



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: “Diseño y construcción de un agitador orbital modular de doble
bandeja para el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la carrera de
Ingeniería en Biotecnología”**

AUTORES: ESPINOSA ESPIN, FRANKLIN ISAACK

TRÁVEZ PADILLA, GALO LEONARDO

DIRECTOR: M.SC. JADÁN MÓNICA

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y COSNTRUCCION DE UN AGITADOR ORBITAL MODULAR DE DOBLE BANDEJA PARA EL LABORATORIO DE CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGIA”* realizado por los señores *FRANKLIN ISAACK ESPINOSA ESPIN* y *GALO LEONARDO TRAVEZ PADILLA*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a los señores *FRANKLIN ISAACK ESPINOSA ESPIN* y *GALO LEONARDO TRAVEZ PADILLA* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de marzo del 2015


M.SC. MONICA JADAN GUERRERO
DIRECTORA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **FRANKLIN ISAACK ESPINOSA ESPIN** con cédula de identidad N° 1712958311 y **GALO LEONARDO TRAVEZ PADILLA**, con cédula de identidad N° 1722591680, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AGITADOR ORBITAL MODULAR DE DOBLE BANDEJA PARA EL LABORATORIO DE CULTIVOS DE TEJIDOS VEGETALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 02 de marzo del 2016

FRANKLIN ESPINOSA.

C.C. 1712958311

GALO TRAVEZ.

C.C. 1722591680



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **FRANKLIN ISAACK ESPINOSA ESPIN** y **GALO LEONARDO TRAVEZ PADILLA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AGITADOR ORBITAL MODULAR DE DOBLE BANDEJA PARA EL LABORATORIO DE CULTIVOS DE TEJIDOS VEGETALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 02 de marzo del 2016

FRANKLIN ESPINOSA.

C.C. 1712958311

GALO TRAVEZ.

C.C. 1722591680

1 DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes nunca han dejado de creer en mí, a pesar de mis fallas y tropiezos siempre se encuentran brindándome sus palabras de ánimo, paciencia y apoyo.

Tres pilares muy importantes en mi vida son mis hermanas y mi cuñado, los cuales con su ejemplo, y conocimiento han creado en mí, un sentimiento de superación y hoy he alcanzado un escalón que ellos me han enseñado día a día con su ejemplo.

Dos princesitas que llenan mi vida de alegría con sus ocurrencias y travesuras, me han motivado a darles un ejemplo de constancia, de perseverancia para alcanzar las metas, algún día ellas crecerán y podrán entender lo que es el esfuerzo y trabajo duro.

No me queda más que agradecer a tíos, primos, amigos, compañeros, amiguitas y varias personas más que han sido parte de todo este proyecto, y haciendo bandera de una frase que me ha acompañado durante toda esta carrera, quiero decirles gracias a todos.

“Cuando el burro es bueno, sube la cuesta despacio”

Galo Leonardo Trávez.

2 DEDICATORIA

Dios y la Virgen de Natividad, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, mis padres Margarita y Franklin por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Mis hermanas Nickoll y Anghie por siempre apoyarme en todo y estar junto a mí dándome fuerzas para superar las adversidades que se presentaron.

A José por apoyarme siempre en todo, estando junto a mi dándome ánimos y fuerzas para continuar.

Y a ti Karla, por tu paciencia y comprensión, por tu bondad me inspiraste a ser mejor, gracias por estar siempre a mi lado.

Franklin Isaack Espinosa E.

3 AGRADECIMIENTO.

En este trabajo de tesis queremos agradecer en primer lugar a Dios, por bendecirnos y permitirnos llegar hasta donde hemos llegado, y hacer realidad un sueño anhelado.

Además queremos agradecer a nuestras familias que nos han apoyado día a día en el transcurso de este camino largo y esforzado, y así poder llegar a nuestra meta.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestra directora de tesis, M. Sc. Mónica Jadán, por su esfuerzo y dedicación, quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han contribuido con que logremos terminar nuestros estudios con éxito.

También agradecemos a nuestros docentes de aula que han sido parte importante dentro del proceso de formación universitaria.

De igual manera, queremos dar un agradecimiento muy grande y sincero a tres compañeros que nos han acompañado durante toda la carrera universitaria de una u otra forma, quienes día a día compartieron emociones y tristezas; Juan José Quito, Andrés Rodríguez y Luis Cabrera... Muchas gracias.

Son muchas las personas que han formado parte de este viaje profesional a las que nos encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de nuestras vidas. Queremos darles las gracias por formar parte de nuestras vidas, por todo lo que nos han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

4 CONTENIDO

1 DEDICATORIA	V
2 DEDICATORIA	VI
3 AGRADECIMIENTO.....	VII
4 CONTENIDO	VIII
5 RESUMEN.....	XII
6 ABSTRACT	XIII
1 CAPÍTULO 1.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4 ÁREA DE INFLUENCIA.....	4
2 CAPÍTULO 2.....	1
2.1 OBTENCIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS.....	1
2.1.1 <i>Cultivo in vitro para la producción de metabolitos secundarios</i>	2
2.2 INTRODUCCIÓN A LOS ELEMENTOS MECÁNICOS.....	3
2.2.1 <i>Transmisión de potencia mediante poleas y bandas</i>	4
2.2.2 <i>Descripción de sistemas vibratorios</i>	7
2.2.3 <i>Trayectoria de mecanismos</i>	7
2.3 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	8
2.3.1 <i>Descripción de motores</i>	9
2.3.2 <i>Descripción elementos de potencia</i>	10
2.3.3 <i>Descripción de elementos de instrumentación</i>	11
2.4 INTRODUCCIÓN A LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	11
2.4.1 <i>Descripción de sistemas de control a implementarse PID</i>	12
2.4.2 <i>Descripción de la unidad de control (ARDUINO)</i>	14
3 CAPÍTULO 3.....	15
3.1 DISEÑO MECÁNICO.....	15
3.1.1 <i>Diseño y dimensionamiento de elementos mecánicos</i>	15
3.1.2 <i>Diseño de la estructura o carcaza</i>	28
3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO.....	39
3.2.1 <i>Selección de sensores</i>	39
3.2.2 <i>Selección de motor eléctrico de corriente directa</i>	40
3.2.3 <i>Selección de procesadores y controladores</i>	41
3.2.4 <i>Conexiones eléctricas</i>	44
3.3 CONTROL.....	46
3.3.1 <i>Diseño de un sistema de control para velocidad angular</i>	47
3.3.2 <i>Diseño de sistemas de alarma de seguridad</i>	54
3.3.3 <i>Programación de interfaz de control para la máquina</i>	54
4 CAPÍTULO 4:.....	59
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	59
4.1.1 <i>Construcción de ejes y soportes para la segunda Bandeja</i>	59

4.1.2	Construcción de bocines.....	63
4.1.3	Construcción de Pistas	65
4.1.4	Construcción de la polea.....	67
4.1.5	Construcción de la carcasa y Bandejas.....	69
4.2	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....	74
4.2.1	Implementación del motor	74
4.2.2	Construcción de la placa electrónica.....	75
4.3	PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	80
4.4	ELABORACIÓN DE INTERFAZ DE CONTROL DEL SISTEMA.....	85
5	CAPÍTULO 5:.....	87
5.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	87
5.1.1	Calibración de sensores	87
5.1.2	Verificación y corrección del movimiento orbital	88
5.1.3	Verificación del sistema mecánico	88
5.1.4	Verificación del sistema eléctrico/ electrónico.....	88
5.1.5	Verificación del sistema de monitoreo.	88
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
5.2.1	Mecánica	89
5.2.2	Eléctrica y electrónica.....	89
6	CAPITULO 6.....	91
6.1	VIABILIDAD TÉCNICA	91
6.2	RENTABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO	92
7	CAPÍTULO 7.....	93
7.1	CONCLUSIONES.....	93
7.2	RECOMENDACIONES.	94
8	BIBLIOGRAFÍA.....	95

Resumen de Tablas

Tabla 1	Diseño de Poleas	17
Tabla 2	Dimensionamiento de rodamientos	19
Tabla 3	Dimensionamiento de Banda	22
Tabla 4	Ejes	27
Tabla 5	Características del motor DC	41
Tabla 6	Características Arduino AT Mega 2560 (mindstormsyarduino, 2015).....	41
Tabla 7	Características fuente de Alimentación (ATX, 2014).....	44
Tabla 8	Constantes del controlador	54
Tabla 9	Tiempos de construcción.....	72
Tabla 10	Tiempos de procesos	72
Tabla 11	Ajuste del sistema de control	81
Tabla 12	Análisis de resultados mecánicos	89
Tabla 13	Temperatura de los elementos de potencia	89

Tabla de Ilustraciones.

Figura 1 Tipos de bandas de transmisión (CEJAROSU, 2015)	5
Figura 2 Transmisión de movimiento (CEJAROSU, 2015).....	6
Figura 3 Motor (SAPIENSAMAN, s.f)	10
Figura 4 Controlador PID (Virginia, 2002).....	13
Figura 5 Arduino (Jonathan, Amagandi, s.f).....	14
Figura 6 Ángulo existente en la banda	23
Figura 7 Dimensionamiento de pantalla LCD 16x4 (Alibaba, s/f)	29
Figura 8 Figura real de una pantalla LCD 16x4 (Alibaba, s/f).....	29
Figura 9 Dimensionamiento del Switch on /off (Electrónica del Norte, 2015)	30
Figura 10 Switch ON/OFF con Luz Piloto (Electrónica del Norte, 2015).....	30
Figura 11 Dimensionamiento de teclado matricial (Mercado Libre, 2014).....	30
Figura 12 Método de Diseño de la estructura.....	31
Figura 13 eje excéntrico.	33
Figura 14 Rodamiento # 6000	33
Figura 15 #Rodamiento 6002	34
Figura 16 Bocín de alojamiento	35
Figura 17 Vista explotada del ensamble.....	36
Figura 18 Vista en corte del ensamble	37
Figura 19 Simulación de todo el ensamble	38
Figura 20 Enconder Óptico con Disco (Robotix, 2005).....	39
Figura 21 Sensor de corriente 20A (geekfactory, 2015)	40
Figura 22 Arduino Mega AT 2560 (mindstormsyarduino, 2015).....	42
Figura 23 Características Mosfet IRFZ44N (neoteo, 2015).....	43
Figura 24 Características Opto Acoplador 4N35 (neoteo, 2015).....	44
Figura 25 Fuente de Alimentación (ATX, 2014)	45
Figura 26 Dimensiones de Cables (INEN-021, 2008)	46
Figura 27 Función Ident	47
Figura 28 Modelo de FT. De segundo Orden.....	48
Figura 29 Respuesta de sistemas de segundo orden ante un escalón unitario (Ojeda, 2014)	49
Figura 30 Respuesta de la función de transferencia	50
Figura 31 Diagrama de bode	51
Figura 32 Diagrama de Bode.....	52
Figura 33 Función con controlador y sin controlador	53
Figura 34 circuito Alarma	54
Figura 35 Librerías Arduino.....	55
Figura 36 Pines LCD	55
Figura 37 Teclado.....	56
Figura 38 Programación de interfaz de control en Arduino	56
Figura 39 Programación de interfaz de control en Arduin.....	57

Figura 40 Programación de interfaz de control en Arduino	58
Figura 41 Programación de interfaz de control en Arduino	58
Figura 42 Programación de interfaz de control en Arduino	59
Figura 43 Diagrama de proceso de elaboración de ejes y soportes segunda bandeja.....	61
Figura 44 Eje terminado	62
Figura 45 Base segunda bandeja terminado	62
Figura 46 Diagrama de proceso de elaboración de bocines	64
Figura 47 Bocín	65
Figura 48 Diagrama de proceso de elaboración de pistas	66
Figura 49 Pista Terminada	67
Figura 50 Diagrama de proceso de elaboración de polea.....	68
Figura 51 Polea terminada.....	69
Figura 52 Diagrama de proceso de elaboración de carcasa y bandejas.....	70
Figura 53 Carcasa desplegada	71
Figura 54 Carcasa Plagada y pintada	71
Figura 55 Proceso de oxicorte	73
Figura 56 Proceso de soldadura.....	73
Figura 57 Construcción completa y armada de la parte mecánica	74
Figura 58 Implementación del Motor.....	75
Figura 59 Selección de ancho de pista de acuerdo a la temperatura	76
Figura 60 Selección de ancho de pista de acuerdo al material	77
Figura 61 Selección de espaciamiento entre pistas	78
Figura 62 Circuito de control	79
Figura 63 PCB de control.....	79
Figura 64 Circuito de Potencia.....	80
Figura 65 Librería Arduino	80
Figura 66 Inicialización d en Arduino.....	82
Figura 67 Programación de PID discreto	83
Figura 68 Restricciones e inicialización Arduino	84
Figura 69 Angulo de visibilidad.....	85
Figura 70 Ubicación de componentes del interfaz de control.....	85
Figura 71 Interfaz de control ensamblado en la carcasa	86
Figura 72 Indicadores del Interfaz Pantalla.....	86
Figura 73 Indicadores del interfaz Teclado	87
Figura 74 Grafica de temperatura vs tiempo	90

5 RESUMEN

Dentro de las técnicas de biotecnología, se encuentra el cultivo de tejidos vegetales, en donde una de las actividades es el cultivo de células en frascos de vidrio. Para mantener las células vivas es necesario cultivarlas en un medio nutritivo adecuado y en condiciones de agitación constante. Uno de los problemas es la agitación de las muestras de los cultivos vegetales de las investigaciones que se están desarrollando. En el presente documento se detalla el proceso de diseño y construcción del agitador orbital modular para el control de velocidad de rotación. Partiendo de la agitación orbital logramos evitar que las células se aglomeren y formen un callo celular, el cual afectará a obtener los resultados plateados. Partiendo de cálculos y el uso de herramientas de diseño se obtienen los modelos matemáticos y se diseña el control para el proceso de agitación. La programación se realizó en la tarjeta Arduino mega 2560, y se utilizó tarjetas con circuitos impresos para desarrollar la adecuación de señales de sensores y actuadores, para el control de los procesos se utilizó un sistema de ingreso de datos con el empleo de un Arduino Mega 2560 y un teclado matricial con pantalla LCD.

PALABRAS CLAVE

- **PANTALLA LCD**
- **ARDUINO MEGA 2560**
- **TECLADO MATRICIAL**
- **ORBITAL**
- **SENSORES & ACTUADORES**

6 ABSTRACT

Within biotechnology techniques, the plant tissue culture, where an activity is cell culture in glass jars is. To keep cells alive is necessary to grow in a suitable nutrient medium and under conditions of constant agitation. One problem is the shaking of the samples of crops of investigations that are being developed. Herein the process of design and construction of modular orbital shaker for controlling rotation speed is detailed. Starting from the orbital shaking we prevent cells clumping and form a callus cell, which affect the silver obtain results. Based on calculations and the use of design tools are obtained mathematical models and control for the stirring process is designed. Programming is done in the Arduino Mega 2560 card, and cards are used with PCBs to develop the adequacy of signals from sensors and actuators for process control system data entry with the use of an Arduino Mega was used 2560 matrix keyboard and LCD.

KEY WORDS:

- **LCD DISPLAY**
- **ARDUINO MEGA 2560**
- **MATRIX KEYBOARD**
- **ORBITAL**
- **SENSORS & ACTUATORS**

1 CAPÍTULO 1

1.1 Antecedentes.

Con la finalidad de diversificar la oferta educativa de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE y abrir nuevas áreas de conocimiento investigación que contribuyan al desarrollo Nacional, se acuerda crear la Facultad de Ciencias Aplicadas con un primer programa que es la carrera de Ingeniería en Biotecnología, mediante orden de rectorado No. 20094-ESPE-a-3 del 9 de Junio del 2000.

Desde su creación, la carrera Ingeniería en Biotecnología forma profesionales para la aplicación de la Biología a las actividades relacionadas con el mejoramiento de las condiciones de vida, mediante el empleo y el aprovechamiento de los microorganismos, componentes orgánicos y sistemas biológicos en general, para la obtención y generación de tecnologías limpias que entreguen y aporten desarrollo sostenible de la sociedad.

Debido a la gran demanda de estudiantes que acuden al laboratorio, la cantidad de equipos resulta insuficiente para realizar las prácticas de laboratorios de docencia, este es el caso del agitador orbital, el cual permite homogenizar las los cultivos celulares provenientes de tejidos de las plantas a ser estudiadas. La indisponibilidad de este equipo ha dificultado y retrasado varias investigaciones, por esto surge la necesidad de un nuevo equipo de mayor capacidad que permita cumplir las funciones del agitador, lo que permitirá avanzar con los temas de investigación y prácticas de laboratorio que requieran de un agitador.

1.2 Justificación e importancia.

En el año 2010 el Gobierno de la República del Ecuador dio apertura a los proyectos de investigación que se encontraban a cargo de varias universidades y dándoles más énfasis a las universidades estatales, como es el caso de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE; dichos proyectos de investigación han crecido de manera favorable para el desarrollo de la sociedad.

La industria biotecnológica se ha desarrollado a gran escala en nuestro país, razón por la cual día a día se necesita crear nuevas técnicas de desarrollo, pero esto requiere una profunda investigación y desarrollo de las mismas, y para conseguir este objetivo, es necesario recurrir a los laboratorios donde se llevarán a cabo las investigaciones, pruebas y mejoras a los diferentes estudios realizados.

En el caso de la carrera de Ingeniería en Biotecnología, los estudios no se realizan de manera industrial a gran escala, pero si se llega a ejecutarlos de manera experimental y demostrativa, con lo cual los estudiantes e investigadores loran su cometido de manera

rápida y sobre todo, de manera eficiente ya que cuentan con todos los elementos necesarios en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales.

A pesar de que el laboratorio cuenta con todos los elementos para realizar dichas investigaciones, esto no significa que cuenten con la cantidad suficiente y se brinde la oportunidad a todos los estudiantes e investigadores que requieren de este servicio.

Por esta razón, hemos considerado importante la creación de un nuevo agitador orbital que permita aumentar la capacidad de agitación de varias muestras y con ello disminuir el tiempo de espera por un espacio en el agitador orbital y así dar paso al siguiente proceso en la investigación que se está llevando a cabo.

La importancia del agitador orbital modular, radica en la dotación de tecnología, con requerimientos de funcionamientos preciso y de bajo costo para cubrir las necesidades de los usuarios y ser competitivos ante equipos similares. Debido a que las máquinas que se disponen y se utilizan en los laboratorios son antiguas, estas no cumplen con los requerimientos necesarios de desempeño, son altamente costosas y actualmente son pocas las que cumplen en su totalidad con el funcionamiento que se requiere por parte de los usuarios.

Se ha identificado en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales una gran cantidad de muestras que están sometidas al proceso de homogenización y una conjunto igual o mayor que está a la espera de un espacio en el agitador, el cual muchas veces se ve reducido o simplemente no existe dicho espacio debido a la aglomeración de muestras que se están preparando y al no tener dicho proceso de homogenización, varias investigaciones se suspenden, ya que la homogenización es sumamente importante y debido a ello no se puede avanzar con el protocolo de ejecución sobre dicha investigación.

La gran cantidad de muestras que se encuentran siendo homogenizadas ocasiona un sobre esfuerzo en los elementos mecánicos y electrónicos del equipo, razón por la cual constantemente ocurren daños que requieren reparaciones o en el peor de los casos han dejado de funcionar por largos periodos de tiempo hasta adquirir los repuestos necesarios para su reparación y con ello su reactivación.

En el laboratorio actualmente se dispone de dos agitadores orbitales, pero esto no es suficiente y una medida que sea ha adoptado para solucionar este gran problema es la colocación de fuentes sobre dimensionadas, las cuales permiten extender el área de trabajo y con ello se crea un espacio extra en el cual se pueden colocar varias muestras adicionales.

Este procedimiento no es el más óptimo ya que se está alterando la aplicación para la que fue creado debido a la extensión de la superficie y anula toda la garantía que oferta el fabricante debido al mal uso por parte del operador.

El costo comercial de un agitador estándar está alrededor de los ocho mil dólares (8000.00 USD) monto que la universidad no puede acceder inmediatamente debido a trámites gubernamentales, de gestión de recursos e incluso en planes de inversión, y si consideramos el daño de un equipo de estos debido a la mala manipulación del mismo, ocasionará retrasos día a día el tratamiento de muestras y por ende las investigaciones del laboratorio, sin contar con el costo económico que esto representará para las arcas del Estado Ecuatoriano.

Una vez analizado los problemas que se presentan actualmente en el Laboratorio de Cultivos Vegetales, nosotros como estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, poseemos la capacidad de afrontar problemas y desarrollar soluciones, razón por lo cual hemos planteado diseñar y construir un agitador orbital modular, el cual permita aumentar la capacidad de manejo de muestras en frascos de diferentes tamaños, y a la vez mejorar el control sobre tiempos, velocidades y alimentación de energía eléctrica mediante una batería de respaldo.

Este diseño pretende ser más eficiente en el manejo de muestras, colaborando con la investigación científica de la ESPE y creando equipos con facilidad de manufactura y programación para que sean ensamblados por diferentes tipos de personas ya que no contará con elementos electrónicos difíciles de conseguir y peor aún, elementos mecánicos complicados de manufacturar, con lo cual nuestro equipo será una herramienta pionera en el laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales.

La carrera de Ingeniería Mecatrónica se caracteriza por su amplio conocimiento a nivel de mecánica de materiales y de electrónica en control, razón por la cual estamos en la capacidad de fabricar de manera tecnificada y bajo parámetros de ingeniería un producto de alta calidad y eficacia con todos los parámetros de seguridad necesarios para su funcionamiento; razón por la cual la creación de un equipo pionero en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales representa un gran reto para nosotros, ya que es la primera vez que se construirá un agitador de bajo costo, de fácil manufactura y ensamble rápido.

Las características antes mencionadas, permitirán a los estudiantes de carreras afines a la Ingeniería Mecatrónica, como es Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica en Control construir este equipo cuando sea necesario ampliar la capacidad de homogenización en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales, o en los diferentes laboratorios pertenecientes a las carreras de Ingeniería en Biotecnología, Ingeniería Agropecuaria, Ingeniería ambiental etc.

Como podemos ver, nuestro equipo es sumamente importante para la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE ya que cuenta con varios laboratorios en los que se requiere homogenizar sustancias acuosas, o disolver elementos sólidos en medios líquidos y de esta manera estamos aportando notablemente al desarrollo de la investigación científica y en la formación de diferentes profesionales que aportarán al desarrollo de un nuevo Ecuador.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un agitador orbital modular de doble bandeja para el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la carrera de Ingeniería en Biotecnología.

1.3.2 Objetivos específicos

Aumentar la capacidad de muestras a ser agitadas para su posterior análisis en laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la carrera de Ingeniería en Biotecnología.

Evitar daños en la máquina debido a la sobrecarga de frascos y muestras en la bandeja de la misma.

Disminuir el tiempo de espera en los procesos de investigación debido a la falta de máquinas que realicen el proceso de agitación dentro del laboratorio.

Construir una máquina eficiente de bajo costo que cumpla con los requerimientos técnicos y de seguridad utilizados en la agitación de diferentes medios acuosos.

1.4 Área de influencia

El proyecto está destinado para la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en el Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura para el área de cultivo de Tejidos Vegetales de la carrera de Ingeniería en Biotecnología, específicamente a los laboratorios.

Con este proyecto se pretende aumentar la capacidad de investigación y prácticas de laboratorio que se encuentran pendientes, con lo cual ayudará a la optimización de investigaciones que se encuentran ejecutándose en el laboratorio.

