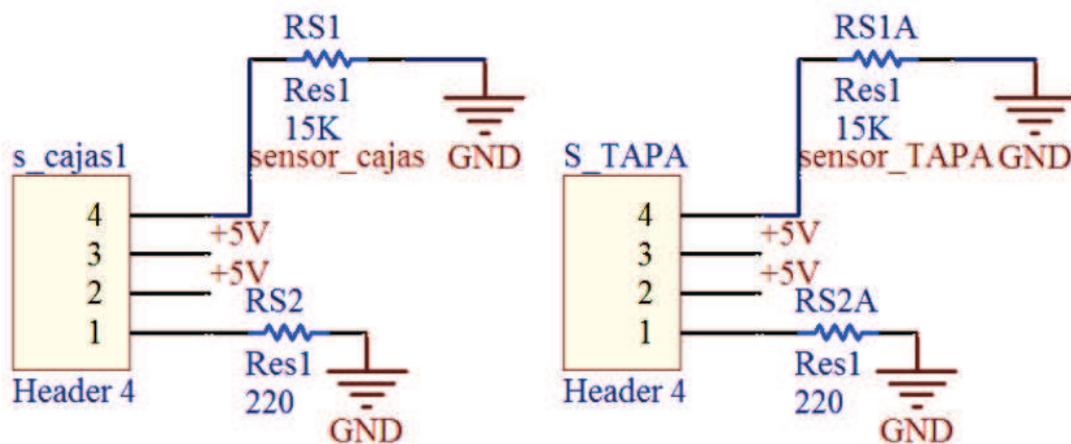


Figura E- 10 Esquemático de la conexión de los sensores infrarrojos

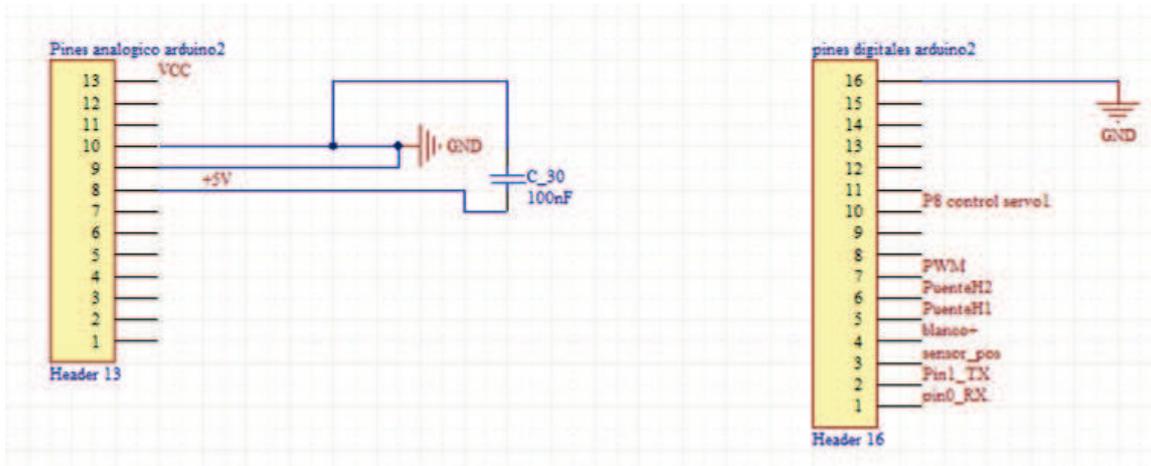


Figura E- 11 Esquemático de la conexión del control para el disco de desplazamiento