2 CAPÍTULO 2

2.1 Obtención de metabolitos secundarios

Se los conoce como metabolitos secundarios a los compuestos químicos sintetizados por las plantas y que no cumplen con funciones trascendentales dentro del metabolismo primario de las plantas, las cuales son una fuente inagotable de compuestos químicos y complejas sustancias activas, esto gracias a la biodiversidad que posee nuestro planeta y a la infinita sabiduría de la “Madre Naturaleza”. (López Encina & González Padilla, 2105)

En la actualidad el uso de metabolitos secundarios ha adquirido un enorme protagonismo y divulgación gracias a la concienciación causada por grupos ecologistas afines a la bioconservación y también a las incursiones cinematográficas que se han realizado sobre estos temas, utilizándolos como base argumental. (López Encina & González Padilla, 2105)

También a nivel real, grandes grupos industriales y farmacéuticos trabajan activamente en la detección y análisis de sustancias producidas por diferentes especies y que pueden tener aplicación en muy diversos campos como por ejemplo; farmacología agropecuaria industria alimentaria, industria cosmética, etc. Todos estos productos, a veces muy difíciles o imposibles de sintetizar en laboratorio, se agrupan bajo el nombre de metabolitos secundarios. (López Encina & González Padilla, 2105)

Las posibilidades de la aplicación de las técnicas de cultivo de tejidos para la producción de estas sustancias, evitando así los daños ecológicos causados por la sobreexplotación de las especies productoras en la naturaleza y un mejor control de la producción, produjo grandes expectativas en un principio que poco a poco se fueron moderando, tras comprobarse que, en la práctica, determinadas cuestiones y problemas limitaban notablemente los rendimientos y posibilidades de aplicación de estas metodologías. (Yamada y Fujita, 1983)

Las ventajas que presentaba la producción de metabolitos secundarios mediante cultivo de tejidos, es la obtención de productos de mayor pureza, la conversión de sustancias precursoras baratas en compuestos de alto precio (biotransformación) actuando los cultivos celulares como catalizadores de las reacciones implicadas en dicha transformación (Alfermann y Reinhard, 1980; Berlin, 1984).

En la actualidad sólo unos pocos metabolitos secundarios se utilizan de forma industrial, aunque el caudal de conocimientos adquiridos sobre estas metodologías ha alcanzado un elevado nivel, y muchos de los problemas planteados en las primeras épocas de aplicación industrial han sido resueltos con éxito, lo que sin duda permitirá nuevos avances. (López Encina & González Padilla, 2105)

Desde hace siglos atrás, se ha utilizado las plantas como fuente de mitigación de dolencias gracias a sus propiedades curativas, posteriormente se utilizó a nivel industrial para la obtención de pigmentos y fragancias, llevándonos hasta los tiempos actuales, en los cuales se han realizado grandes estudios que han demostrado que los metabolitos secundarios son los responsables de estas características dentro de las plantas.

Los metabolitos secundarios no afectan el desarrollo de la planta, razón por la cual se desea industrializar de manera tecnificada, para obtener fuentes de medicina, pigmentos y fragancias más naturales y aprovechando al máximo las bondades que nos da la naturaleza.

2.1.1 Cultivo *in vitro* para la producción de metabolitos secundarios

El cultivo de tejidos presenta aspectos y aplicaciones prácticas muy variadas entre las que se destaca la producción de metabolitos secundarios de plantas (Kreis, 2007).

Se ha revelado como una inapreciable ayuda en otros campos de la Fitoquímica, principalmente en estudios biogénicos y enzimáticos como fuente para el aislamiento de metabolitos secundarios y comercialmente, para la rápida propagación de las plantas de interés. Además, tiene un amplio uso en el mejoramiento genético de plantas, en la obtención de clones libres de microorganismos patógenos así como en la conservación de germoplasma (George y Debergh, 2008).

Varios ejemplos corroboran el uso del cultivo *in vitro* para la producción de metabolitos secundarios de plantas en laboratorios de investigación. Las principales ventajas del cultivo *in vitro* sobre el cultivo convencional de plantas son: se pueden obtener sustancias de gran utilidad (metabolitos secundarios) en condiciones controladas independientemente de factores ambientales bióticos (interacción con patógenos) y abióticos (sequía, luz ultravioleta y temperaturas extremas) así como obtener un incremento considerable en el rendimiento de los metabolitos específicos (Vanisree y Tsay, 2007).

Además, es posible reducir los costos e incrementar la productividad mediante el control automatizado del proceso y la regulación de los procesos metabólicos; contar con sistemas de producción definidos, calidad uniforme y rendimientos constantes del producto, así como la posibilidad de establecer sistemas estrictos de control de la calidad del producto (Paek et al., 2005; Vanisree y Tsay, 2007).

El cultivo *in vitro* ofrece también la posibilidad de sintetizar proteínas foráneas en determinadas situaciones que incluyen proteínas terapéuticas y antigénicas (Doran, 2000).

El proceso de extracción puede ser más simple, rápido y eficiente comparado con la y fisicoquímicos (concentración de sacarosa, nutrientes minerales, reguladores de crecimiento, las condiciones de cultivo como pH, temperatura, composición gaseosa, agitación, calidad y cantidad de luz), selección de líneas celulares, inmovilización celular, adición de precursores e intermediarios biosintéticos, extracción continua del producto,

elicitación, transformación genética (Goleniowski y Trippi, 1999; Wang et al., 2001; Sales et al., 2002; Shohael et al., 2006; Kim et al., 2009; Arora et al., 2010).

La aplicación de estas estrategias, en especial la ingeniería genética y la biología molecular en combinación con la bioquímica para estudiar el metabolismo secundario y su regulación, condujo las investigaciones al desarrollo de nuevas estrategias experimentales que han culminado en la aparición de la ingeniería metabólica y la agricultura molecular. (Pérez & Jiménez, 2011)

La enorme demanda de productos naturales que tiene el mercado internacional le ha concedido gran importancia al cultivo *in vitro* como fuente de metabolitos secundarios y a su vez ha permitido desarrollar nuevas investigaciones en los procesos metabólicos que rigen su producción. Sin embargo, no es solo la importancia comercial de estos lo que ha permitido el desarrollo investigativo en este campo. (Pérez & Jiménez, 2011)

La producción de compuestos químicos regulada por el cultivo *in vitro* brinda una excelente oportunidad para el desarrollo de investigaciones bioquímicas relacionadas con las rutas metabólicas bajo un ambiente controlado (Karuppusamy, 2009).

Hasta el momento, la mayoría de las investigaciones relacionadas con la producción de metabolitos secundarios de plantas mediante el cultivo *in vitro* han estado centradas en la utilización de tejidos indiferenciados (callos, suspensiones celulares) (Ketchum et al., 1999; Sajc et al., 2000; Wilken et al., 2005; Korsangruang et al., 2010; Arora et al., 2010; Deshmukh et al., 2011).

A pesar del gran número de investigaciones que se han llevado a cabo para incrementar las aplicaciones comerciales de las técnicas del cultivo de células en la producción de metabolitos secundarios, existen todavía pocos ejemplos exitosos. (Verpoorte et al., 1997).

El proceso de obtención e metabolitos secundarios se lo realiza mediante cultivo *in vitro*, el cual se lo ejecuta en un medio controlado, brindado una calidad alta en los diferentes productos que se desea obtener.

Para lograr hoy en día dicho proceso, muchos investigadores han estudiado técnicas, procesos y protocolos en la elaboración de una técnica válida y de bajo costo para conseguir su cometido.

A pesar de que se realizan estudios cada día más fuertes, y de gran importancia, hay muchos metabolitos que aún no se logran obtener y esto es un freno al desarrollo, pero no es algo imposible ya que gracias a la perseverancia y al apoyo de diferentes ramas, se logra avanzar en dicho propósito.

2.2 Introducción a los elementos mecánicos

El diseño de elementos de maquina es parte integral del más extenso y general campo.

Los diseñadores y los ingeniero de diseño crean aparatos o sistemas que satisfagas necesidades específicas.

En el caso típico los aparatos mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan pautas específicas de movimiento.

Por lo anterior, para diseñar componentes y aparatos mecánico el diseñador debe ser competente en el diseño de los elementos individuales que componen el sistema, pero también deben poder integrar varios componentes y equipos en un sistema coordinado y que satisfaga las necesidades de su cliente. (*Robert L. Mott, 2010, 85*)

Desde hace mucho tiempo las civilizaciones han utilizado varios elementos mecánicos instrumentos por medio de los cuales el hombre facilitaba sus labores, ya sea para alimentarse con la creación del arco y la flecha o para su bienestar como para la ayuda en la construcción de viviendas, etc.

Desde la aparición de Arquímedes en si la mecánica se conoce como la misma debido a la invención de la palanca mecánica y otras máquinas simples como la polea, las cuales con su uso dieron origen a las primeras nociones de dinámica y estática.

2.2.1 Transmisión de potencia mediante poleas y bandas.

Los elementos de máquinas elásticos o flexibles como bandas, cables, cadenas y otros similares se emplean en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a distancias comparativamente largas. Con frecuencia estos elementos se usan como reemplazos de engranes, ejes, cojinetes y otros dispositivos de transmisión de potencia relativamente rígidos. En muchos casos su empleo simplifica el diseño de una máquina y reduce en gran medida el costo. (*Shigley, 2008*)

Además, puesto que estos elementos son elásticos y suelen ser bastante largos, tienen una función importante en la absorción de cargas de impacto y en el amortiguamiento y aislamiento de los efectos de las vibraciones, lo que es una ventaja importante para la vida de la máquina. Para evitar que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas como para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse. Para evitar este problema se emplean a veces rodillos tensores, los cuales ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión. (*Shigley, 2008*)

La mayoría de los elementos flexibles no tienen vida infinita; cuando se emplean, es importante establecer un programa de inspección para protegerlos contra desgaste,

envejecimiento y pérdida de elasticidad. Los elementos se deben reemplazar a la primera señal de deterioro. (Shigley, 2008)

Las poleas son ruedas que tienen el perímetro exterior diseñado especialmente para facilitar el contacto con cuerdas o correas. Las poleas empleadas para tracción y elevación de cargas tienen el perímetro acanalado en forma de semicírculo (para alojar cuerdas), mientras que las empleadas para la transmisión de movimientos entre ejes suelen tenerlo trapezoidal o plano (en automoción también se emplean correas estriadas y dentadas) (CEJAROSU, 2015)

En toda polea se distinguen tres partes: cuerpo, cubo y garganta. El cuerpo es el elemento que une el cubo con la garganta. En algunos tipos de poleas está formado por radios o aspas para reducir peso y facilitar la ventilación de las máquinas en las que se instalan. El cubo es la parte central que comprende el agujero, permite aumentar el grosor de la polea para aumentar su estabilidad sobre el eje. Suele incluir un chavetero que facilita la unión de la polea con el eje o árbol (para que ambos giren solidarios). La garganta (o canal) es la parte que entra en contacto con la cuerda o la correa y está especialmente diseñada para conseguir el mayor agarre posible. La parte más profunda recibe el nombre de llanta. Puede adoptar distintas formas (plana, semicircular, triangular...) pero la más empleada hoy día es la trapezoidal. (CEJAROSU, 2015)



Figura 1 Tipos de bandas de transmisión

Fuente: (CEJAROSU, 2015)

Cuando un mecanismo se transmite directamente entre dos ejes (motriz y conducido), se trata de un sistema de transmisión simple. Si se consideran dos poleas de diámetros "d1" y "d2" que giran a una velocidad "n1" y "n2" respectivamente, tal y como se indica en la Figura, al estar ambas poleas unidas entre sí por medio de una correa, las dos recorrerán el mismo arco, en el mismo periodo de tiempo. (CEJAROSU, 2015)

$$d1 * n1 = d2 * n2$$

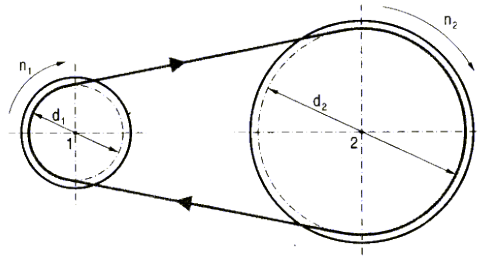


Figura 2 Transmisión de movimiento

Fuente: (CEJAROSU, 2015)

De donde se deduce que los diámetros son inversamente proporcionales a las velocidades de giro y, por tanto, para que el mecanismo actúe como reductor de velocidad, la polea motriz ha de ser de menor diámetro que la polea conducida. En caso contrario actuará como mecanismo multiplicador. El sentido de giro de ambos ejes es el mismo. (CEJAROSU, 2015)

El sistema de transmisión de potencia conocido como banda y polea, es uno de los más conocidos desde la antigüedad y de mayor aplicación debido a su bajo costo y gran utilidad.

El sistema consta básicamente de poleas, las cuales son ruedas con una forma determinada que acogen a la banda apropiada para dicha forma. Existen diferentes tipos de bandas y por ende diferentes tipos de poleas, ya es el caso de las bandas trapezoidal, plana y estriada.

Una de las desventajas al momento de utilizar estos elementos es que no poseen vida infinita, esto quiere decir, que no tienen una vida útil extensa, por lo cual se debe reemplazar cada cierto tiempo o a al menor desgaste presentado; para evitar daños prematuros, se usa “templadores”, los cuales son poleas que simplemente ejercen presión en la banda evitando vibraciones innecesarias.

La forma que se emplea para determinar la reducción o aumento de velocidad es bastante simple, ya que solo se hace relación a una pequeña ecuación matemática, en la cual no influyen los templadores u elementos adicionales.

Adicionalmente, podemos aprovechar una de las grandes ventajas que tiene este sistema, el cual es su fácil sujeción a la flecha del motor o elemento indicó, ocasionando un ahorro de espacio y manufactura; Este elemento es la chaveta, la cual nos permite transmitir la potencia con toda la seguridad de que no fallará.

2.2.2 Descripción de sistemas vibratorios

Vibración es la variación o cambio de un sistema en relación al tiempo, en torno a una posición de equilibrio estable, su característica fundamental es que es periódico, siendo frecuente el movimiento armónico simple, por lo que este movimiento adquiere una singular importancia en los estudios vibratorios.

Los sistemas mecánicos al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, principalmente periódicas, responden variando sus estados de equilibrio y, como consecuencia, presentan cambios que perturban su normal funcionamiento, presentan molestias al personal que los maneja y acortan la vida útil de los mecanismos.

Actualmente, el estudio y análisis de las vibraciones mecánicas ha adquirido gran importancia en la supervisión de los sistemas mecánicos, sobre todo de elementos de tipo rotativo. Independientemente de los planes de mantenimiento correctivo y preventivo, el plan de mantenimiento predictivo se basa, principalmente, en el estudio de las vibraciones mediante la instalación de sensores que permiten detectar vibraciones fuera de rango.

El análisis vibratorio de las máquinas es muy importante debido a que se puede minimizar el desgaste prematuro de los elementos que componen las máquinas.

A demás con este análisis podemos saber el estado de los diferentes mecanismos es decir el estado de rodamientos cojinetes, etc. Y debido a esto se puede realizar un mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes.

2.2.3 Trayectoria de mecanismos

Es de gran interés para el uso del cuadrilátero articulado el analizar el comportamiento del movimientos de los puntos de diferente eslabones consecutivos. Sobre el movimiento de las manivelas y el eslabón soporte poco hay que decir, pero en cuanto al movimiento de los puntos de la biela y del plano de trabajo asociado a ella se observa su gran complejidad. Podemos observar distintas familias de curvas: curvas lobulares, curvas con tramos casi rectilíneos, etc. (Olmedo, 2012)

Existen una gran variedad de curvas de biela o de acoplador que nos permiten seleccionar la geometría del cuadril articulado que nos preocupa la curva más aproximada a la deseada en la Figura 1 se presenta un mecanismo con las curvas de acoplador de una serie de puntos de diferentes eslabones. Una aplicación muy interesante del cuadrilátero articulado es aquella que resulta de hacer la manivela de salida de longitud infinita (degeneración de la manivela) y su conversión en una deslizadera tepunto de la biela articulado con la manivela de entrada describe círculos, mientras que el punto articulado con la deslizadera resultante de la degeneración describe una recta. Si la anterior recta le

alineamos de tal manera que pase por el eje de entrada y la deslizadera, esta última describe un movimiento muy cercano al armónico. (Olmedo, 2012)

Una de las herramientas más grandes que posee el diseñador de máquinas, es poder crear un mecanismo que describa una trayectoria dada, esto se logra gracias al accionamiento de la biela en los diferentes eslabones, y con ello el punto final del mecanismo es quien describe la Figura deseada; gracias a ello se ha podido clasificar las curvas en varios tipos y funcionalidades, con lo cual la creación de máquinas y sobre todo tareas dedicadas ha sido más fácil.

2.3 Introducción a los sistemas eléctricos y electrónicos

A finales de la década de 1940, la electrónica no tenía mayor consideración que la de ser una rama secundaria de la electricidad. Aunque por aquel entonces ya existían aparatos que podrían tener al menos exteriormente, cierto aspecto de "electrónicos", como receptores de radio, tocadiscos o rudimentarias máquinas de calcular no dejaban de ser circuitos y piezas puramente eléctricas unidas mediante cables. (Borges, Olivero, González, & Fernández, 2014)

Las investigaciones en busca de mejoras, tanto en las propiedades como, sobre todo, en el tamaño de las válvulas, dieron origen a la aparición de unos nuevos materiales llamados semiconductores, que a su vez provocaron la creación de una nueva disciplina tecnológica denominada electrónica. (Borges, Olivero, González, & Fernández, 2014)

Sea como fuere, tanto en electricidad como en electrónica, el movimiento de los electrones es el motivo fundamental del funcionamiento de sus circuitos; la única diferencia es que la segunda utiliza componentes tales como las válvulas, los semiconductores y los circuitos integrados, a los que genéricamente se denomina elementos activos en oposición a los usados en electricidad (resistencias, condensadores, bobinas etc.), llamados elementos pasivos. Gracias a tales elementos activos, la electrónica se constituye en una ciencia cuyo objetivo primordial es ser una perfecta herramienta para obtener, manejar y utilizar información. (Borges, Olivero, González, & Fernández, 2014)

Como ya hemos dicho, los componentes son elementos básicos con los que se construyen circuitos, y desempeñan, por lo tanto, las funciones elementales de la electrónica. Cada circuito, ya sea eléctrico o electrónico ha de contener, por lo menos, un componente pasivo que actúe como conductor y que provoque la circulación de una corriente eléctrica por dicho circuito. (Borges, Olivero, González, & Fernández, 2014)

Hoy en día los elementos eléctricos y electrónicos son muy fundamentales empezando

desde la vida diaria en el hogar, en la oficina y mucho más en la industria debido a que los avances tecnológicos se han dado gracias a los elementos eléctricos y electrónicos facilitando de una manera muy considerable la innovación en todos los campos, mejorando y agilizando los procesos.

2.3.1 Descripción de motores

El motor asíncrono fue creado en su forma más simple por Galileo Ferraris y Nikola Tesla en 1885-86. Dos años más tarde se construyó una máquina con el rotor en forma de jaula de ardilla. El rotor de bobinado se desarrolló a principios del S.XX. La diferencia del motor asíncrono con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que no existe corriente conducida a uno de sus devanados (normalmente al rotor). (María Jesús, s.f)

La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción. La denominación de motores asíncronos obedece a que la velocidad de giro del motor no es la de sincronismo, impuesta por la frecuencia de la red. Hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando en general a velocidad prácticamente constante. No obstante, y gracias al desarrollo de la electrónica de potencia (inversores y ciclo convertidores), en los últimos años está aumentando considerablemente la utilización de este tipo de motores a velocidad variable. (María Jesús, s.f)

La gran utilización de los motores asíncronos se debe a las siguientes causas: construcción simple, bajo peso, mínimo volumen, bajo coste y mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico. Hay dos tipos básicos de motores asíncronos: - Motores de jaula de ardilla: el devanado del rotor está formado por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están puestos en cortocircuito por dos anillos a los cuales se unen por medio de soldadura o fundición. - Motor de rotor bobinado: el devanado del rotor de estos motores está formado por un bobinado trifásico similar al del estátor, con igual número de polos. (María Jesús, s.f)

Un motor de rotor bobinado a igualdad de potencia y clase de protección, es más costoso, menos robusto y exige un mantenimiento mayor que uno de jaula de ardilla. No obstante, frente a este último posee fundamentalmente dos ventajas, que en algunos casos concretos resultan determinantes: las características del circuito eléctrico del rotor pueden ser modificadas en cada instante desde el exterior, y la tensión e intensidad del rotor son directamente accesibles a la medida o al control electrónico. Un motor trifásico es como el representado en la Figura 3. (María Jesús, s.f)

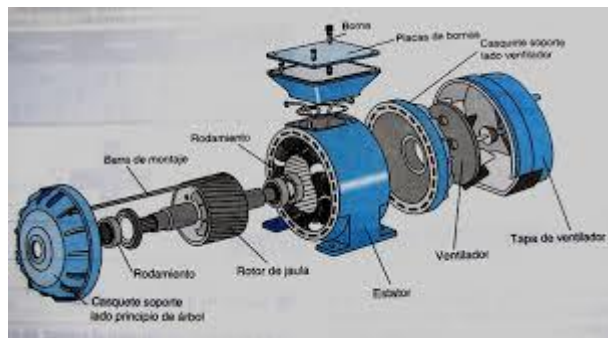


Figura 3 Motor

Fuente: (SAPIENSAMAN, s.f)

Los motores de corriente alterna desde su creación en 1886, han sido el eje de la industria ya que muchas máquinas poseen en su interior un motor de este tipo.

Gracias a los diferentes tipos de motores como lo es el jaula de ardilla o el rotor bobinado tenemos aplicaciones que sin ellos fuese muy costoso y complicado su ejecución.

Gracias a su fácil repetitividad, tenemos motores pequeños y

2.3.2 Descripción elementos de potencia

Los dispositivos semiconductores utilizados en Electrónica de Potencia se pueden clasificar en tres grandes grupos, de acuerdo con su grado de controlabilidad. (ANACAP) Dispositivos no controlados: en este grupo se encuentran los Diodos. Los estados de conducción o cierre (ON) y bloqueo o abertura (OFF) dependen del circuito de potencia. Por tanto, estos dispositivos no disponen de ningún terminal de control externo. (ANACAP, págs. 13-26)

Dispositivos semicontrolados: en este grupo se encuentran, dentro de la familia de los Tiristores, los SCR (“Silicon Controlled Rectifier”) y los TRIAC (“Triode of Alternating Current”). En éste caso su puesta en conducción (paso de OFF a ON) se debe a una señal de control externa que se aplica en uno de los terminales del dispositivo, comúnmente denominado puerta. Por otro lado, su bloqueo (paso de ON a OFF) lo determina el propio circuito de potencia. Es decir, se tiene control externo de la puesta en conducción, pero no así del bloqueo del dispositivo. Dispositivos totalmente controlados: en este grupo encontramos los transistores bipolares BJT (“Bipolar Junction Transistor”), los transistores de efecto de campo MOSFET (“Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor”), los transistores bipolares de puerta aislada IGBT (“Insulated Gate Bipolar Transistor”) y los tiristores GTO (“Gate Turn-Off Thyristor”), entre otros. (ANACAP)

En la electrónica de potencia tenemos un gran campeón, el cual ha permitido controlar equipos de manera rudimentaria mediante control on –off.

Con el paso del tiempo y el desarrollo de nueva tecnología, se han desarrollado elementos que permiten comandar el control desde un dispositivo externo, gracias a una tercera entrada para el dispositivo de potencia y así poder tener un manejo más eficiente del mismo.

Al poder realizar el control desde un dispositivo externo, estamos separando la etapa de control (bajo voltaje) y la de potencia (alto voltaje), con lo cual precautelamos los equipos de control ya que son de costos elevados y requieren un conocimiento más especializado.

2.3.3 Descripción de elementos de instrumentación.

Un sistema de medición, es aquel conjunto de elementos que forma un instrumento, capaz de convertir una variable física en una señal indicación a ser interpretada por el hombre con mayor facilidad. Se puede decir que un sistema instrumentado es una extensión de la habilidad del ser humano para medir y controlar su entorno. (SAPIENSAMAN, s.f)

En otras palabras, la instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en determinado proceso, lo cual servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, y de no ser así, podremos usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva. (SAPIENSAMAN, s.f)

La instrumentación es lo que ha permitido el gran avance tecnológico de la ciencia actual en casos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y mucho otros de los aspectos de nuestro mundo moderno; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan censar lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de control pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto. (SAPIENSAMAN, s.f)

Los elementos de instrumentación, son muy importantes, debido a que mediante estos podemos verificar y conocer el estado actual de la maquina o del proceso que esté realizando la misma.