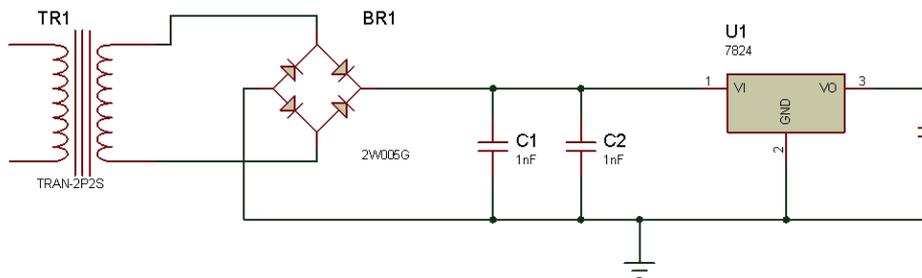


Figura E- 12 Esquemático de conexión de la fuente de 24V

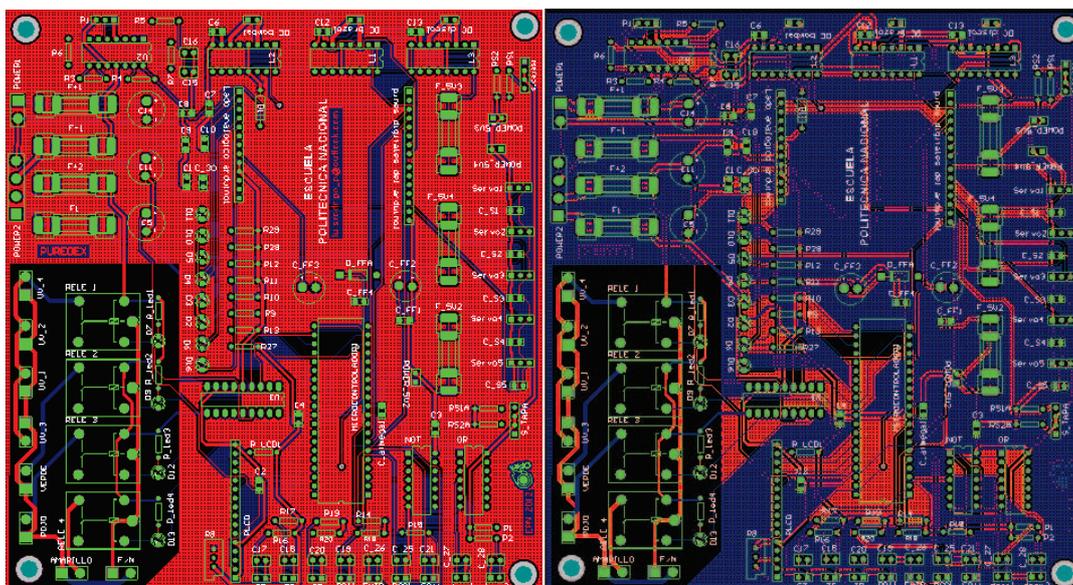


Figura E- 13 Ruteado de la placa de control: capa superior e inferior

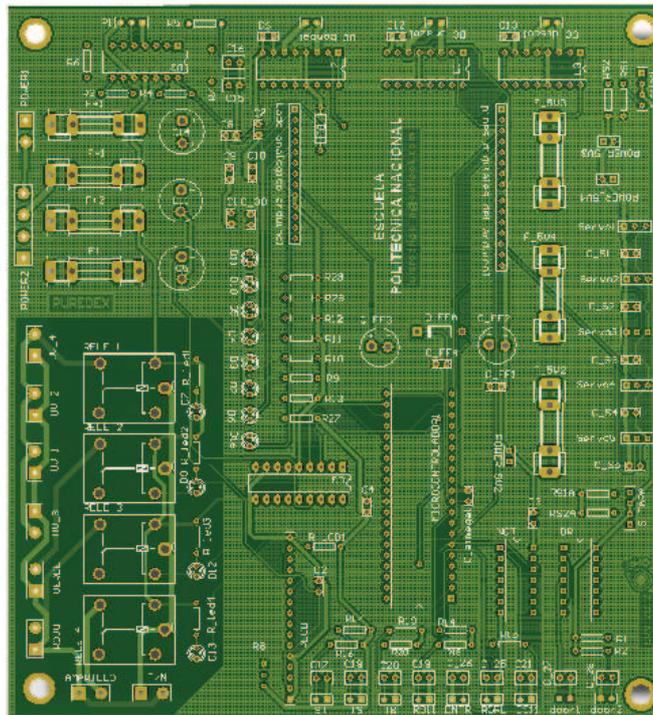


Figura E- 14 Visualización en 3D de la placa de control