A demás es una pieza clave muy importante para la realización del control debido a que ayuda a la retroalimentación, es decir a convierte una variable física en una señal lo que permite al controlador saber el estatus del proceso y realizar una acción correctiva.

2.4 Introducción a los elementos de control.

El control es un proceso cíclico y repetitivo. Está compuesto de cuatro elementos que se suceden:

Establecimiento de estándares: Es la primera etapa del control, que define los estándares o criterios de evaluación o comparación. Un estándar es una norma o un criterio

que sirve de base para la evaluación o comparación de alguna cosa. Evaluación del desempeño: Es la segunda etapa del control, que tiene como fin evaluar lo que se está haciendo. (EUMED, s.f)

Comparación del desempeño con el estándar establecido: Es la tercera etapa del control, que compara el desempeño con lo que fue establecido como estándar, para verificar si hay desvío o variación, esto es, algún error o falla con relación al desempeño esperado. Acción correctiva: Es la cuarta y última etapa del control que busca corregir el desempeño para adecuarlo al estándar esperado. La acción correctiva es siempre una medida de corrección y adecuación de algún desvío o variación con relación al estándar esperado. Existen tres tipos básicos de control, en función de los recursos, de la actividad y de los resultados dentro de la institución, estos son:

1. Control preliminar. -Se enfoca en la prevención de las desviaciones en la calidad y en la cantidad de recursos utilizados en la Institución
2. Control concurrente.- Vigila las operaciones en funcionamiento para asegurarse que los objetivos se están alcanzando, los estándares que guían a la actividad en funcionamiento se derivan de las descripciones del trabajo y de las políticas que surgen de la función de la planificación
3. Control retroalimentación.- Se centra en los resultados finales, las medidas correctivas se orientan hacia la mejora del proceso para la adquisición de recursos o hacia las operaciones entre sí. (EUMED, s.f)

El control es una de las ramas más grandes de la ingeniería electrónica y es mediante el cual podemos manejar sistemas, máquinas y dispositivos según sean las necesidades o nuestro gusto, por esta razón, el control posee grandes divisiones o estados en los cuales se encuentra.

Podemos decir que parte del control, es el determinar la acción que sucederá en un futuro, así como tomar medidas correctivas para procedimientos pasados. Es necesario contar con un elemento que nos permita retro alimentar la información existente en dicho momento; Mediante este elemento se tomarán acciones correctivas, o mantener un estándar de funcionamiento adecuado.

2.4.1 Descripción de sistemas de control a implementarse PID

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida de un grado de libertad:

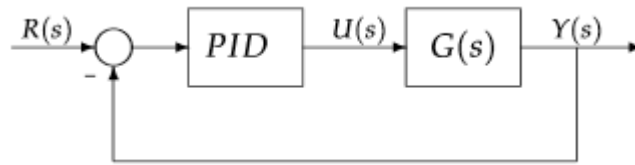


Figura 4 Controlador PID

Fuente: (Virginia, 2002)

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

Proporcional.- La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobre oscilación. (Virginia, 2002)

Integral.- El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante K_i . Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario. (Virginia, 2002)

Derivativo.- La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point". La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. (Virginia, 2002)

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente. (Virginia, 2002)

La realización de control inteligente es primordial para procesos donde se necesita que una variable física se encuentre en un estado estable, es decir que se asemeje lo más cercano posible al “set point” o punto de referencia.

Debido a lo mencionado anteriormente el control PID es un mecanismo muy utilizado, debido a que combinado cada una de las acciones correctivas de los diferentes tipos de controladores que en este caso es, el proporcional, el integral y el derivativo nos dé como resultado una salida con el menor error posible y los valores de la variable estén acorde a los valores del punto de referencia o entrada.

2.4.2 Descripción de la unidad de control (ARDUINO)

Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing. Es decir, una plataforma de código abierto para prototipos electrónicos. Al ser open source, tanto su diseño como su distribución, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin necesidad de licencia. (Jonathan, Amagandi, s.f)

El programa se implementará haciendo uso del entorno de programación propio de Arduino y se transferirá empleando un cable USB. Si bien en el caso de la placa USB no es preciso utilizar una fuente de alimentación externa, ya que el propio cable USB la proporciona, para la realización de algunos de los experimentos prácticos sí que será necesario disponer de una fuente de alimentación externa ya que la alimentación proporcionada por el USB puede no ser suficiente. El voltaje de la fuente puede estar entre 6 y 25 Voltios. (Jonathan, Amagandi, s.f)



Figura 5 Arduino

Fuente: (Jonathan, Amagandi, s.f)

La placa Arduino al ser software libre nos permite realizar trabajos con total libertad sin necesidad de licencia y gracias a su alimentación USB o alimentación externa,

nos permite realizar trabajos tanto unido a la computadora como una tarjeta de adquisición de datos, como un entorno de emisión y recepción de información.

3 Capítulo 3.

3.1 Diseño mecánico

El diseño mecánico es una de las partes más importantes en la construcción de la máquina, ya que depende la seguridad y el correcto movimiento de los elementos mecánicos para determinar que una máquina es eficiente.

El diseño de elementos mecánicos tiene como objetivo el no sobre dimensionar y del mismo evitar las fallas por material defectuoso o carencia del mismo, por esta razón se torna muy importante ser cuidadoso en los valores que se utilizan, basándonos en criterios conservadores o radicales.

Para nuestro diseño, nos basamos en un criterio conservador, ya que la máquina no será diseñada en serie y por ende no nos preocupa los costos de producción, así mismo la seguridad es sumamente importante, y hemos visto que este equipo no puede ser causante de daños a otras máquinas, al producto que se encuentra en agitación y mucho menos a seres humanos; por esta razón, vamos a emplear un factor de seguridad que se encuentra alrededor de 1.

3.1.1 Diseño y dimensionamiento de elementos mecánicos

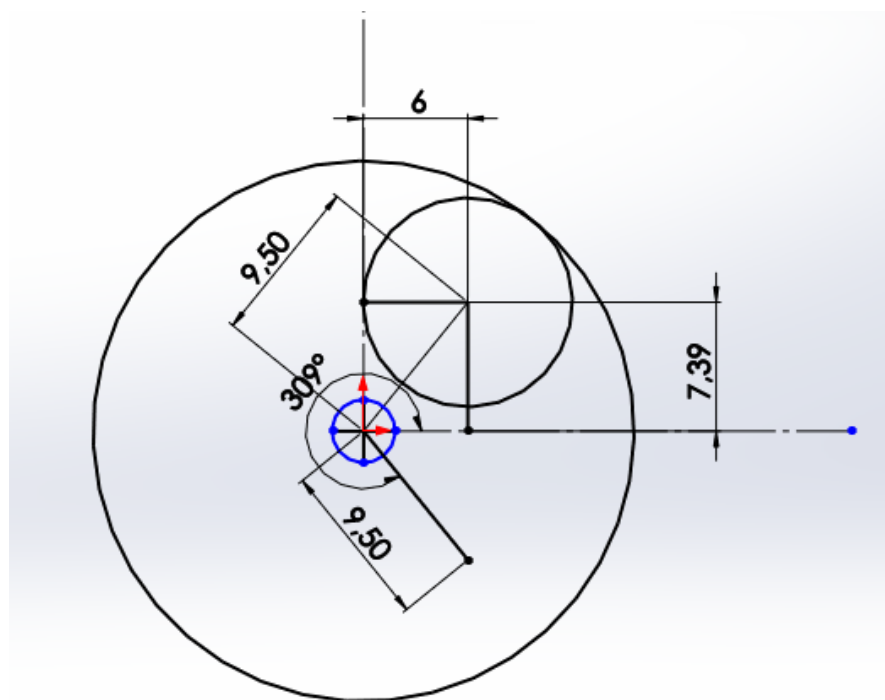
El diseño de elementos mecánicos tiene que ver con la selección adecuada de materiales, procesos de manufactura y geométrica del elemento mecánico.

Del mismo modo, existen elementos que no se los puede diseñar, sino, los tomamos de la existencia en el mercado este es el caso de los rodamientos, bandas y pernos etc.

En el dimensionamiento de elementos mecánicos, se debe dar importancia a la seguridad y al costo de manufactura, pero en el caso del agitador orbital, el costo de fabricación pasa a ser un rubro secundario ya que no se fabricará en serie y no se escatimará costos al momento de obtener el producto final.

3.1.1.1 Diseño de poleas.

En este punto contamos con una polea especial, la cual posee un desbalance en su geometría, la causa de la existencia de este desbalance es debido al movimiento orbital descentrado. El cálculo de la masa que se debe retirar para lograr el balance adecuado con las bandejas se presenta a continuación.



Datos

$$m = 1.9$$

$$Cg = 9.50$$

$$Px = 6$$

$$Py = 7.39$$

Ecuaciones de puntos en los respectivos ejes

$$mRx = 11.4$$

$$mRy = 14.04$$

Calculo de ángulo

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{mRy}{mRx} \right)$$

$$\theta = 50.927$$

$$\text{Angulo} = 360 - \theta$$

$$\text{Angulo} = 309.1$$

Calculos de la masa de balanceo

$$mR = \sqrt{(mRx)^2 + (mRy)^2}$$

$$Mr = 18.086$$

$$\text{masa} = \frac{mR}{Cg}$$

$$\text{Masa} = 1.90$$

De los cálculos anteriores se obtiene la siguiente tabla de resultados.

Tabla 1
Diseño de Poleas

Masa Agregada	Angulo	Material.
1.9kg	309.1	Acero

3.1.1.2 Dimensionamiento de rodamientos.

Los rodamientos son elementos que no podemos diseñar, pero debemos saber seleccionarlos, esto es con el fin de tomar el más adecuado de la gran oferta que posee el mercado, esto proceso se lo realiza mediante el siguiente cálculo.

57.088
DATOS $A := 4 \text{ yr}$
 $Ft := 57.088$ FUERZA EXISTENTE. $A = 35063.251 \text{ hr}$
 $af := 1.2$ FACTOR DE APLICACION (TABLA 11-5)
 $nd := 170$ VELOCIDAD DE GIRO DEL EJE
 $\varphi D := 35000$ TIEMPO DE VIDA UTIL
 $Rd := 0.99$ CONFIABILIDAD
 $L10 := 10^6$
 $X0 := 0.02$ $\theta := 4.439$ $b := 1.483$ PARAMETROS WEIBULL

DESARROLLO

$$XD := \frac{60 \cdot \varphi D \cdot nd}{L10} = 357$$

Vamos a utilizar un cogiente de bolas, por lo cual $a=3$ La vida de diseno es 306 veces la vida L10

$a := 3$ RODAMIENTO DE BOLAS

$$C10 := af \cdot Ft \cdot \left(\frac{XD}{\left(X0 + \left(\theta \cdot (1 - Rd) \right)^{\frac{1}{b}} \right)} \right)^{\frac{1}{a}} = 806.35$$

$$aux := C10 \cdot lbf = 3.587 \text{ kN}$$

Model	Dimension(mm)					Basic load rating(kN)		Steel ball		Limiting speed(r/min)		Weight(g)
	d	D	B	radius	Cr dynamic	Cor static	qty.	size	grease	oil		
604	4	12	4	0.2	0.97	0.36	6	2.381	43000	51000	2	
605	5	14	5	0.2	1.33	0.505	6	3.175	39000	46000	3.5	
606	6	17	6	0.3	2.19	0.865	7	3.5	30000	38000	6	
607	7	19	6	0.3	2.24	0.91	6	3.969	28000	36000	8	
608	8	22	7	0.3	3.35	1.4	7	3.969	26000	34000	12	
609	9	24	7	0.3	3.4	1.45	7	3.969	22000	30000	14	
6000	10	26	7	0.3	4.55	1.96	7	4.763	20000	28000	19	
6001	12	28	7	0.3	5.6	2.39	8	4.763	19000	26000	21	
6002	15	32	9	0.3	6.8	2.84	9	4.763	18000	24000	30	
6003	17	35	10	0.3	6.8	3.35	8	6.747	17000	22000	39	
6004	20	42	12	0.6	9.4	5.05	8	7.938	15000	19000	69	
6005	25	47	12	0.6	10.1	5.85	9	7.938	13000	17000	80	
6006	30	55	13	1	13.2	8.3	9	9.525	12000	15000	116	
6007	35	62	14	1	16	0.3	9	11.112	10000	13000	155	
6008	40	68	15	1	16.8	11.5	9	12	8000	11000	185	
6009	45	75	16	1	21	15.1	10	12	7200	9000	231	
6010	50	80	16	1	21.8	16.6	10	12.7	6400	7800	250	
6011	55	90	18	1.1	28.3	21.2	10	14.288	5700	7000	362	
6012	60	95	18	1.1	29.6	23.2	10	15.081	5000	6300	385	
6013	65	100	18	1.1	30.5	25.2	-	-	5000	6000	408	

Una vez realizado el cálculo respectivo, podemos determinar los dos rodamientos que difieren muy poco el uno del otro, la diferencia más importante es en la geometría.

Tabla 2
Dimensionamiento de rodamientos

CÓDIGO	DIAMERO EXT[mm]	DIAMETR INT[mm]	ANCHO[mm]	C DINAMICA
6000	26	10	7	4.55
6002	32	15	9	5.1

3.1.1.3 Dimensionamiento de bandas de transmisión.

El sistema de transmisión mediante banda y poleas, es uno de los más importantes en el mundo de la transmisión de movimiento debido a su gran ventaja de flexibilidad, bajo costo, y gran prestación.

Debido a las altas revoluciones que posee nuestro motor, banda debe poseer características especiales tanto en ancho, espesor y material, por lo cual estos puntos se los debe analizar meticulosamente con un criterio de ingeniería más cercano a la realidad.

Los siguientes cálculos se encuentran basados a la teoría impartida por Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley en el capítulo 17 “Elementos Mecánicos Flexibles”

Se realizó un gráfico en Autocad para determinar el ángulo que forman las bandas con respecto a la horizontal y así se determinó un paso importante para los cálculos pertinentes.

DATOS

$H_{nom} := \frac{1}{4}$	POTENCIA DEL MOTOR	$r := 10.58$	RELACION DE TRANSMISION
$d := 0.6$	DIAMETRO POLEA MENOR	$nd := 1.05$	FACTOR DE DISEÑO
$D := d \cdot r = 6.348$	DIAMETRO POLEA MAYOR	$\gamma := 0.039$	PESO ESPECIFICO (TABLA 17-2)
$n := 1800$	RPM MOTOR	$K_s := 1.15$	FACTOR DE SERVICIO (TABLA 17-15)
$C := 0.55$	DISTANCIA ENTRE EJES	$C_v := 1$	FACTOR DE CORRECCION DE VELOCIDAD
$t := 0.25$	TAMAÑO (plg)	$g := 32.17$	GRAVEDAD
$f := 0.8$	COEFICIENTE DE FRICCION	$F_a := 275$	TENSION PERMISIBLE
$C_p := 0.72$	FACTOR DE CORRECCION POLEA		

DESARROLLO

$$F1a := F_a \cdot b \cdot C_p \cdot C_v \rightarrow 198.0 \cdot b \quad \text{Ecu. 17-12}$$

$$Hd := H_{nom} \cdot K_s \cdot nd = 0.302$$

$$T := \frac{63025 \cdot Hd}{n} = 10.57$$

$$\theta d := \left(\pi - 2 \operatorname{asin} \left(\frac{D-d}{2 C \cdot 12} \right) \right) = 2.241$$

$$\theta D := \left(\pi + 2 \operatorname{asin} \left(\frac{D-d}{2 C \cdot 12} \right) \right) = 4.043$$

$$\theta d \cdot \frac{180}{\pi} = 128.372$$

$$\theta D \cdot \frac{180}{\pi} = 231.628$$

Ecu. 17-1

$$\exp(f \cdot \theta d) = 6.004$$

Calculamos la tensión centrífuga en términos del ancho de banda

$$\omega := 12 \cdot \gamma \cdot b \cdot t \rightarrow 0.117 \cdot b$$

$$V := \pi \cdot d \cdot \frac{n}{12} = 282.743$$

$$F_c := \frac{12 \cdot \gamma \cdot b \cdot t}{g} \cdot \left(\frac{V}{60} \right)^2 \rightarrow 0.08076385945249529467 \cdot b \quad \text{Ecu. (c)}$$

$$aux := F1a - F2 \rightarrow 198.0 \cdot b - F2$$

$$aux := 2 \frac{T}{d} \rightarrow 35.232725694444446667$$

$$F2 := F1a - (aux) \rightarrow 198.0 \cdot b - 35.232725694444446667$$

Para las condiciones de diseño, es decir, al nivel de potencia Hd empleamos la ecuación que se tiene

$$F_i := \frac{F1a + F2}{2} - F_c \rightarrow 197.919236140547504705 \cdot b - 17.616362847222223333$$

Poniendo el desarrollo de la fricción en su nivel más alto obtenemos

$$f\theta := \ln\left(\frac{F1a - F_c}{F2 - F_c}\right) \rightarrow \ln\left(\frac{198.0 \cdot b + -0.08076385945249529467 \cdot b}{197.919236140547504705 \cdot b - 35.232725694444446667}\right)$$

$$auxil := f \cdot \theta d = 1.792$$

Al resolver la ecuación anterior para el ancho de la banda b, en la que la fricción se desarrolla por completo, da.

$$b := auxil = f\theta \xrightarrow{\text{solve, } b} 0.21359123486091672775$$

$$b = 0.214$$

$$b \cdot 25.4 = 5.425$$

$$\frac{7}{32} = 0.219$$

Un ancho de banda mayor a 0.220 plg, desarrollará una fricción menor que f=0.8.

COMPROBACION

$$F_c := \frac{12 \cdot \gamma \cdot b \cdot t}{g} \cdot \left(\frac{V}{60}\right)^2 = 0.017$$

$$F1a := F_a \cdot b \cdot C_p \cdot C_v = 42.291$$

$$F2 := F1a - (aux) = 7.058$$

$$\frac{F1a}{F2} = 5.992$$

Relación existente en tre las dos fuerzas generadas por la banda.

$$F_i := \frac{F1a + F2}{2} - F_c = 24.657$$

$$Ht := \left(\frac{F1a - F2}{33000}\right) \cdot V = 0.302$$

$$f' := \frac{1}{\theta d} \cdot \ln\left(\frac{F1a - F_c}{F2 - F_c}\right) = 0.8$$

$$\omega := 12 \cdot \gamma \cdot b \cdot t = 0.025$$

$$dip := \frac{(C \cdot 12)^2 \cdot \omega \cdot 1}{96 \cdot F_i} = 0$$

Tabla 3
Dimensionamiento de Banda

CÓDIGO	ANCHO [plg]	ESPESOR[plg]	MATERIAL
240	2L	7/32	Polim ida

3.1.1.4 Diseño de ejes.

El uso de ejes descentrados es una herramienta muy importante en la construcción de máquinas, ya que esta excentricidad nos permite generar movimientos particulares que un mecanismo tradicional no lo lograría.

El eje que transmitirá la potencia entregado por el motor eléctrico tendrá una forma particular, ya que la polea se alojará en la parte central, evitando el uso del hombro comúnmente existente en los ejes tradicionales.

El diseño de ejes excéntricos se basa en la misma teoría de los ejes rectos, ya que simplemente se desplaza el extremo y esto no afecta notablemente en el comportamiento del mismo.

Mediante un criterio conservador, y basándonos en el funcionamiento y utilidad del equipo, hemos decidido utilizar un factor de seguridad alrededor de uno (1), con lo cual la seguridad, y el costo se encuentran siendo considerados.

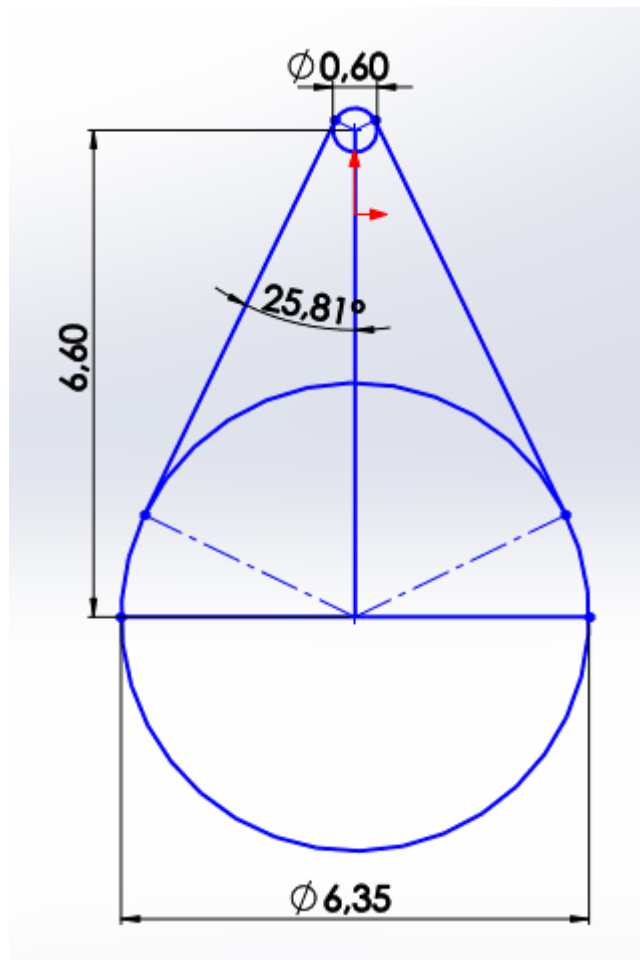


Figura 6 Ángulo existente en la banda

DATOS

$$H_{nom} := \frac{1}{4} \quad n := 20 \quad K_s := 1.15 \quad nd := 1.05 \quad D := 6.348$$

$$H_d := H_{nom} \cdot K_s \cdot nd = 0.302$$

$$T := \frac{63025 \cdot H_d}{n} = 951.284 \quad F_{tg} := \frac{T}{\frac{D}{2}} = 299.711$$

$$F_{tg} = 6 F_4 - F_4$$

$$F_4 := F_{tg} = 6 F_4 - F_4 \xrightarrow{\text{solve}, F_4} 59.942255434782612$$

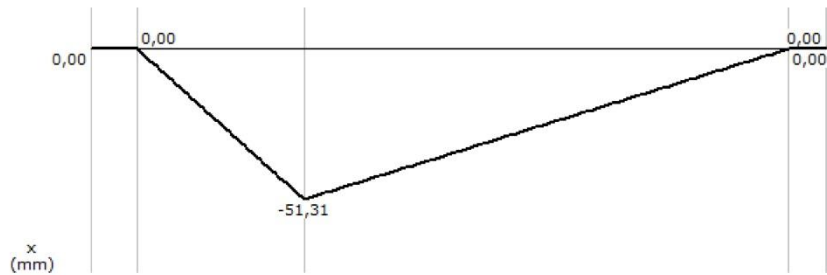
$$F_3 := F_{tg} = F_3 - F_4 \xrightarrow{\text{solve}, F_3} 359.653532608695672$$

BAJA VELOCIDAD

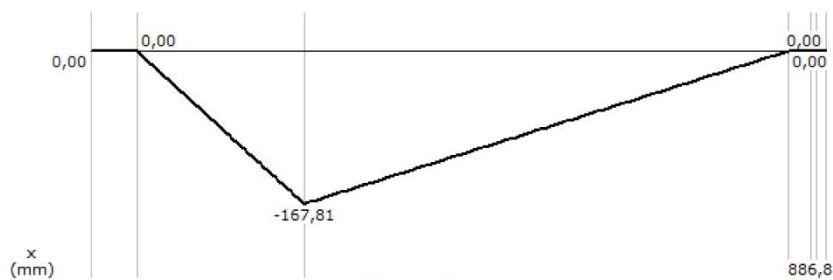
$$\theta_{banda} := 25.81^\circ$$

$$F_t := F_3 - F_4 = 299.711$$

$$F_{txy} := F_t \cdot \sin(\theta_{banda}) = 130.491 \quad F_{txz} := F_t \cdot \cos(\theta_{banda}) = 269.813$$



Momento flector plano XY



Momento flector plano XZ

$$MCmaxXY := -51.31 \quad MCmaxXZ := -167.81$$

$$MCmax := \sqrt{MCmaxXZ^2 + MCmaxXY^2} = 175.479$$

En el punto seleccionado vemos un momento flector alto, pues existe una concentracion de esfuerzos.

A partir de la tabla 7-1 del libro de Shigley, podemos estimar los siguientes valores. Esto lo hacemos con el objetivo de tener un primer pase rapido y conservador. Tomando las similitudes descritas posteriormente.

$$Kt := 1.7 \quad Kts := 1.5 \quad Kf := Kt \quad Kfs := Kts$$

ACERO INOXIDABLE 304, Con las propiedades mecanicas descritas.

$$Sut := 83 \quad Sy := 40 \quad Ma := MCmax \quad Tm := T$$

Considere el valor de $kb=0.9$, el cual cambiara una ves conocido el valor del diametro.

Tomando la ecuacion 6-19 del libro de Shigley, tomamos estos valores.

$$a := 2.7 \quad b := -0.265$$

$$ka := a \cdot Sut^b = 0.837$$

$$kc := 1 \quad kd := 1 \quad ke := 1 \quad kb := 0.9$$

Para la primera estimacion del diametro, se utiliza el criterio de ED-GOODMAN, de la ecuacion 7-8 del libro de Shigley. Este criterio es bastante bueno para el diseno inicial, puesto que es simple y conservador.

$$Se := ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot 0.5 \cdot Sut = 31.268$$

Segun lo leido en el libro de Norton, el factor de seguridad depende de la actividad, por lo cual hemos decidido darle un valor de 2, a pesar de que no sera una maquina propensa a causar dano a terceros como a ella mismo.

$$n := 2$$

$$d := \left(\frac{16 \cdot n}{\pi} \cdot \left(\frac{(2 \cdot Kf \cdot Ma)^2}{Se \cdot 10^3} + \frac{(3 \cdot (Kfs \cdot Tm)^2)^{\frac{1}{2}}}{Sut \cdot 10^3} \right) \right)^{\frac{1}{3}} = 0.792$$

Segun el criterio, de que el hombro debe ser un 40% mas alto que la zona donde se genera la transmision de potencia, realizamos esta consideracion.

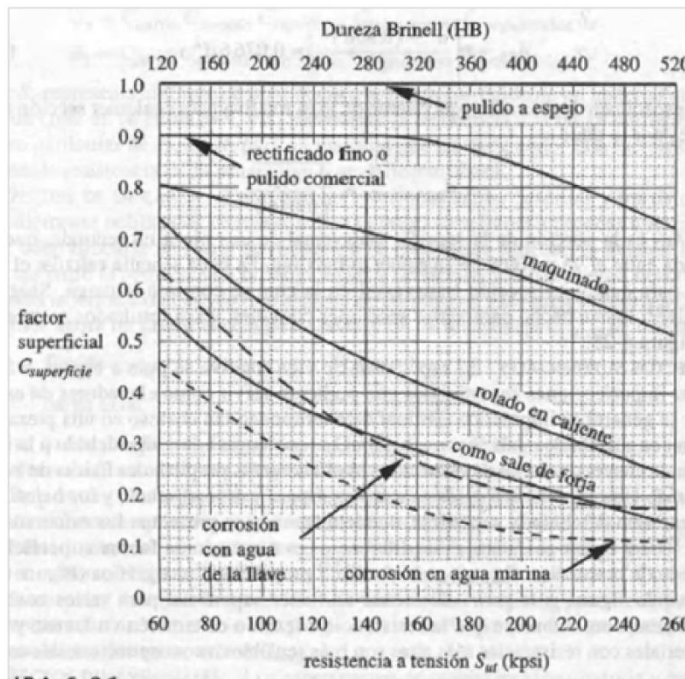
$$d \cdot 1.3 = 1.03$$

$$d := 1.22$$

Probablemente todas las consideraciones realizadas anteriormente son conservadoras, por lo tanto, seleccionamos el tamaño standar de 1.22

Una vez conocido un diametro preliminar, contianuamos con el calculo de kb, esto lo hacmos en base a los siguientes graficos.

$$k_b = \begin{cases} 0.869d^{-0.097} & 0.3 \text{ pulg} < d \leq 10 \text{ pulg} \\ 1 & d \leq 0.3 \text{ pulg o bien } d \leq 8 \text{ mm} \\ 1.189d^{-0.097} & 8 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm} \end{cases}$$



$$kb := \left(\frac{1.625}{0.3} \right)^{-0.107} = 0.835 \quad \text{Ecuacion 6-20 de Shigley}$$

$$Se := ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot 0.5 \cdot Sut = 28.997$$

σ_a

Calculando los esfuerzos existentes, realizamos el siguiente procedimiento.

 $kt := 1.6 \quad q := 0.82 \quad kf := 2$ Obtenido de la ecuacion 6-32

$$Kf := 1 + q \cdot (kt - 1) = 1.492$$

$$kfs := 1.35 \quad qs := 0.85$$

$$Kfs := 1 + qs \cdot (kfs - 1) = 1.298$$

		PERFIL		TERMINACION DE CURVA	
		FLEXION	TORSION	FLEXION	TORSION
K_f	RECOCIDA	1.6	1.3	1.3	1.3
	TEMPLADA Y ESTIRADA	2.0	1.6	1.6	1.6

calculos de esfuerzo
flexion

$$\sigma_a := \frac{32 \cdot K_f \cdot MC_{max}}{\pi \cdot d^3} = 1468.638$$

Torsion

$$\sigma_m := \left(3 \left(\frac{16 \cdot K_{fs} \cdot Tm}{\pi \cdot d^3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 5996.097$$

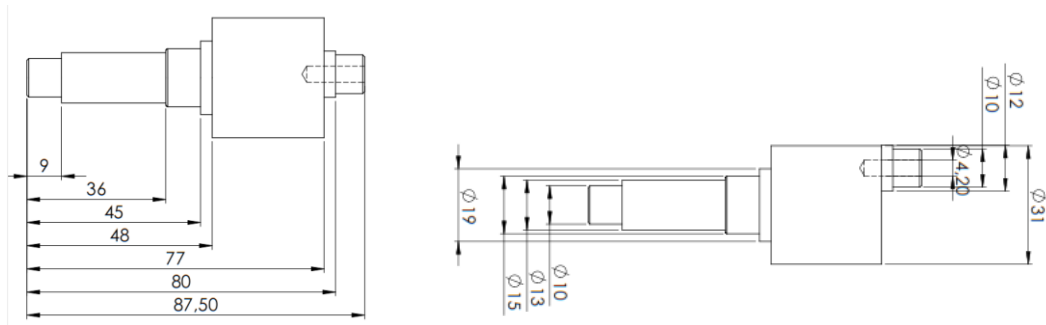
$$nf := \frac{1}{nf} = \frac{\sigma_a}{Se \cdot 1000} + \frac{\sigma_m}{Sut \cdot 1000} \xrightarrow{\text{solve, nf}} 8.1373062620204674419$$

$$nf = 8.137$$

Realizando una conversión, podemos ver que 1.22 plg son iguales a 31mm

Tabla 4
Ejes

MATERIAL	LONG MAX [mm]	DIAM MAX [mm]
Acero	87.50	31
INOX 304		



3.1.2 Diseño de la estructura o carcasa.

La carcasa es uno de los elementos más importantes en el sistema mecánico del agitador, ya que es la protección directa de todos los elementos electrónicos y mecánicos que tenemos internamente, por lo cual su robustez debe ser firme y con un acabado superficial de alta calidad, ya que el aspecto estético es sumamente importante y habla muy bien de las personas que fabrican maquinaria.

3.1.2.1 Diseño de la estructura principal

En cuanto a la estructura, se diseña con una hoja de tol negro de 2mm de espesor, debido a su peso, ya que el adicionar una cantidad de masa extra a todo el equipo, garantizamos que las vibraciones serán eliminadas al máximo.

Al momento de fabricar, se debe tomar en cuenta todos los elementos que deben ser colocados en la carcasa, como es el caso de una pantalla LCD, un botón de encendido y un teclado numérico, cada uno de estos elementos debe tener un dimensionamiento adecuado, ya que gracias a esto logramos un apriete adecuado entre el elemento y la carcasa, dándonos mayor estabilidad y robustez.

Se presenta el dimensionamiento de una pantalla LCD 16x4, la cual fue empleada como medio de visualización de todos los parámetros más importantes ante el usuario.

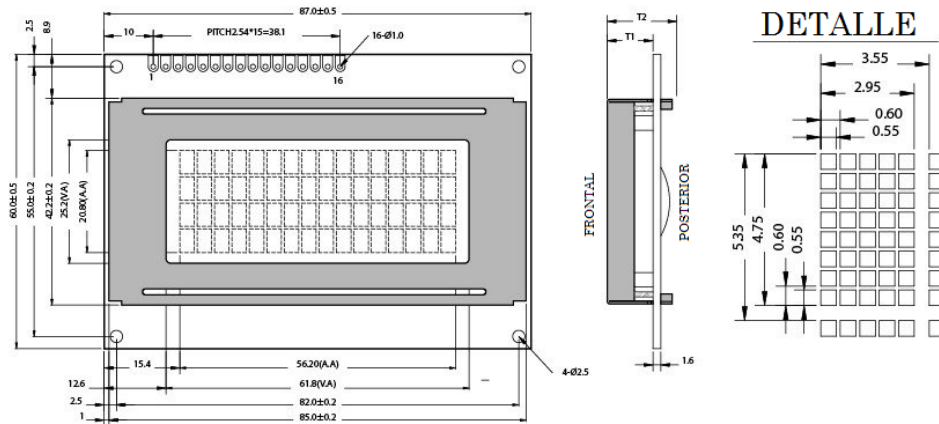


Figura 7 Dimensionamiento de pantalla LCD 16x4

Fuente: (Alibaba, s/f)



Figura 8 Figura real de una pantalla LCD 16x4

Fuente: (Alibaba, s/f)

Un elemento muy importante es el botón de encendido, el cual permite arrancar todo el sistema eléctrico y por ende posteriormente el funcionamiento adecuado del sistema mecánico.

El elemento que se empleó es un botón con luz piloto, la cual nos indica si el equipo está energizado, y posteriormente, nos permite encender el sistema.

Presentamos el dimensionamiento del botón empleado en nuestro proyecto.

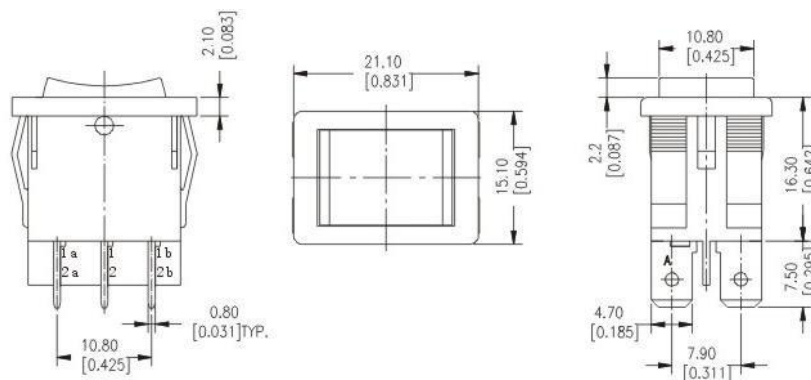


Figura 9 Dimensionamiento del Switch on /off

Fuente: (Electrónica del Norte, 2015)



Figura 10 Switch ON/OFF con Luz Piloto

Fuente: (Electrónica del Norte, 2015)

El teclado que utilizamos para nuestro propósito es un teclado matricial de 4x4, el cual posee en sus botones extras diferentes funciones las cuales se describirá más adelante, por lo pronto nos centramos en el dimensionamiento y la descripción.

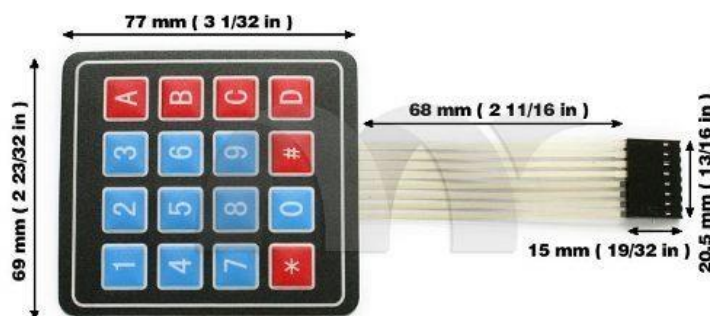


Figura 11 Dimensionamiento de teclado matricial

Fuente: (Mercado Libre, 2014).

Para la base se ha tomado en cuenta los elementos que tienen que ser fijados y debido a eso vamos a utilizar una plancha de acero AISI 1010 de 20mm

Por lo tanto se ha realizado un diagrama del método de diseño de la estructura principal.

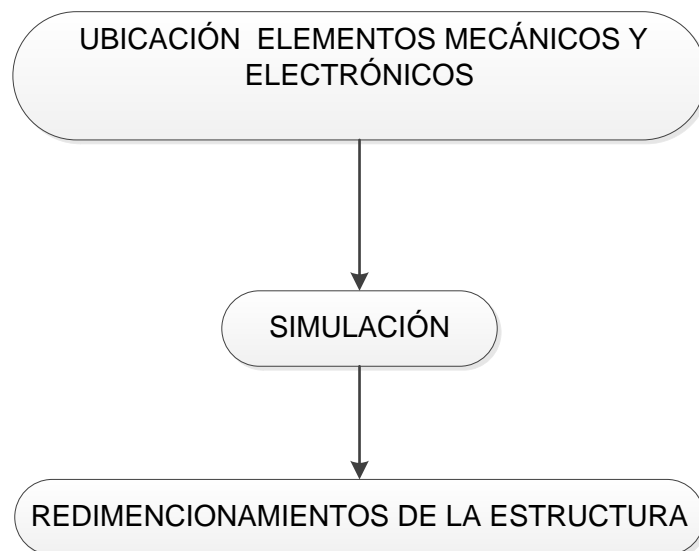


Figura 12 Método de Diseño de la estructura

Todos los elementos que forman parte de la estructura se encuentran detallados en anexos.

3.1.2.2 Diseño del sistema anti vibraciones

Para evitar las vibraciones se utiliza amortiguadores, los cuales encontramos en el mercado en varios tipos, modelos y principios como son hidráulicos, neumáticos, rozamiento, magnéticos o de masa como es el caso de nosotros.

Un amortiguador de masa, lo que hace es evitar las vibraciones debido a su gran cantidad de masa, la cual atenúa totalmente las vibraciones ya que se dispersa por todo el elemento y se evita los movimientos indeseados.

En cuanto a este diseño no fue necesario realizar ningún sistema debido a que la polea fue balanceada para evitar vibraciones y el peso en sí de la base y la estructura es muy considerable en cual nos sirve como un amortiguador de masa.

3.1.2.3 Simulación del movimiento orbital SolidWorks

La simulación del movimiento orbital se lo realizo en SolidWorks en cual nos permite realizar una simulación exacta y muy asemejada en la vida real.

Para el movimiento orbital se utilizó varios componentes mecánicos, que en conjunto ayudan a realizar dicho movimiento.

El uso de un eje descentrado o excéntrico nos permite generar un movimiento orbital el cual es el deseado para nuestra aplicación de agitación de medios acuosos.

En la simulación empleamos tres ejes de este tipo, como el que se muestra en la gráfica.



Figura 13 eje excéntrico.

El uso de rodamientos nos permite generar movimientos circulares de un elemento sin que esté presente desgaste. Una de las ventajas en el uso de este tipo de elementos es su fácil intercambiabilidad.



Figura 14 Rodamiento # 6000

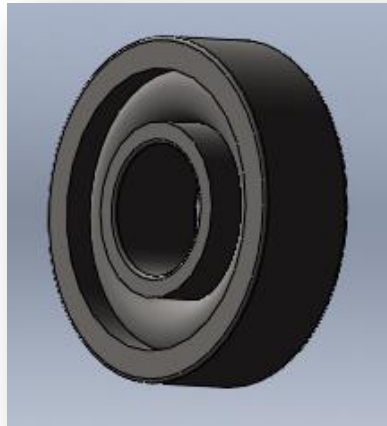


Figura 15 #Rodamiento 6002

Un bocín, es un elemento mecánico que permite el movimiento circular de elementos mecánicos como ejes sin causar un deterioro en los elementos más costosos o importantes. En nuestro caso, el bocín es donde se alojan los rodamientos y el eje, dando firmeza y estabilidad a todo el sistema.

Como se puede observar en la Figura, el bocín cuenta con un destaje donde se aloja el rodamiento, esto es un punto sumamente importante ya que es aquí donde se define la altura y con ello la alineación de todo el mecanismo del agitador orbital.



Figura 16 Bocín de alojamiento

Una vez delimitados los elementos mecánicos, procedemos con el ensamble de todas las partes observar el movimiento del mecanismo y de esta manera comprobamos el correcto funcionamiento de cada uno de elementos descritos anteriormente.

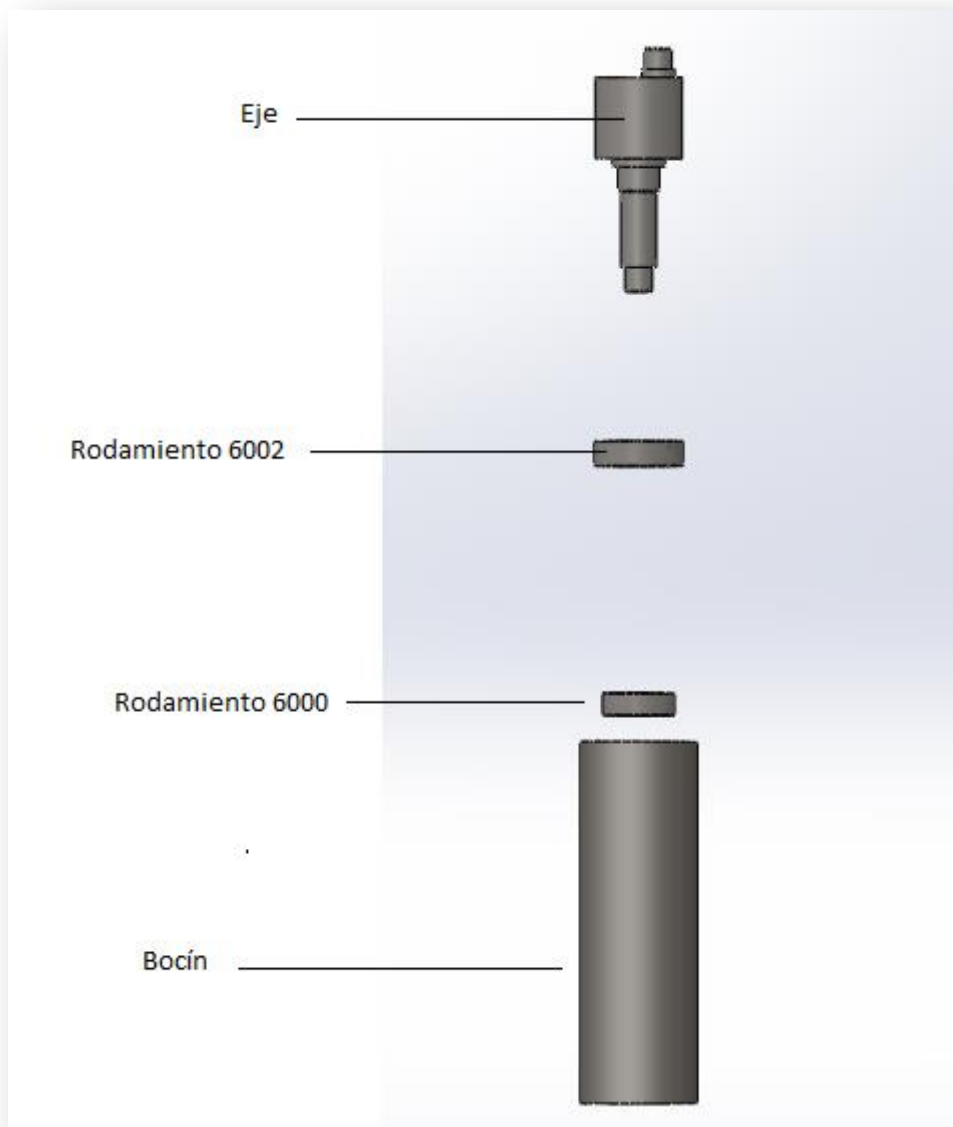


Figura 17 Vista explotada del ensamble

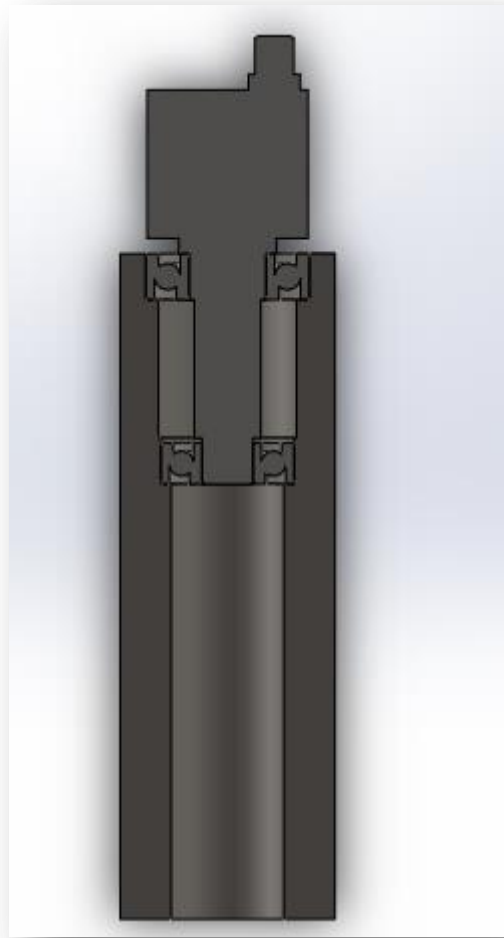


Figura 18 Vista en corte del ensamble

Una vez concretado el ensamble, procedemos a verificar el movimiento deseado y con ello el correcto funcionamiento. El software empleado, nos indica si existen interferencias, lo que significa que existen elementos que presentan choques o cruces entre sí, pero debido a un buen dimensionamiento, esto no existe, y podemos continuar con el trabajo.



Figura 19 Simulación de todo el ensamble

Todos los elementos que forman parte del sistema de movimiento orbital se encuentran detallados en planos mecánicos, en los cuales se indica el dimensionamiento, material, peso etc.; toda esa información se encuentra detallada en los anexos.

3.2 Diseño electrónico

El diseño electrónico es una de las partes más importantes del diseño de máquinas, ya que con ello garantizamos su correcto funcionamiento a nivel de placas, elementos y consumo de energía del equipo.

Para ello, tomamos varias reglas o normas existentes a nivel mundial y de esa manera garantizamos en totalidad la eficacia de construcción. En nuestro caso, la selección de elementos electrónicos es lo más importante ya que en el agitador orbital, no debemos crear elementos electrónicos, salvo una placa donde se alojarán los diferentes elementos menores.

3.2.1 Selección de sensores

En la selección de sensores de utilizo 2 tipos uno que nos sirve para la medir las revoluciones por minuto del motor y el segundo para medir el consumo de corriente del sistema

- Sensor para medir las revoluciones del motor

El sensor seleccionado fue un encoder óptico, debido a que es muy es un elemento muy confiable de una buena resolución y precisión.

En el disco para el encoder usamos uno de 60 agujeros, debido a que los rangos de velocidad es de 20 a 150 Rpm, por lo cual para lectura del sensor en condiciones críticas que sería en velocidades bajas de 20 rpm es suficiente.