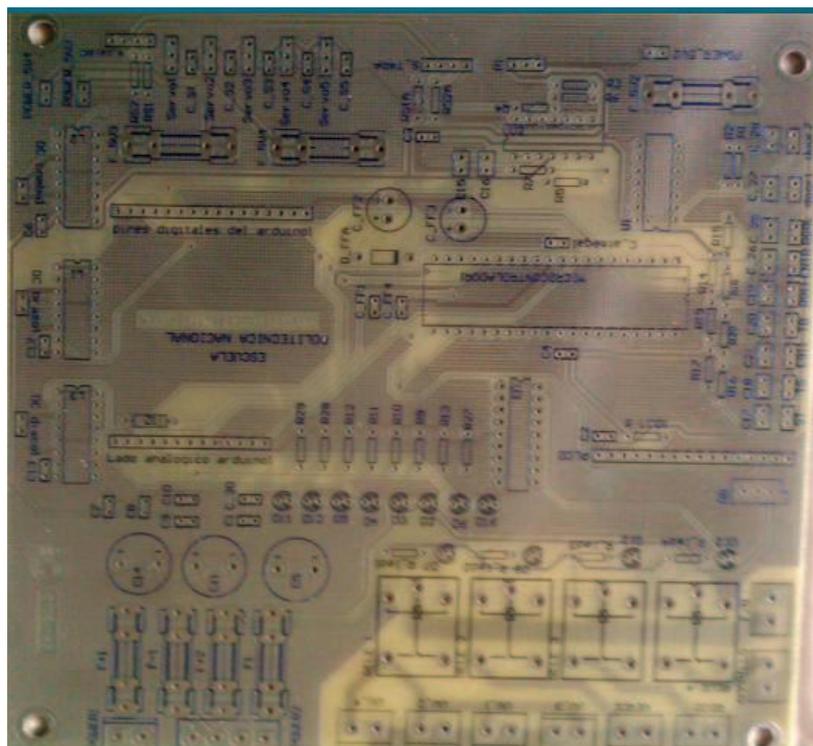


Figura E- 15 Visualización de la placa de control original

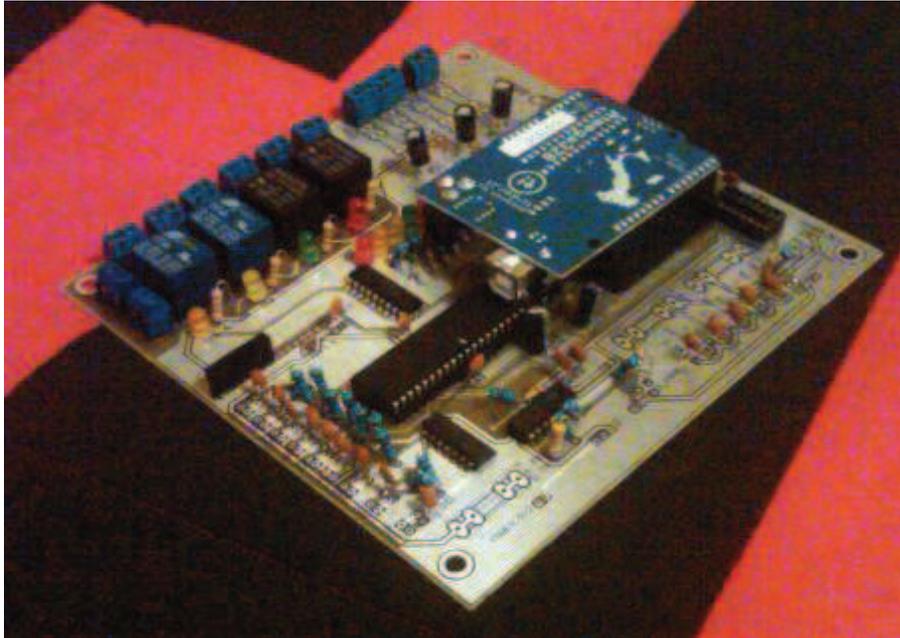


Figura E- 16 Placa con elementos soldados

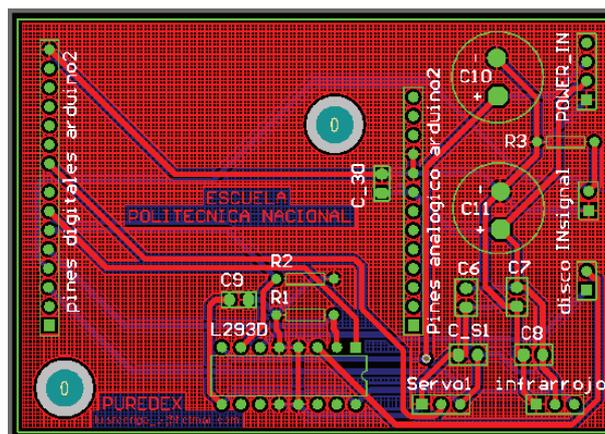


Figura E- 17 Ruteado de la placa de control del disco de desplazamiento