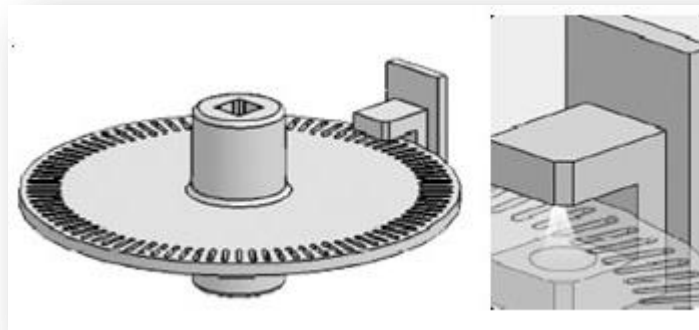


Figura 20 Encoder Óptico con Disco

Fuente: (Robotix, 2005)

- **Sensor para medir el consumo corriente del sistema**

Debido a la diferente gama que existen en el mercado de sensores de corriente se seleccionó uno de 20A como consumo de corriente máxima, con lo cual se tiene un rango muy amplio para medir la corriente, por ende no nos limitaríamos a escoger un motor de un consumo de corriente considerable.

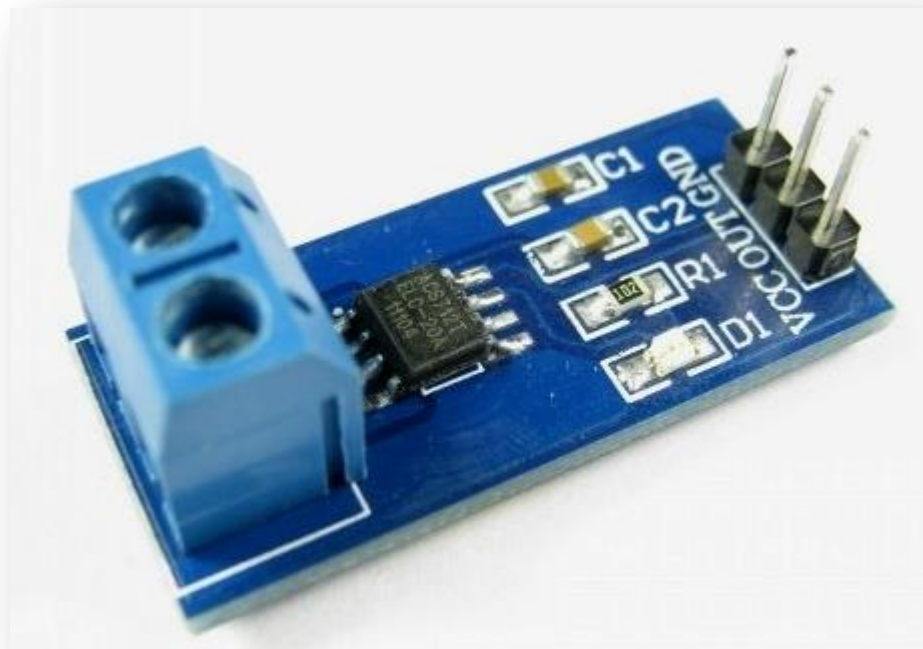


Figura 21 Sensor de corriente 20^a

Fuente: (geekfactory, 2015)

3.2.2 Selección de motor eléctrico de corriente directa.

En la asignación del motor hemos realizado una investigación con varias máquinas de características similares y hemos llegado a determinar el tipo de motor que se utilizara en la maquina tiene las siguientes características:

Tabla 5
Características del motor DC

Tipo de motor	DC
Voltaje	24V
Corriente	13A
Rpm	1800
Potencia	1/4Hp

3.2.3 Selección de procesadores y controladores.

La selección de este tipo de elementos es de suma importancia, ya que depende de sus propiedades el correcto funcionamiento de nuestra máquina.

- **Procesador**

En cuanto al procesador vamos a utilizar una tarjeta Arduino AT Mega 2560 con las siguientes características:

Tabla 6
Características Arduino AT Mega 2560 (mindstormsyarduino, 2015)

Voltaje operativo	5v
Voltaje de entrada recomendado	7-17 Vdc

Voltaje de entrada limite	6-20 V
Pines de entrada y salida digital	54 (14 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad de corriente	40 mA
Memoria flash	128(4kb reservados para el bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Frecuencia del reloj	16 MHZ



Figura 22 Arduino Mega AT 2560

Fuente: (mindstormsyarduino, 2015)

- **Controlador**

Para el controlador se utilizara un control PWM, que se caracteriza por el control de ancho de pulso en cual va a ser enviado por un Mosfet y un Opto acoplador aislando de una forma correcta la parte de electrónica de potencia con la de control.

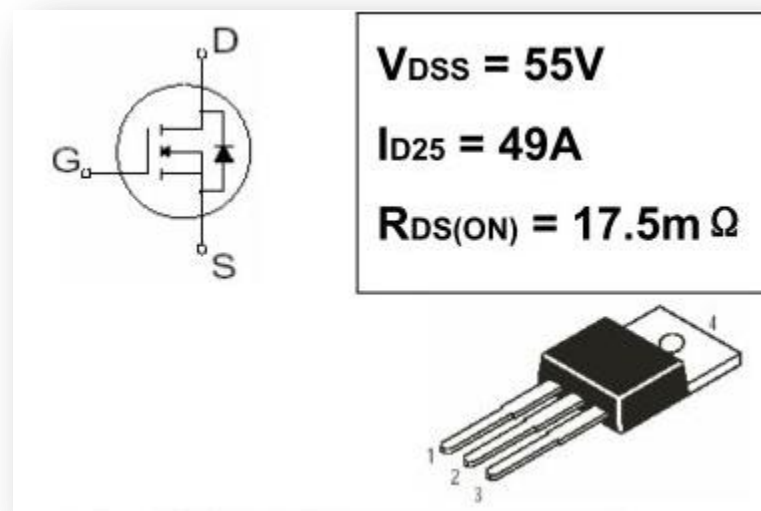


Figura 23 Características Mosfet IRFZ44N

Fuente: (neoteo, 2015)

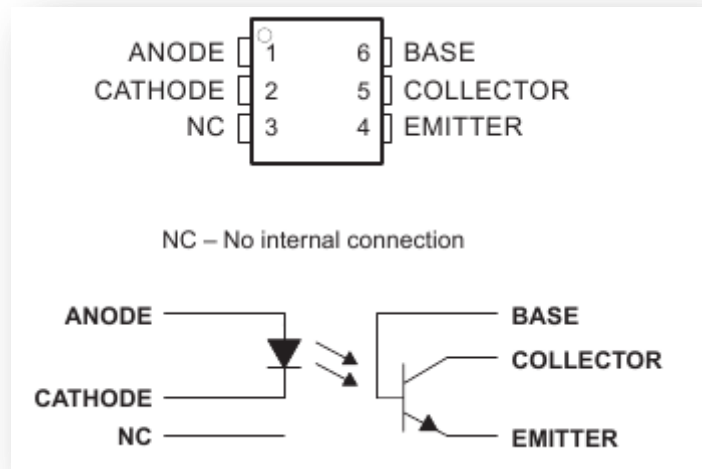


Figura 24 Características Opto Acoplador 4N35

Fuente: (neoteo, 2015)

3.2.4 Conexiones eléctricas.

Las conexiones eléctricas se las realiza mediante conductores sólidos de cobre, los cuales nos permiten flexibilidad y resistencia al momento de transportar los datos y señales eléctricas desde el procesador hasta los electos de potencia y de visualización.

3.2.4.1 Selección de fuentes de alimentación.

Para la selección de la fuente de alimentación se ha tomado en cuenta los datos técnicos del motor, se ha realizado una pequeña investigación sobre las fuentes de poder que existen en el mercado local y ha llegado a la selección de una fuente con las siguientes características:

Tabla 7
Características fuente de Alimentación (ATX, 2014)

Alimentación de la fuente	120Vac /240Vac
Salida de voltaje	12 Vdc
Salida de Voltaje	5 Vdv
Corriente max a 12Vdc	38 A

Corriente max a 5 Vdc	30 A
Potencia	750V



Figura 25 Fuente de Alimentación

Fuente: (ATX, 2014)

3.2.4.2 Diseño de cableado según especificaciones técnicas.

En Cableado de realizará de acuerdo a normas y estándares INEN

El uso e instalación inadecuados de la energía eléctrica, incluso en potencia limitada, pueden ser un peligro para los seres vivos, el medio ambiente y los bienes materiales.

En las instalaciones eléctricas, existen dos tipos de riesgos mayores: las corrientes de choque y las temperaturas excesivas; capaces de provocar quemaduras, incendios, explosiones u otros efectos peligrosos. Para prevenir ambos tipos de riesgos, los principios fundamentales de protección para la seguridad establecen que se deben tomar medidas de protección apropiadas contra: choques eléctricos, efectos térmicos, sobre corrientes, corrientes de falla y sobretensiones.

Se debe evitar que: las personas y demás seres vivos sufran lesiones, quemaduras o la muerte; haya daños o pérdidas de bienes materiales; y haya daños al medio ambiente.

Para evitar lo anterior, las instalaciones eléctricas deben planearse y efectuarse para: prevenir el contacto directo con las partes energizadas (vivas) de la instalación; prevenir el contacto indirecto con los conductores expuestos en caso de falla; prevenir el contacto directo o indirecto con barreras o separaciones adecuadas; limitar la corriente que pueda pasar a través del cuerpo a un valor inferior al choque eléctrico y al de sobre corriente; activar la desconexión automática de la alimentación, en un lapso de tiempo que permita limitar la corriente y no causar el choque eléctrico o una sobre corriente, en caso de contacto indirecto; evitar el efecto térmico, eliminando cualquier riesgo de ignición de materiales inflamables debido a las altas temperaturas o a los arcos eléctricos; utilizar protección contra sobre corriente para evitar temperaturas excesivas o averías electromecánicas; conducir una corriente de falla o de fuga en forma segura, sin que alcancen una temperatura superior a la máxima permisible para los conductores; instaurar métodos de puesta y unión a tierra para la conducción segura de corrientes de falla; en especial, en caso de contacto indirecto; eliminar una tensión excesiva motivada por fenómenos atmosféricos, electricidad estática, fallas en la operación de los equipos de interrupción o bien por fallas entre partes vivas de circuitos alimentados a tensiones diferentes; y evitar sobrecargar los circuitos instalados debido a una mala planeación o prácticas inadecuadas. (INEN-021, 2008)

Sección transversal		Capacidad de corriente (A)
mm ²	AWG	
0,82	18	6
1,31	16	8
2,08	14	17
3,30	12	23
5,25	10	28

Figura 26 Dimensiones de Cables

Fuente: (INEN-021, 2008)

3.2.4.3 Selección de elementos de protección.

Como elemento fundamental de protección se incluirá un sensor de corriente el cual nos permite limitar la corriente de consumo, además evitamos la sobrecarga en la bandeja ya que es el problema principal del laboratorio al cual va destinado el agitador, y por ende evitamos daños en la máquina.

A demás en la fuente de poder la cual va suministrar la energía eléctrica del sistema cuenta con un fusible de protección el cual protege ante algún cortocircuito o alguna sobrecarga en la red eléctrica.

3.3 Control

El control es uno de los elementos más importantes, ya que depende totalmente de dicho elemento el correcto funcionamiento ante perturbaciones o actividades externas al funcionamiento.

En el caso de esta máquina, hemos integrado un control de velocidad debido a que las muestras acuosas necesitan un movimiento leve inicialmente hasta alcanzar su máxima velocidad y así evitamos regueros o caída de frascos.

3.3.1 Diseño de un sistema de control para velocidad angular.

En el diseño del control angular se implementara un control PID con el cual se garantiza que las revoluciones sean constantes.

Para la obtención de la función de transferencia se lo realizo por medio del sensor de revoluciones (Encoder), el cual nos permite obtener los datos del sistema para así mediante MATLAB a través de la función “IDENT” identificamos la función de transferencia real del sistema

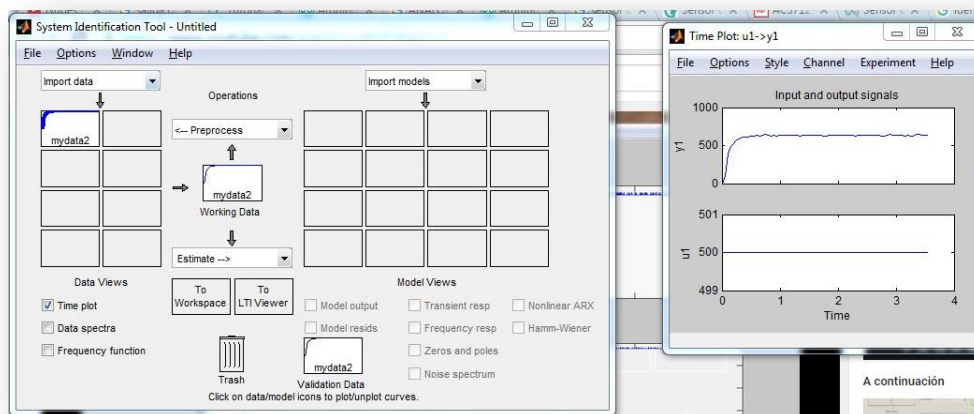


Figura 27 Función Ident

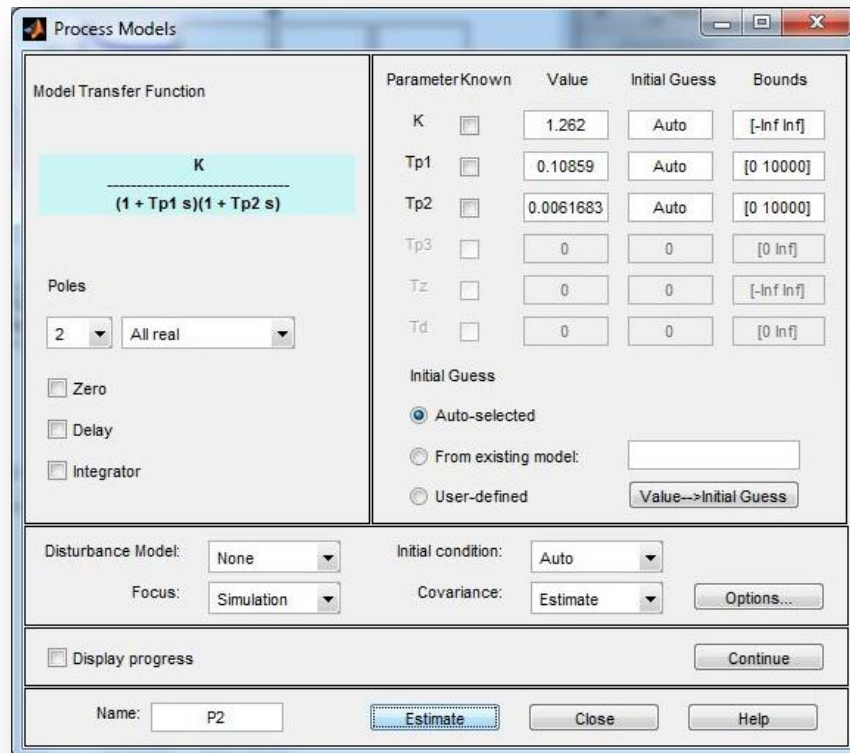


Figura 28 Modelo de FT. De segundo Orden

Función de transferencia

$$G_s = \frac{1.262}{0.00066698 + 0.1148 + 1}$$

Forma de la función de transferencia de segundo orden

$$M = \frac{K}{s^2 + 2\xi W_n s + W_n^2}$$

En donde

K = Ganancia de estado estacionario

ξ = coeficiente de amortiguamiento

W_n = Frecuencia de oscilación

Igualamos los denominadores y aplicamos las fórmulas de estado transitorio de la función de transferencia de segundo orden

$$Wn^2 = 1$$

$$Wn = \sqrt{1}$$

$$Wn = 1$$

$$\xi = \frac{0.1148}{2 \cdot Wn}$$

$$\xi = 0.057$$

$$Mf = 100 \cdot \xi$$

$$Mf = 5.74$$

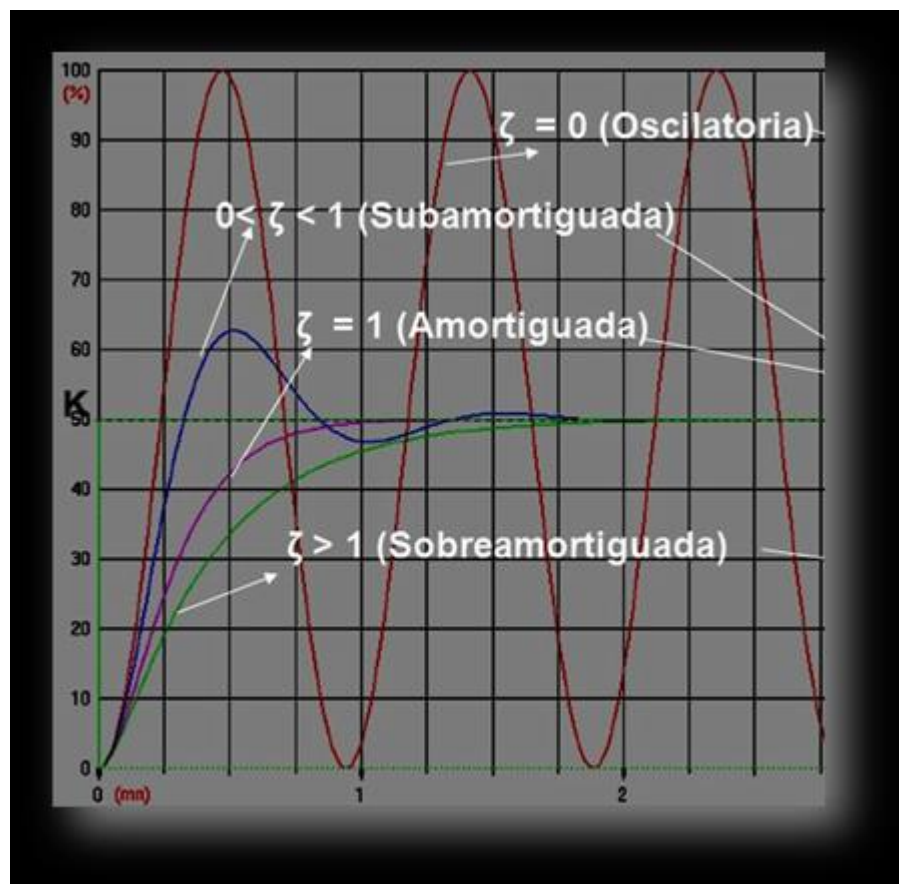


Figura 29 Respuesta de sistemas de segundo orden ante un escalón unitario
Fuente:(Ojeda, 2014)

Para nuestro sistema que es el caso de $0 < \xi < 1$ se lo denomina subamortiguado

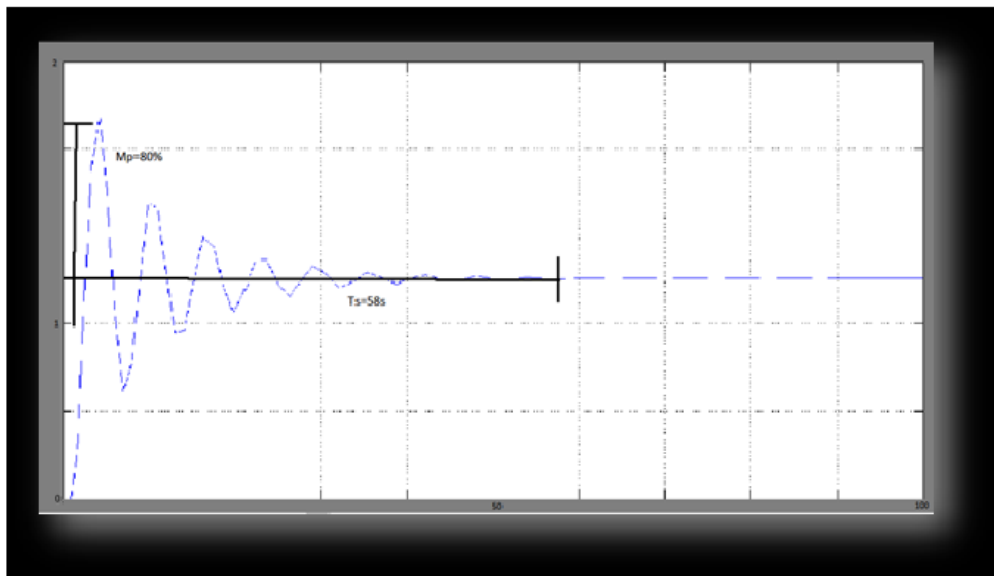


Figura 30 Respuesta de la función de transferencia

Como podemos observar nuestro sistema presenta las siguientes características

Tiempo de establecimiento

$T_s=58s$

Un sobre impulso

$M_p=80\%$

A demás se observa que nuestro sistema no se estabiliza en el escalón unitario que introdujimos como punto de referencia

Por lo cual realizaremos el controlador PID, con lo que mejoraremos las características de nuestro sistema.

Realizamos el controlador PID por el método Analítico

Graficamos el Diagramas de bode de fase y de magnitud

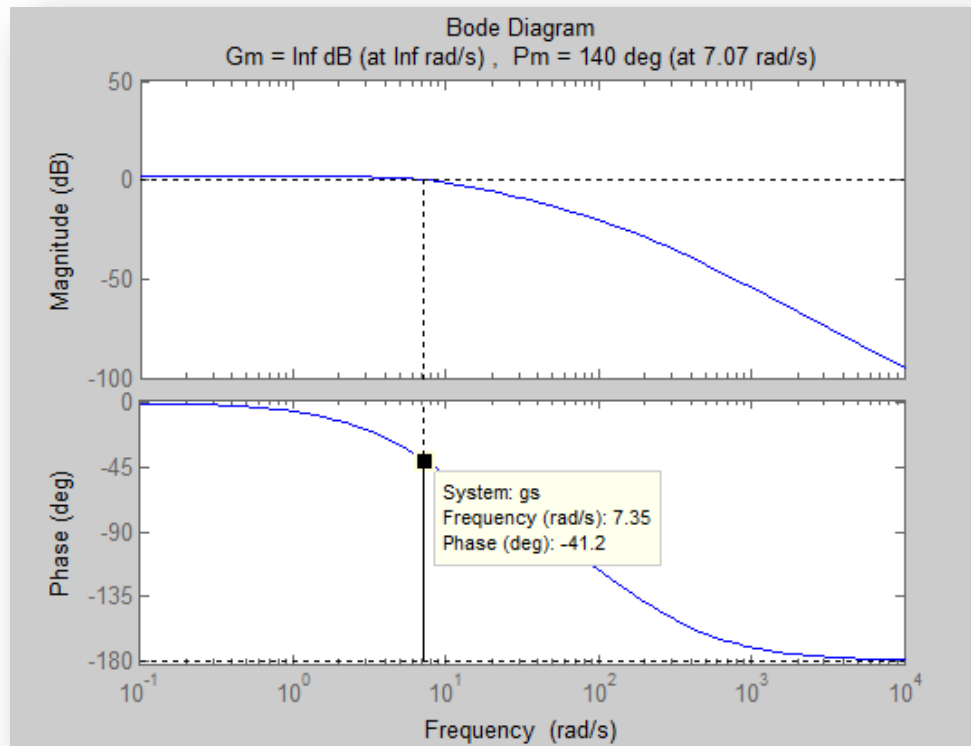


Figura 31 Diagrama de bode

$$\theta = Gc(jw1)$$

$$\theta = -41 + Mf - (Ag)$$

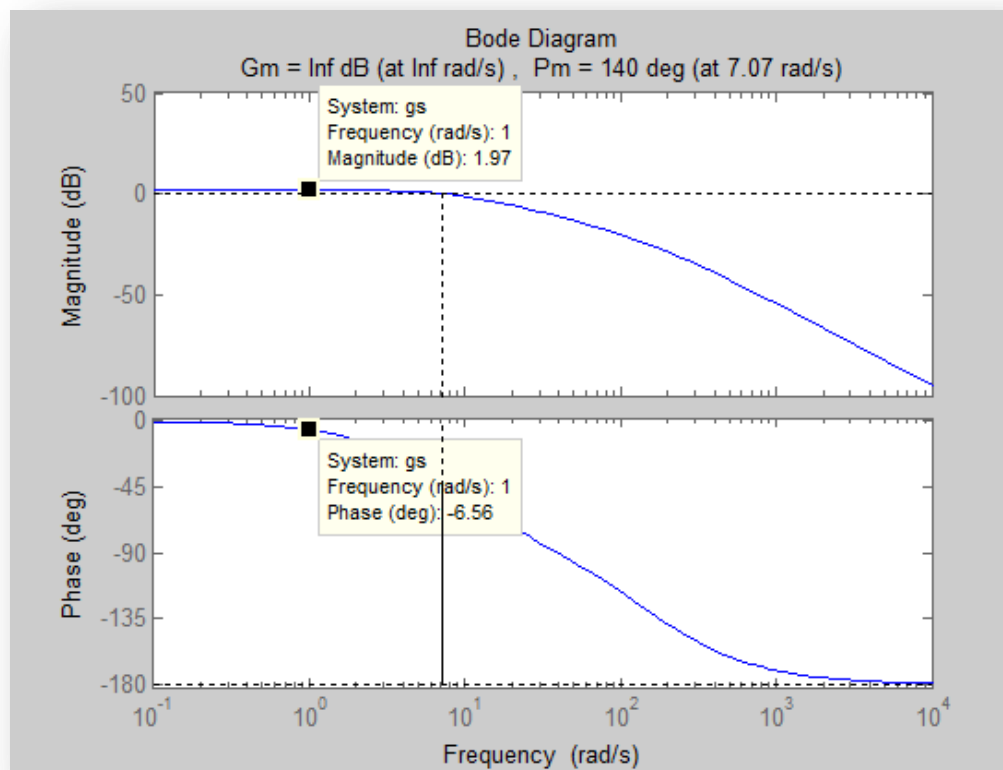


Figura 32 Diagrama de Bode

$$A_g = 6.56$$

$$\theta = Gc(jw1)$$

$$\theta = -41 + Mf - (A_g)$$

$$\theta = -28.68$$

$$M_g = 1.97$$

$$20 \log(Gh) = M_g$$

$$20 \log(Gh) = 1.97$$

$$Gh = 1.97^{\frac{1.97}{20}}$$

$$Gh = 1.069$$

$$Kp = \frac{\cos(\theta)}{Gh}$$

$$Kp = 0.82$$

Para Ki establecemos un valor menor a 1

$$K_i \ll 1$$

$$K_i = 0.5$$

$$K_d \cdot \omega_n - \frac{k_i}{\omega_n} = \frac{\sin(\theta)}{Gh}$$

$$K_d = K_i + \frac{\sin(\theta)}{Gh}$$

$$K_d = 0.051$$

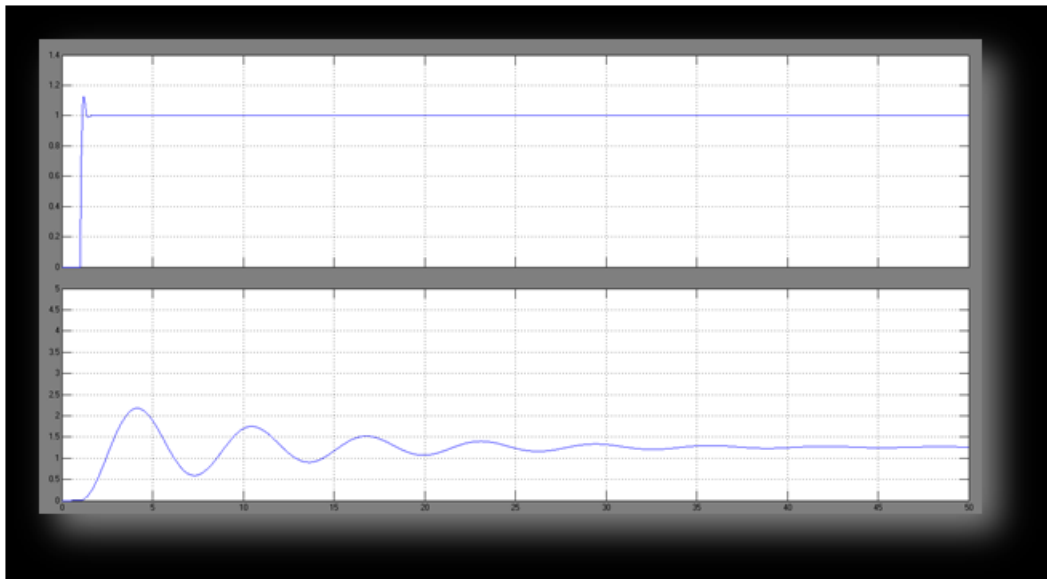


Figura 33 Función con controlador y sin controlador

Como podemos observar en la parte superior de la Figura tenemos la función de transferencia realizada un control PID en la cual claramente de diferencia las mejoras en estado transitorio.

Se mejoró en el tiempo de establecimiento llegando a

$$T_s = 1.5s$$

A demás en el sobre impulso llegando a

$$M_p = 10\%$$

El cual debe ser menor al 30% .

Finalmente se obtiene nuestras constantes de control

Tabla 8
Constantes del controlador

Constante	Valor
K_p	0.82
K_i	0.05
K_d	0.051

3.3.2 Diseño de sistemas de alarma de seguridad

Para la alarma de seguridad se encuentra diseñada de tal manera que cuando la corriente del sistema exceda a 3A se active y el sistema se detiene, por lo tanto se precautela que el exceso de corriente por sobre carga del motor y posteriormente el calentamiento excesivo de las bobinas no se dé.

El circuito electrónico de la alarma es el siguiente:

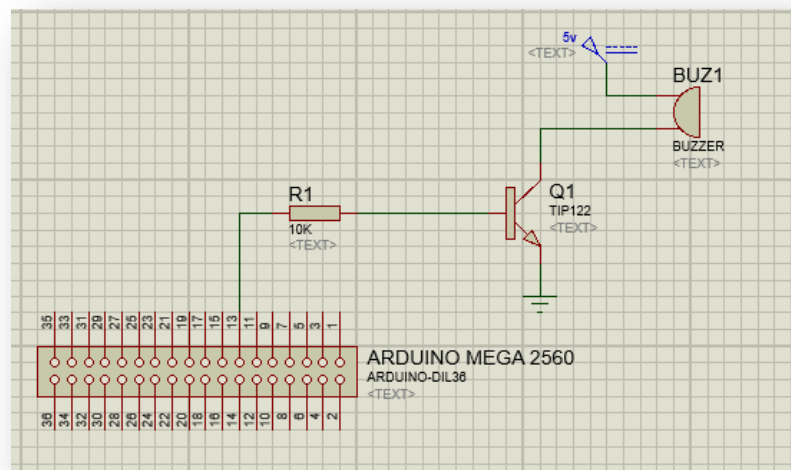


Figura 34 circuito Alarma

3.3.3 Programación de interfaz de control para la máquina.

En la programación del interfaz se utilizó librerías que existen en Arduino las cuales nos facilitan mucho la interacción entre el usuario y la máquina.

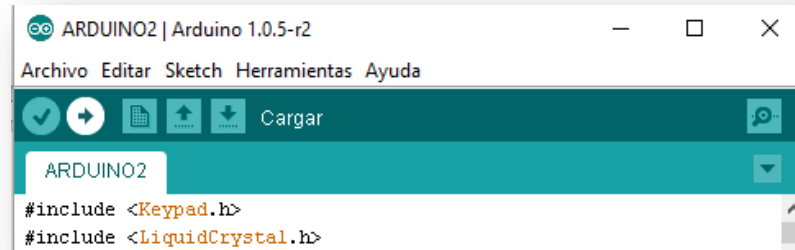


Figura 35 Librerías Arduino

Las librerías que se muestran en la Figura se utilizan para uso del teclado y el Lcd respectivamente.

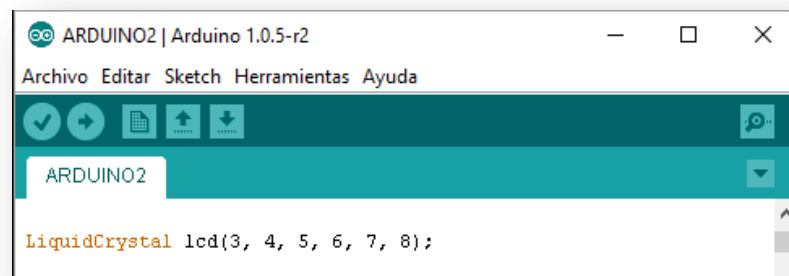
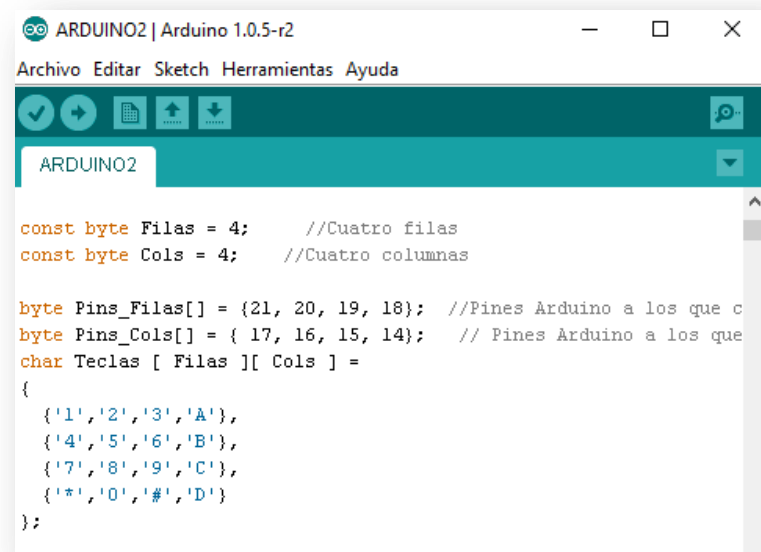


Figura 36 Pines LCD

Se asignan los pines de la tarjeta Arduino al cual va a ser conectada nuestra pantalla de cristal líquido como lo indica en la Figura



```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

ARDUINO2

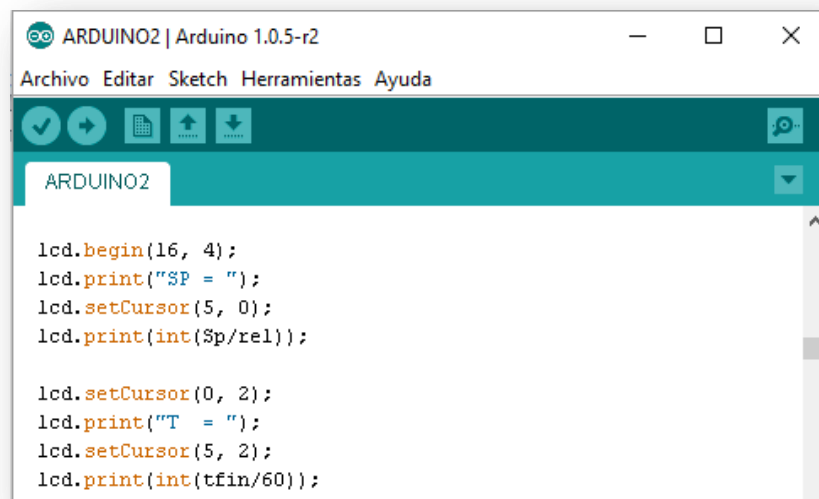
const byte Filas = 4; //Cuatro filas
const byte Cols = 4; //Cuatro columnas

byte Pins_Filas[] = {21, 20, 19, 18}; //Pines Arduino a los que c
byte Pins_Cols[] = { 17, 16, 15, 14}; // Pines Arduino a los que
char Teclas [ Filas ][ Cols ] =
{
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};

```

Figura 37 Teclado

En la Figura se explica las conexiones del teclado de acuerdo al número de filas y de columnas, además los pines de conexión con el Arduino.



```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

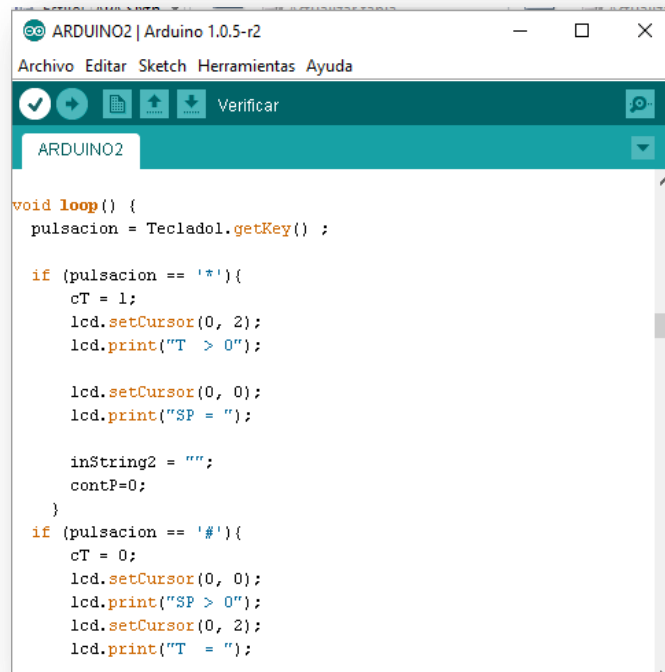
ARDUINO2

lcd.begin(16, 4);
lcd.print("SP = ");
lcd.setCursor(5, 0);
lcd.print(int($p/rel));

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("T = ");
lcd.setCursor(5, 2);
lcd.print(int(tfm/60));

```

Figura 38 Programación de interfaz de control en Arduino



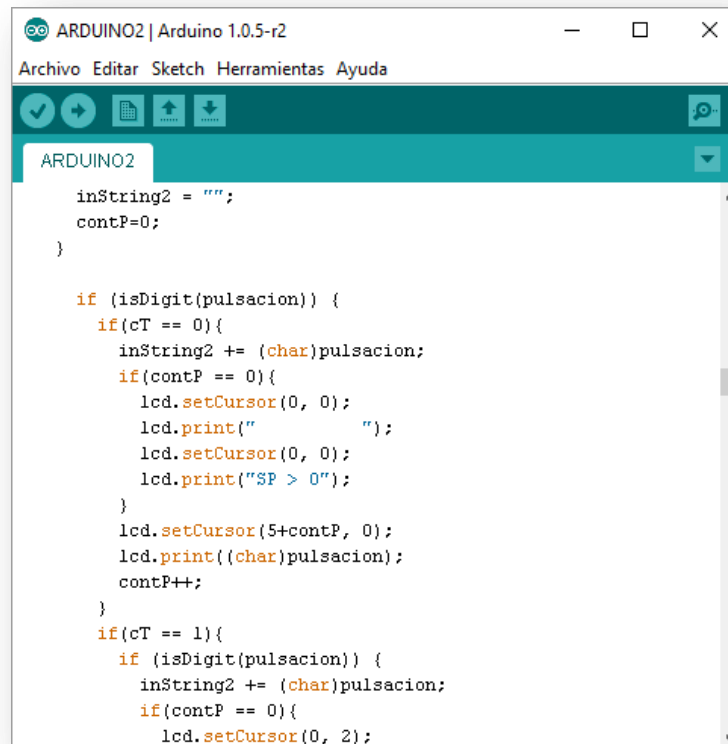
```
void loop() {
  pulsacion = Teclado1.getKey() ;

  if (pulsacion == '*'){
    cT = 1;
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("T > 0");

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SP = ");

    inString2 = "";
    contP=0;
  }
  if (pulsacion == '#'){
    cT = 0;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SP > 0");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("T = ");
  }
}
```

Figura 39 Programación de interfaz de control en Arduin



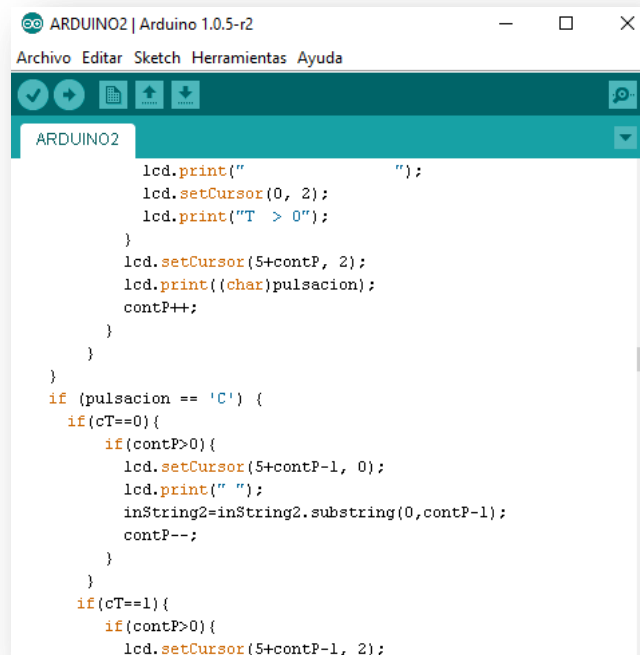
```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
ARDUINO2
inString2 = "";
contP=0;
}

if (isDigit(pulsacion)) {
  if(cT == 0){
    inString2 += (char)pulsacion;
    if(contP == 0){
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print(" ");
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("SP > 0");
    }
    lcd.setCursor(5+contP, 0);
    lcd.print((char)pulsacion);
    contP++;
  }
  if(cT == 1){
    if (isDigit(pulsacion)) {
      inString2 += (char)pulsacion;
      if(contP == 0){
        lcd.setCursor(0, 2);

```

Figura 40 Programación de interfaz de control en Arduino

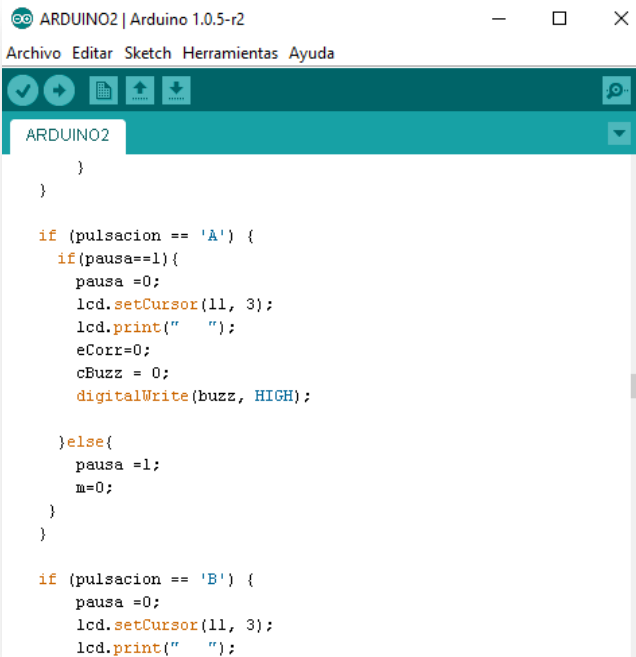


```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
ARDUINO2
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("T > 0");
  }
  lcd.setCursor(5+contP, 2);
  lcd.print((char)pulsacion);
  contP++;
}
}
}
if (pulsacion == 'C') {
  if(cT==0){
    if(contP>0){
      lcd.setCursor(5+contP-1, 0);
      lcd.print(" ");
      inString2=inString2.substring(0,contP-1);
      contP--;
    }
  }
  if(cT==1){
    if(contP>0){
      lcd.setCursor(5+contP-1, 2);

```

Figura 41 Programación de interfaz de control en Arduino



```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo  Editar  Sketch  Herramientas  Ayuda

ARDUINO2

}
}

if (pulsacion == 'A') {
  if(pausa==1){
    pausa =0;
    lcd.setCursor(11, 3);
    lcd.print("  ");
    eCorr=0;
    cBuzz = 0;
    digitalWrite(buzz, HIGH);

  }else{
    pausa =1;
    m=0;
  }
}

if (pulsacion == 'B') {
  pausa =0;
  lcd.setCursor(11, 3);
  lcd.print("  ");
}

```

Figura 42 Programación de interfaz de control en Arduino

En las Figura 29 a la 31 se muestran la programación de interfaz tanto de la pantalla como del teclado, de esta manera, se puede comprobar que la programación en este tipo de micro controlador, es muy amigable y fácil de entender.

4 Capítulo 4:

4.1 Construcción del sistema mecánico.

Ya concluido la parte del diseño se prosigue a la construcción de los diferentes sistemas mecánicos.

A continuación se describe los diferentes procesos para la elaboración de las partes mecánicas que conforman el equipo.

4.1.1 Construcción de ejes y soportes para la segunda Bandeja

Se lo realizo en base a acero inoxidable AISI 304.

En la etapa inicial del proceso se procedió a cortar la barra de acero en las medidas especificadas, que por medio de un torno se refrentó las caras de la barra.

Consiguiente al proceso anterior se procede a maquinar y a desbastar la barra de acuerdo al plano correspondiente entregado al tornero y finalmente a la apertura de rosca con el machuelo correspondiente.

En el siguiente diagrama de proceso se encuentra detallada la elaboración de ejes y soporte de la segunda bandeja.

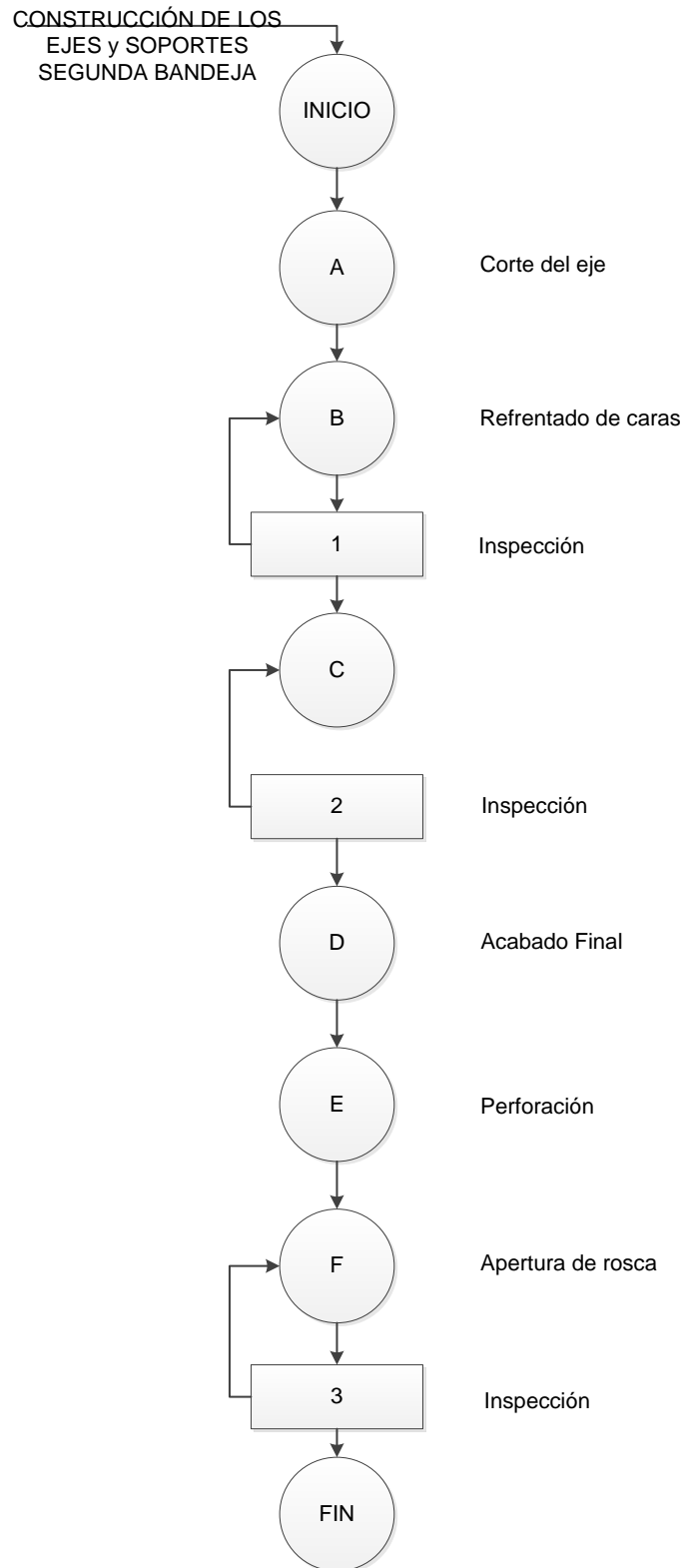


Figura 43 Diagrama de proceso de elaboración de ejes y soportes segunda bandeja



Figura 44 Eje terminado



Figura 45 Base segunda bandeja terminado

4.1.2 Construcción de bocines

En cuanto a la elaboración de los bocines se adquirió una barra perforada de acero AISI 1024 en el cual se procedió cortar y a refrentar de acuerdo a las dimensiones proporcionadas por los planos, y finalmente a maquinar.