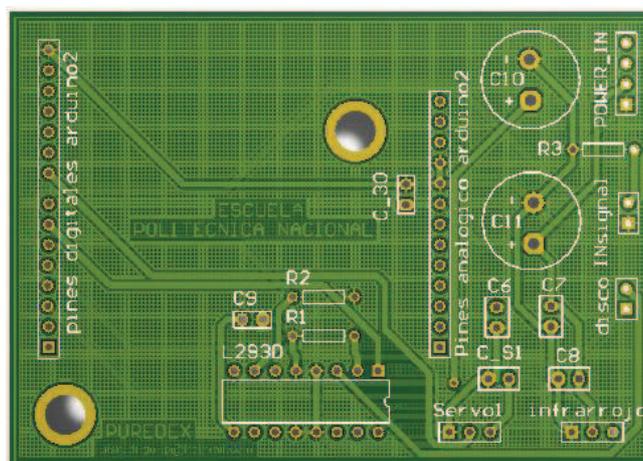


Figura E- 18 Visualización de la placa del disco en 3D

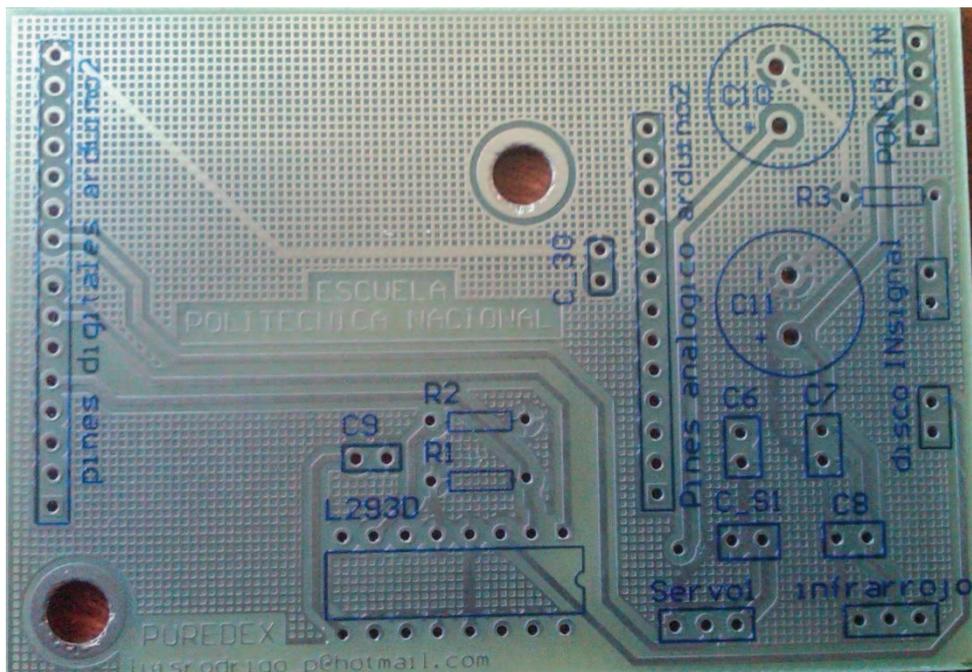


Figura E- 19 Visualización de la placa original del disco

Anexo F

Planos que conforman las piezas del manipulador y el sistema eléctrico