En la Figura se detalla el diagrama de proceso de la construcción de bocines

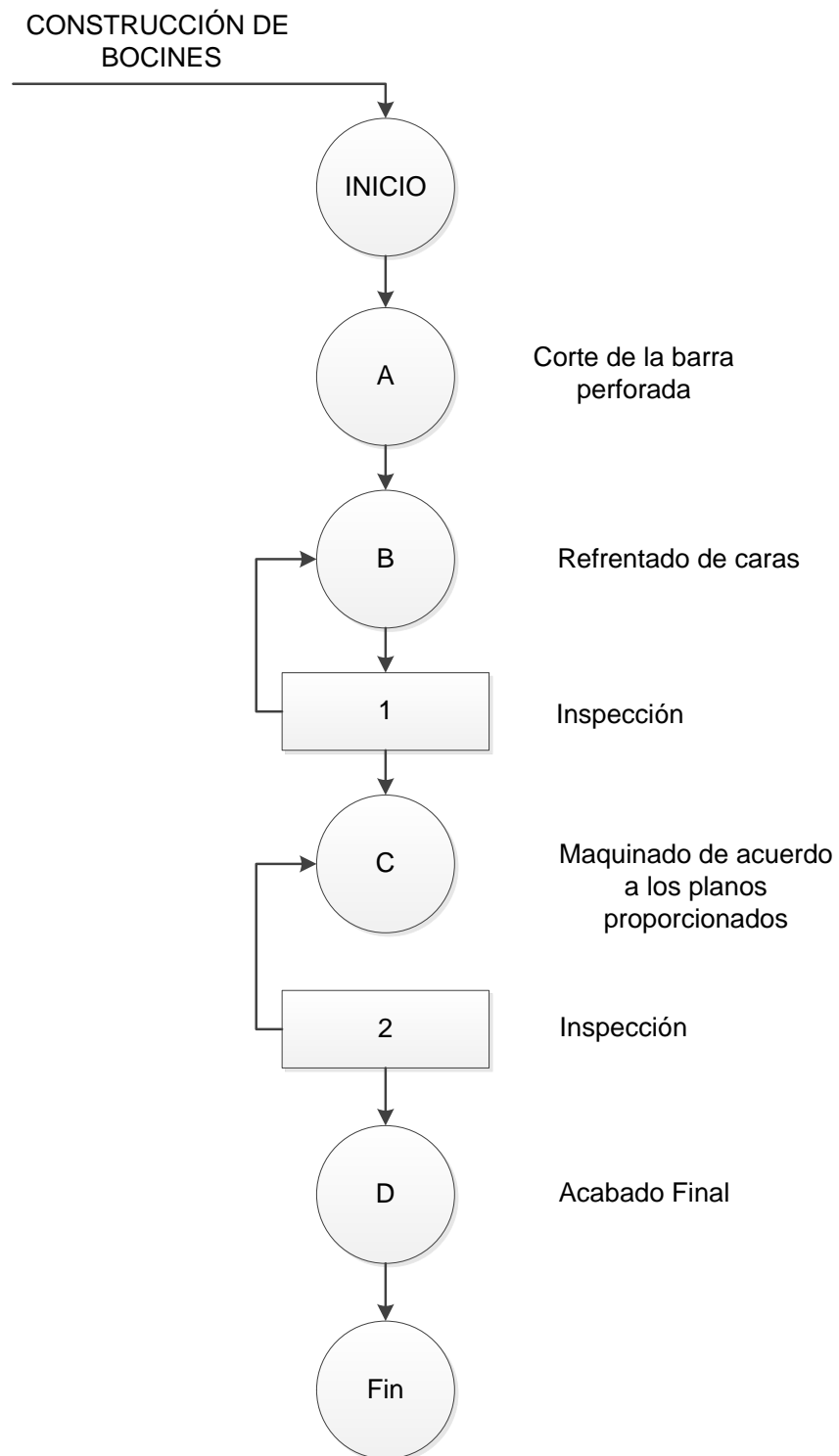


Figura 46 Diagrama de proceso de elaboración de bocines



Figura 47 Bocín

4.1.3 Construcción de Pistas

Para la construcción de pistas se lo realizo en barras circulares de aluminio 6061 el cual se procedió a cortar, refrentar y maquinar.

Para posteriormente abrir rosca

En la Figura se detalla el diagrama de proceso de la construcción de las pistas

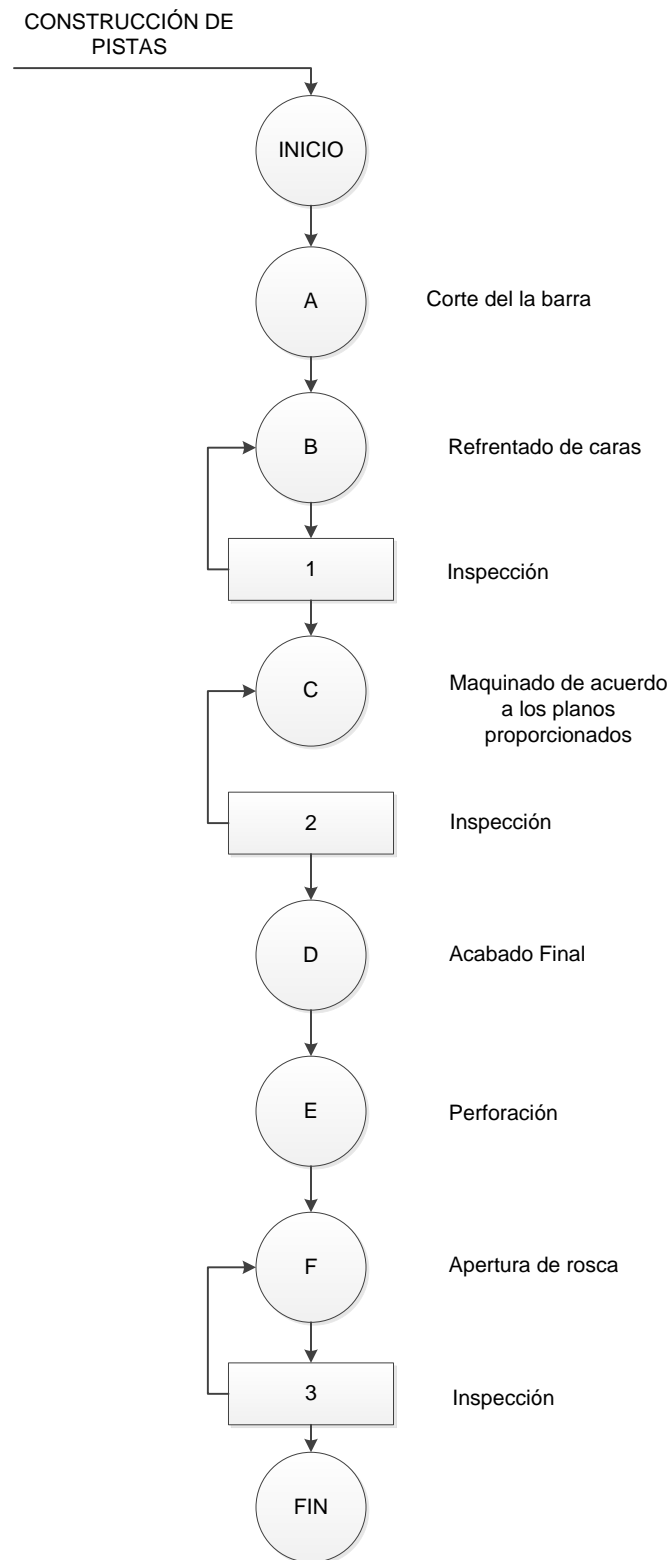


Figura 48 Diagrama de proceso de elaboración de pistas



Figura 49 Pista Terminada

4.1.4 Construcción de la polea

Se lo realizo con una barra de acero AISI 1024 que al igual que los anteriores elementos se lo cortó refrentó y maquino de acuerdo a los planos adicionalmente de agrego una masa previamente calculada para el balanceo del sistema.

En la Figura se detalla el diagrama de proceso de la construcción de la polea.

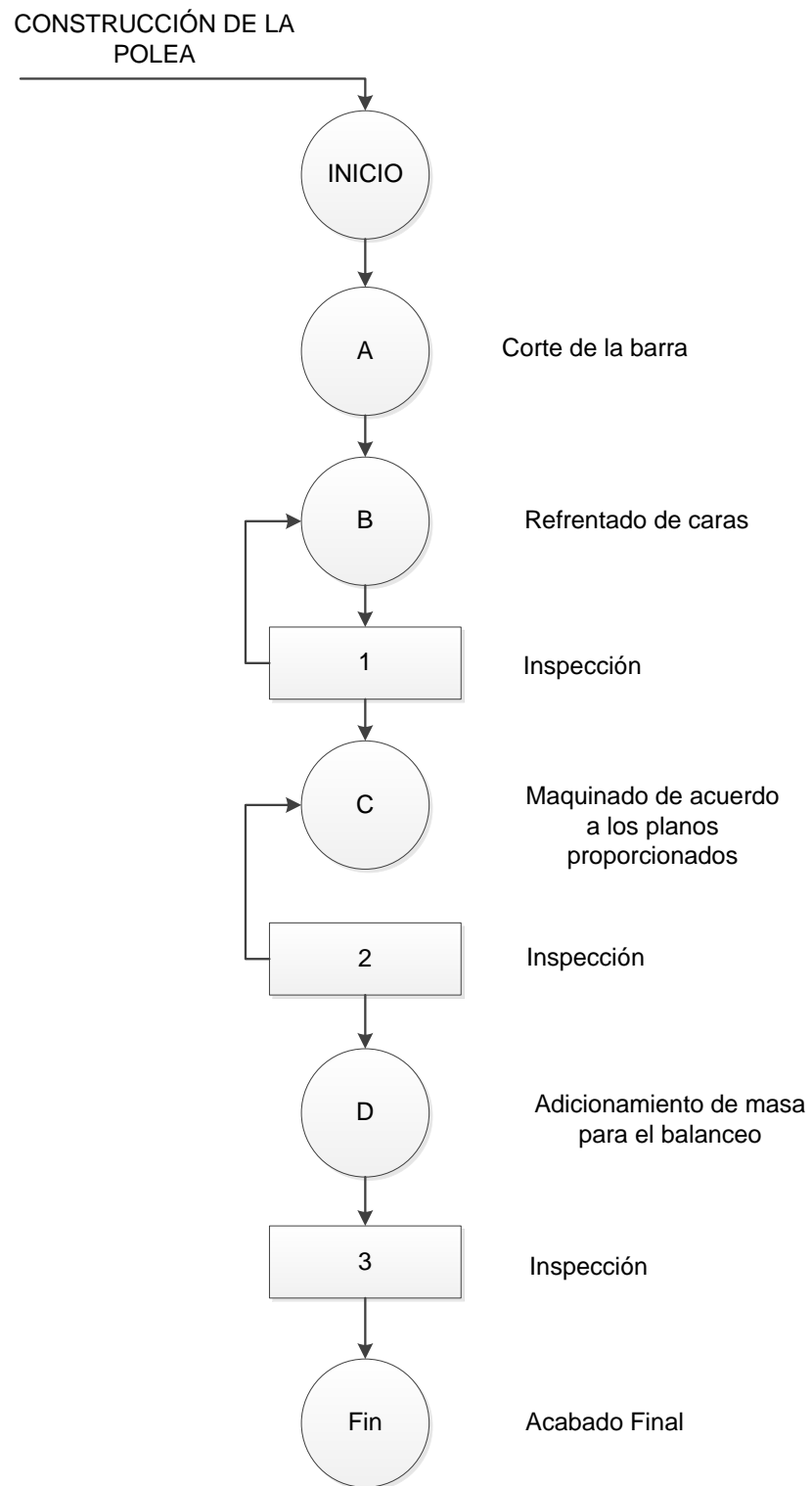


Figura 50 Diagrama de proceso de elaboración de polea



Figura 51 Polea terminada

4.1.5 Construcción de la carcasa y Bandejas

Para la elaboración de la carcasa se lo realizo en una metalmecánica de acuerdo a los planos de chapa metálica que como primer paso de realizo el trazado en la hoja de tol de 2m para posteriormente cortar y doblar.

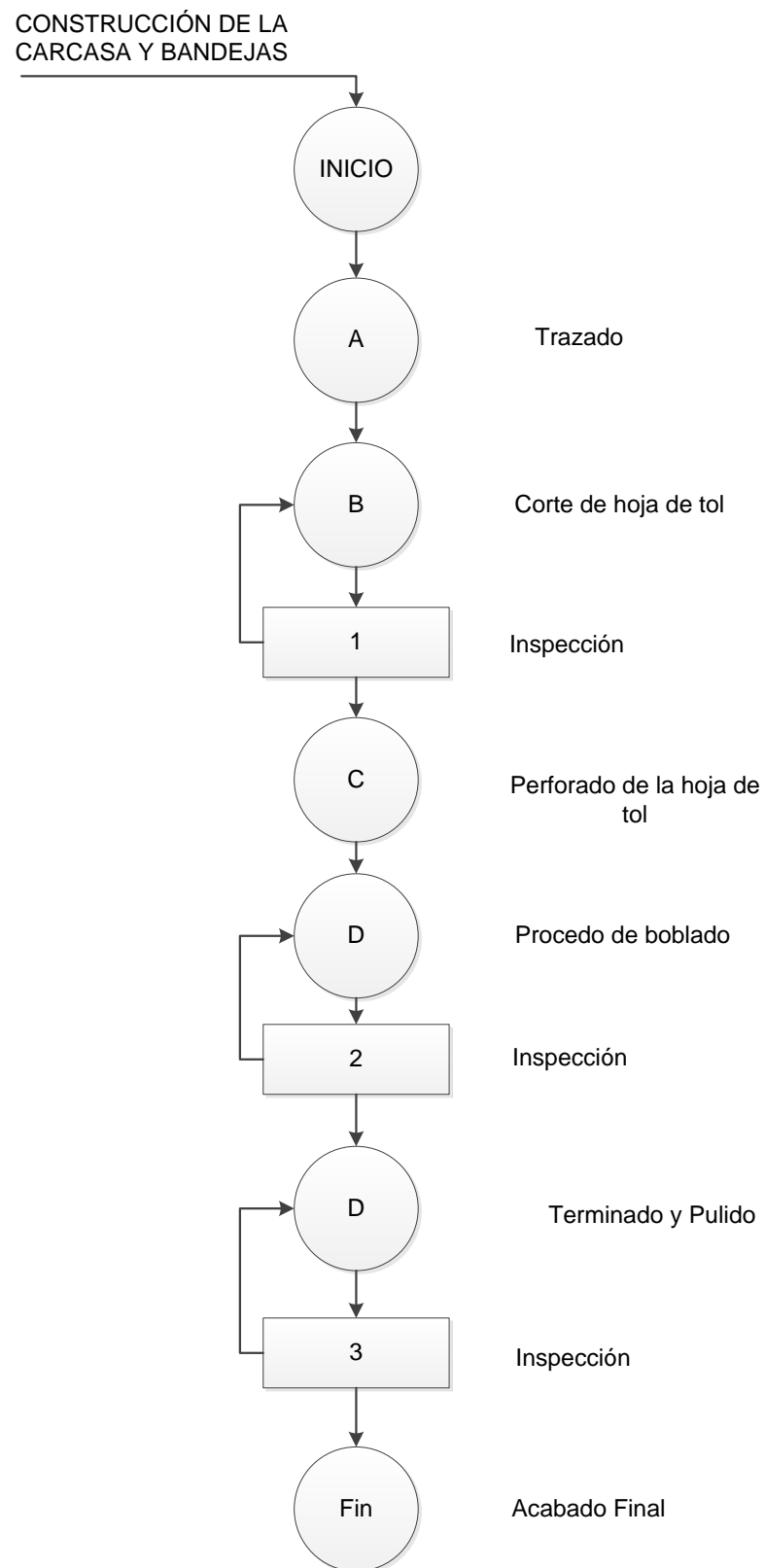


Figura 52 Diagrama de proceso de elaboración de carcasa y bandejas



Figura 53 Carcasa desplegada

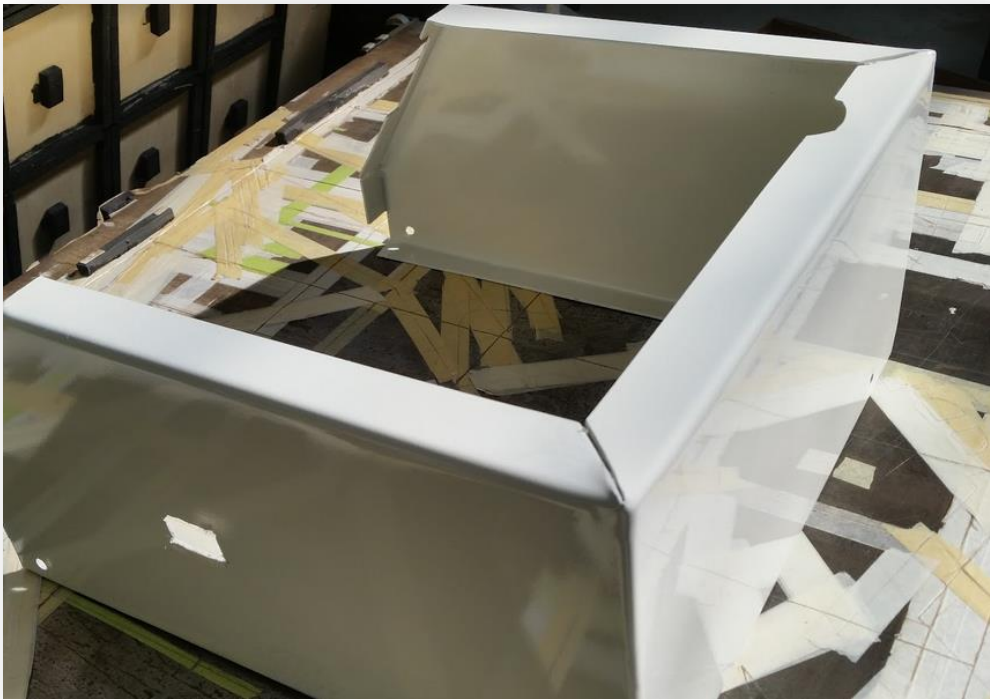


Figura 54 Carcasa Plagada y pintada

Los tiempos de elaboración de cada pieza que conforman el equipo se detalla a continuación:

Tabla 9

PIEZA	CAN	TIEMPO	TIEMPO
	TIDAD	UNITARIO(h)	TOTAL(h)
Ejes	3	7	21
Sopt.	3	4	12
2da bandeja			
Bocines	3	6	18
Pistas	3	5	15
Bandejas	3	4	12
Carcasa	1	8	8
Bandejas	3	5	15
Base	1	4	4
TOTAL			105

Tiempos de construcción

Tabla 10
Tiempos de procesos

TIPO DE	TI
PROCESO	EMPO
Soldadura	5
Oxicorte	2
TOTAL	7



Figura 55 Proceso de oxicorte

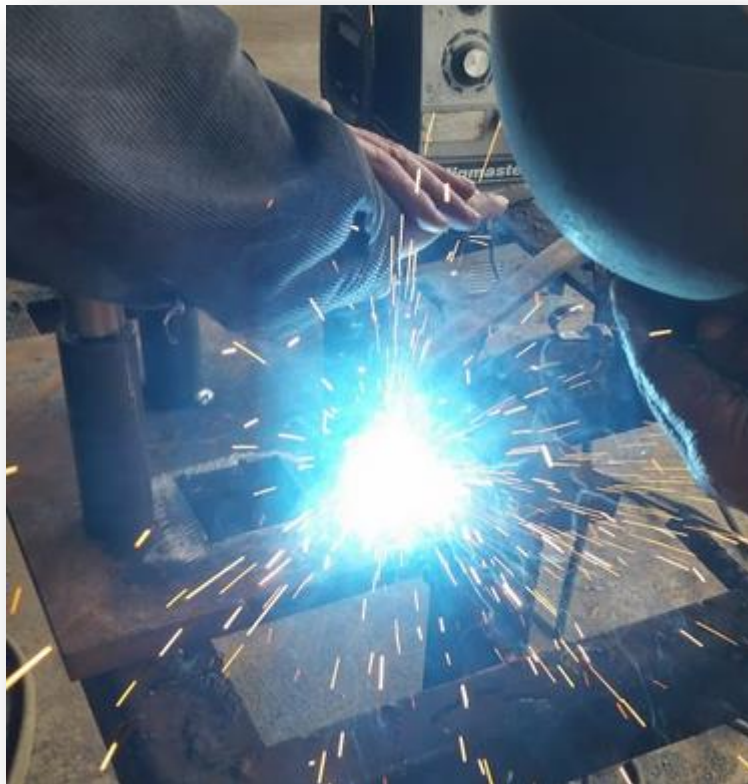


Figura 56 Proceso de soldadura



Figura 57 Construcción completa y armada de la parte mecánica

4.2 Construcción del sistema eléctrico y electrónico.

Para la construcción del sistema eléctrico y electrónico se ha utilizado diferentes herramientas las cuales nos ayudaran a que la maquina tenga un funcionamiento correcto y lógico.

4.2.1 Implementación del motor

En cuanto al motor como se menciona en el literal 3.2.2 debe cumplir con la potencia necesaria para el correcto funcionamiento por lo tanto se diseñó un sistema de sujeción de tal manera que llegue a quedar firme en la estructura colocando una camisa con una sistema de 2 prisioneros con lo cual se garantiza la fijeza y el correcto funcionamiento sin vibraciones, además se diseñó un sistema de templador para la banda de transmisión ya que necesita ser tensionada, para asegurar la transmisión de movimiento.

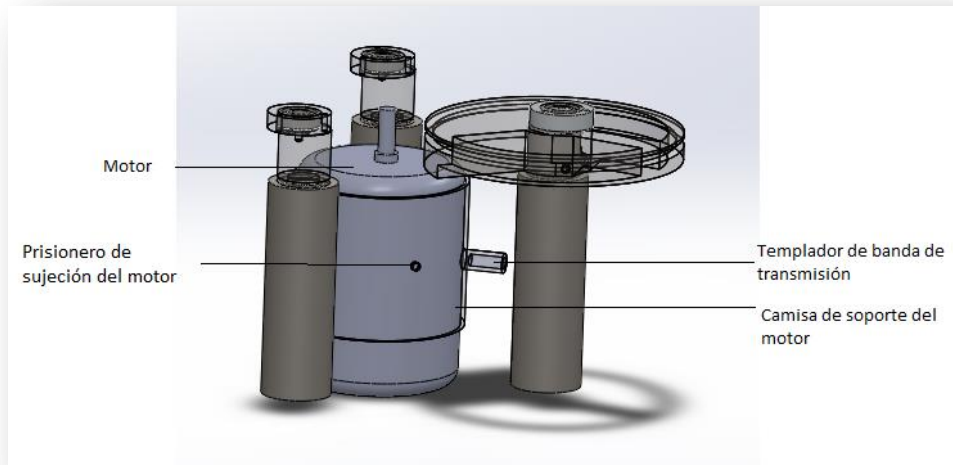


Figura 58 Implementación del Motor

4.2.2 Construcción de la placa electrónica

Es muy importante y vital para el correcto funcionamiento de elementos electrónico contar con un buen aislamiento de la los circuitos de control con los de potencia, debido a eso hemos puesto mucho énfasis en la separación de estos circuitos.

A demás el cálculo de ancho de pista es esencial debido a que si dimensionamos mal la corriente circulante destruye la pista y el sistema deja de funcionar.

4.2.2.1 Calculo Del Ancho De Pista

Considerando como corriente máxima que circula en el circuito 2 amperios, la temperatura máxima permisible se asumirá es de 45 grados centígrados

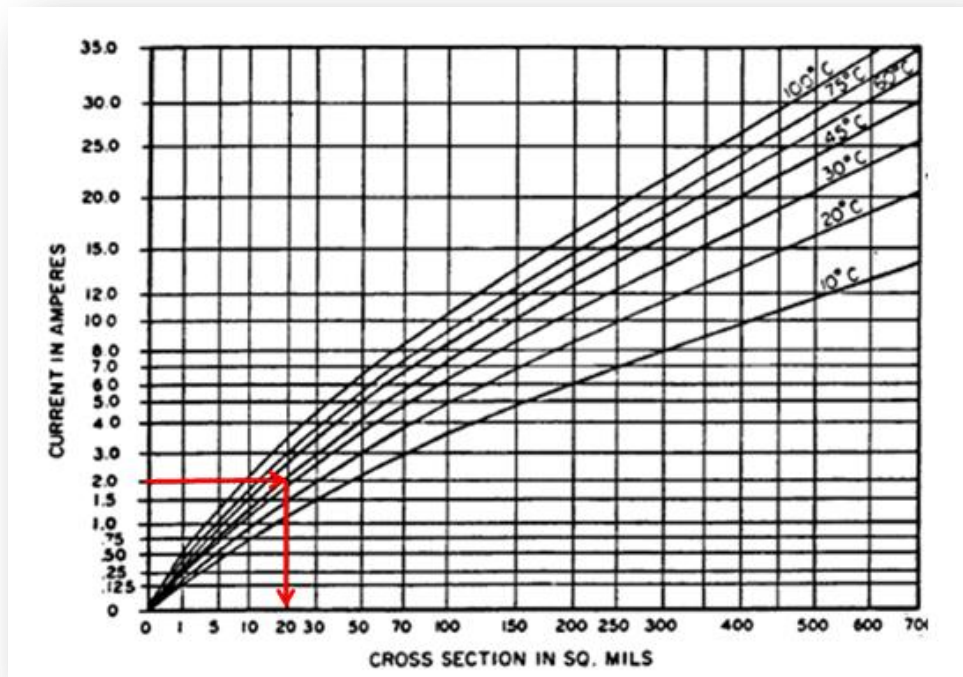


Figura 59 Selección de ancho de pista de acuerdo a la temperatura

Empleando la gráfica anterior, entrando en el eje de las ordenadas con una corriente de 2 amperios y con la curva de temperatura igual a 45° proyectamos un punto al eje de las abscisas y obtenemos un valor de 20 mils, el cual representa la sección transversal.

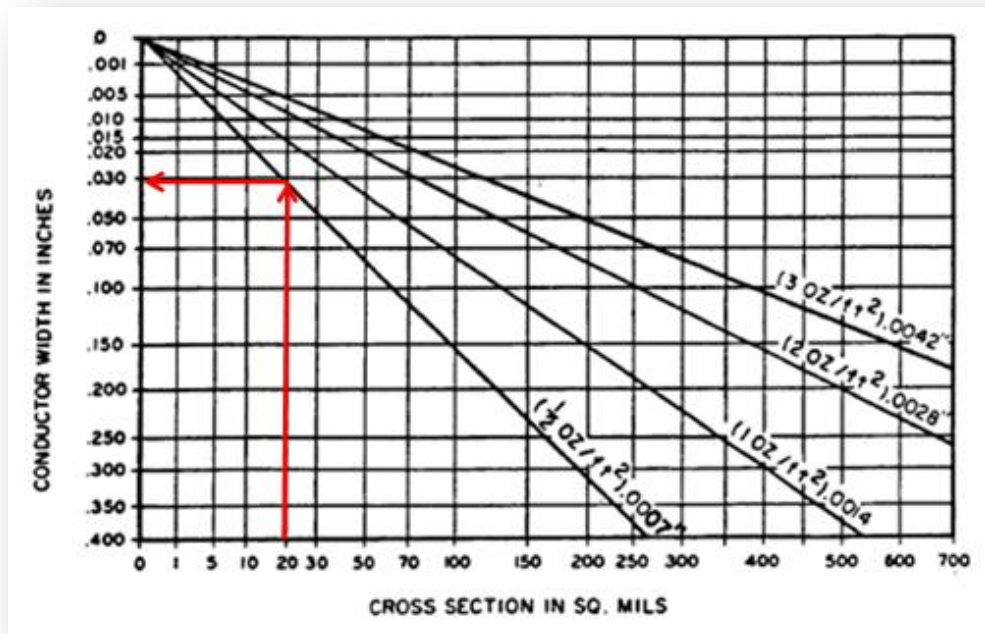


Figura 60 Selección de ancho de pista de acuerdo al material

Ahora procedemos de la misma manera con la Figura anterior. Asumimos un valor de $\frac{1}{2}$ onz/ft² para el espesor del material laminado y con la sección transversal que hallamos (20mils) hallamos el ancho de la pista que es de 0.030 pulgadas.

Lo cual se utilizara 30Th de ancho de pista

4.2.2.2 Espaciamiento Entre Pistas

El Arduino trabaja con voltaje de 5 V, entonces se tiene:

$$\text{Voltaje pico} = 5V$$

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.13 mm
16-30	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.13 mm
31-50	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.4 mm	0.13 mm
51-100	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.5 mm	0.13 mm
101-150	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
151-170	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
171-250	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
251-300	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.8 mm
301-500	0.25 mm	2.5 mm	12.5 mm	0.8 mm	0.8 mm	1.5 mm	0.8 mm
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

Figura 61 Selección de espaciamento entre pistas

Se obtiene el espaciamento mínimo entre pistas:

Separación entre pistas digitales: 10th.

Una vez calculado el ancho y la separación de pistas el procedemos por medio de un software a routear la pista con los elementos electrónicos correspondientes.

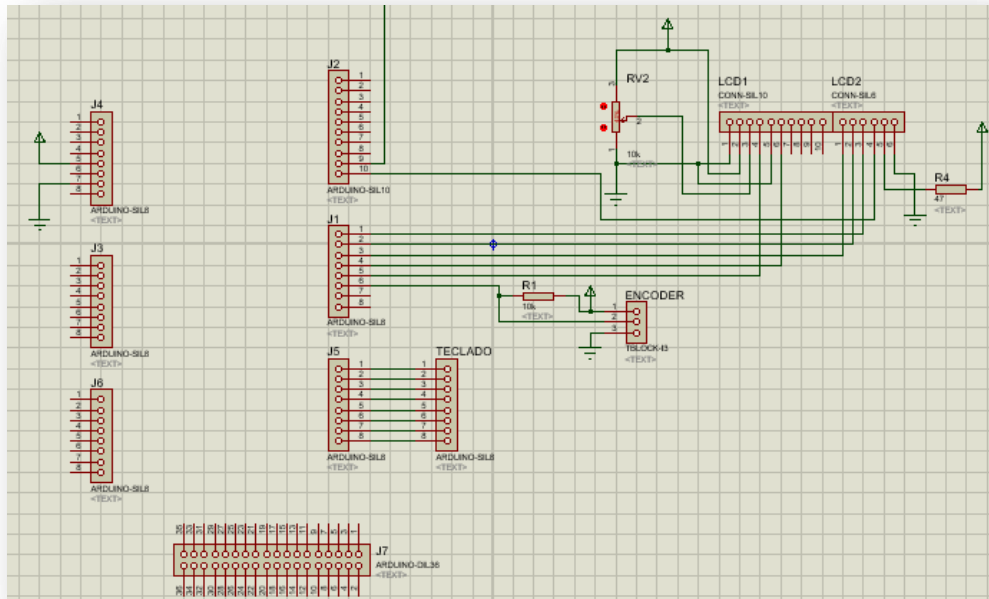


Figura 62 Circuito de control

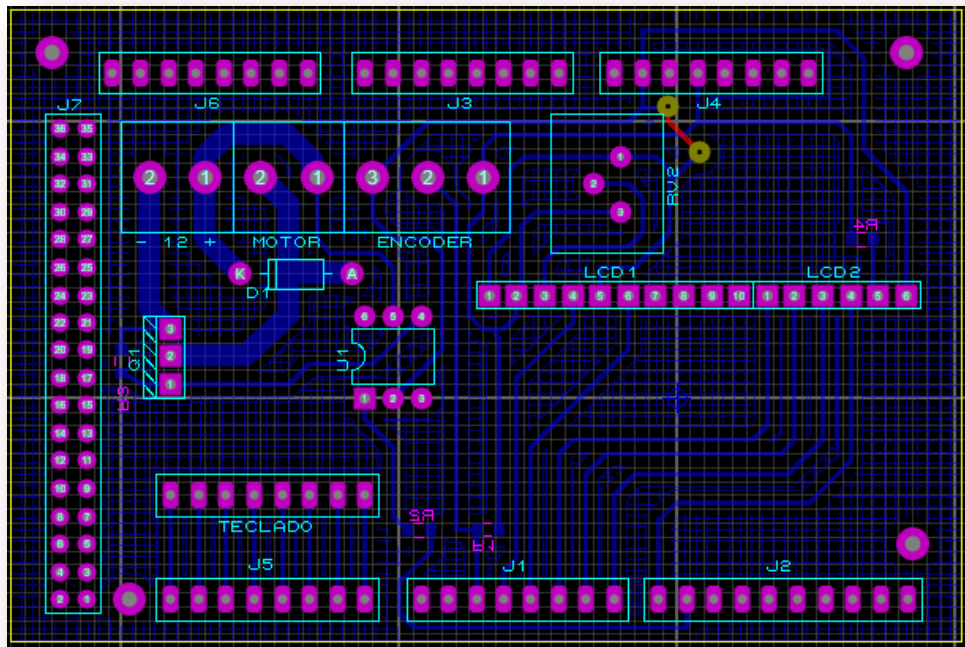


Figura 63 PCB de control

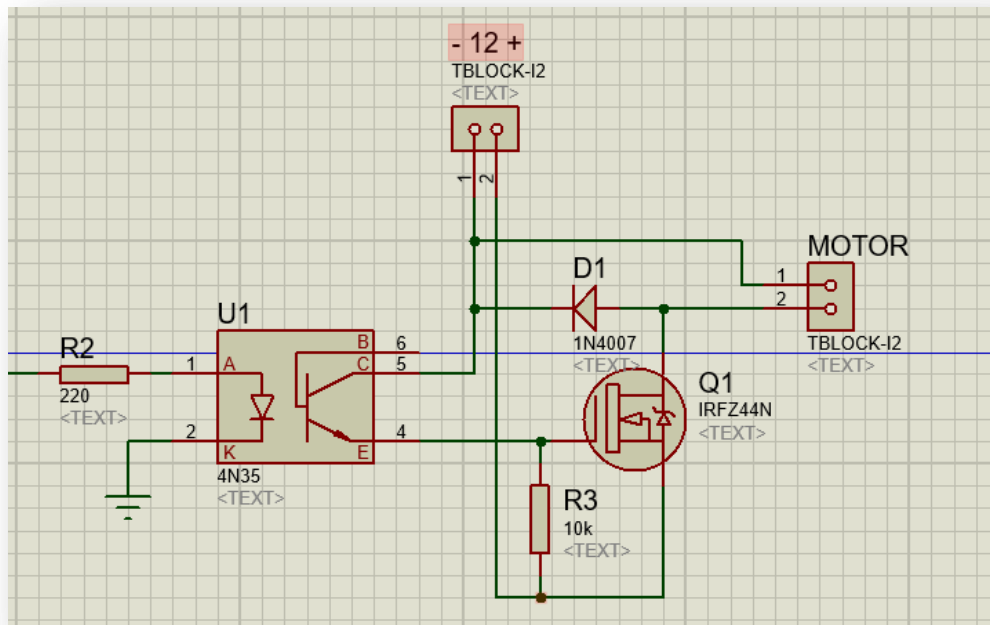


Figura 64 Circuito de Potencia

El PCB de potencia no existe debido a que lo realizo con cableado para montar sobre un disipador de calor debido ya que el consumo de corriente del motor es grande y los elementos de potencia tienden a calentarse por lo cual podrían sufrir daños.

4.3 Programación del sistema de control

Para la parte de control vamos a realizarlo en forma discreta ya que es la que se usa en micro controlador.

La librería que utilizaremos es:

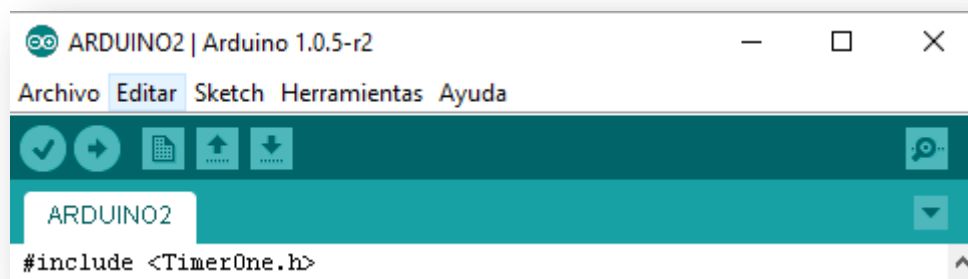


Figura 65 Librería Arduino

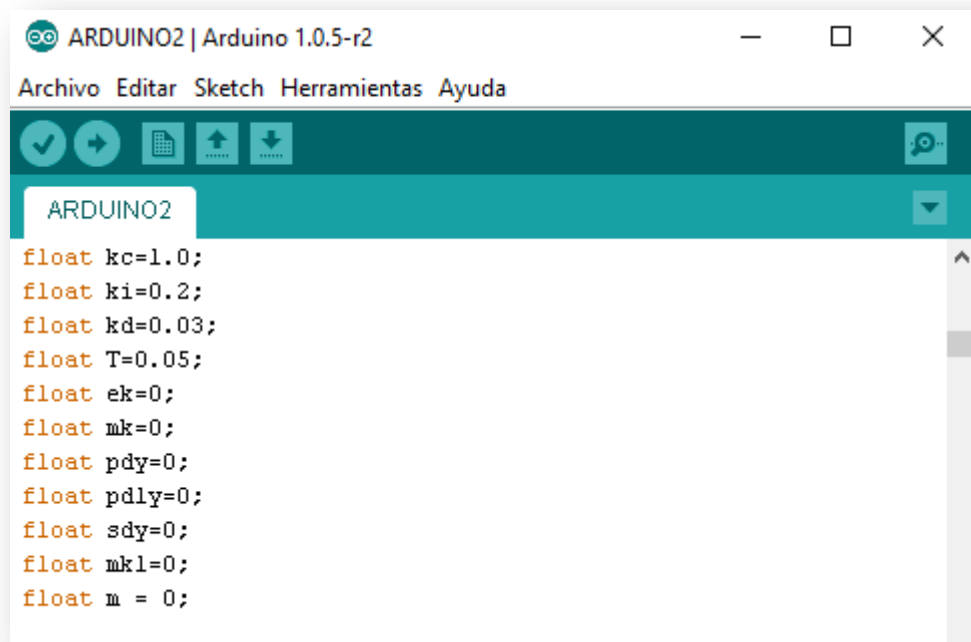
Se utiliza esta librería debido a que es una base de tiempo para el periodo que en nuestro caso es 50 milisegundos

Como siguiente paso procedemos a inicializar las variables y a ingresar los valores de las constantes de nuestro controlador PID como son K_p , K_i , K_d

Tabla 11
Ajuste del sistema de control

Constante	Valor	Valor ajuste fino
K_p	0.82	0.9
K_i	0.05	0.2
K_d	0.051	0.03

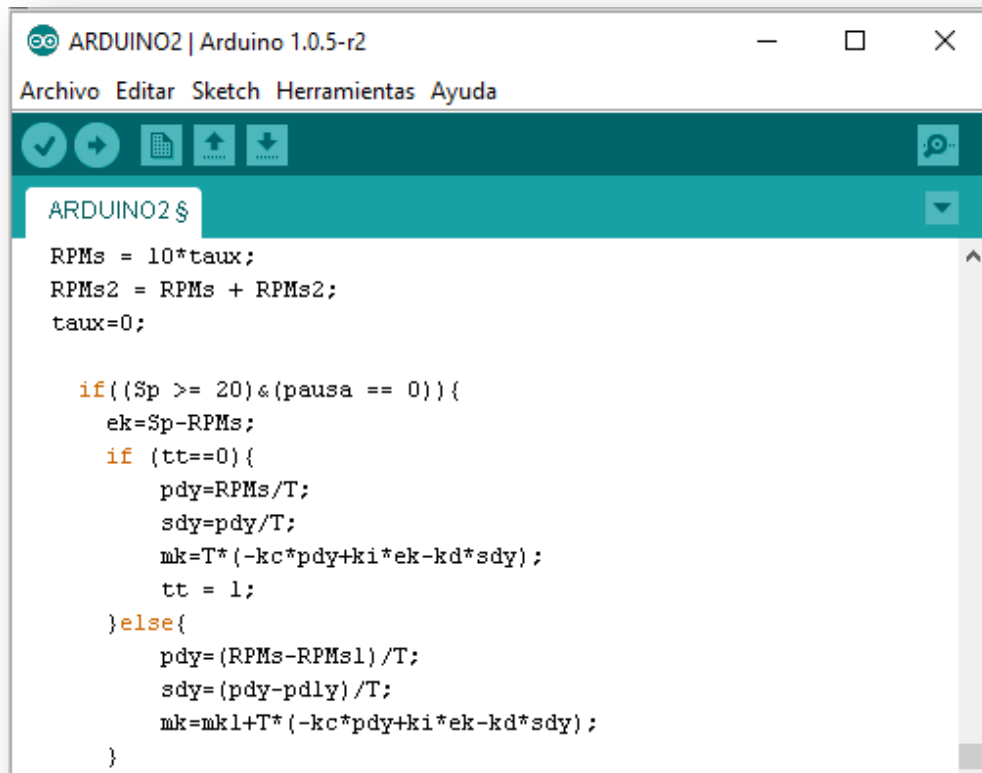
Se realizó un ajuste fino debido a que la planta que se obtuvo por medio nuestro encoder, existió una pequeña pérdida de datos por el motivo de los orificios del disco.



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Sketch", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for a checkmark, a right arrow, a grid, an upload arrow, a download arrow, and a search icon. The sketch name "ARDUINO2" is displayed in a dropdown menu. The main text area contains the following code:

```
float kc=1.0;
float ki=0.2;
float kd=0.03;
float T=0.05;
float ek=0;
float mk=0;
float pdy=0;
float pdly=0;
float sdy=0;
float mkl=0;
float m = 0;
```

Figura 66 Inicialización d en Arduino



```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

ARDUINO2 $
RPMs = 10*taux;
RPMs2 = RPMs + RPMs2;
taux=0;

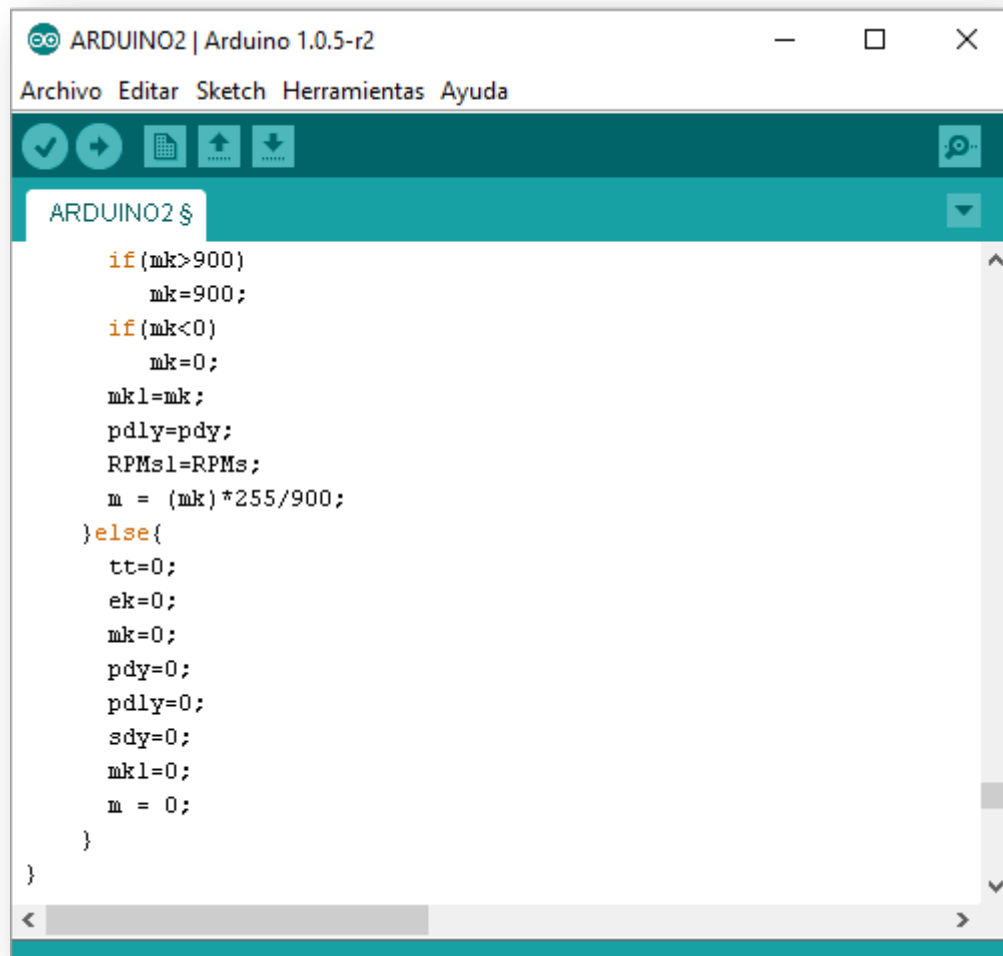
if({Sp >= 20}&(pausa == 0)){
  ek=Sp-RPMs;
  if (tt==0){
    pdy=RPMs/T;
    sdy=pdy/T;
    mk=T*(-kc*pdy+ki*ek-kd*sdy);
    tt = 1;
  }else{
    pdy=(RPMs-RPMs1)/T;
    sdy=(pdy-pdly)/T;
    mk=mk1+T*(-kc*pdy+ki*ek-kd*sdy);
  }
}

```

Figura 67 Programación de PID discreto

Como se observa en la Figura anterior procedemos a calcular el error y se realiza el control los cálculos de las variables de pdy y sdy las cuales se divide para el periodo T , que está trabajando en un control discreto tanto para el instante de inicio de la maquina ($taux=0$) como para valores ya diferente ($taux>0$) es decir cuando la maquina se encuentra en funcionamiento.

Con Pdy y Sdy una vez calculadas se procede a encontrar mk que se es la variable de control.



```

ARDUINO2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

ARDUINO2 $
    if(mk>900)
        mk=900;
    if(mk<0)
        mk=0;
    mkl=mk;
    pdly=pdly;
    RPMsl=RPMs;
    m = (mk)*255/900;
}else{
    tt=0;
    ek=0;
    mk=0;
    pdy=0;
    pdly=0;
    sdy=0;
    mkl=0;
    m = 0;
}
}

```

Figura 68 Restricciones e inicialización Arduino

Podemos observar que se coloca restricciones en cuanto a la variable de control `mk` para garantizar la acción, y no permitir que sobrepase las revoluciones diseñadas para el motor y tampoco tome valores negativos, se calcula la variable `m` que es la que se envía ya al mosfet en el rango que varía de 0 a 255.

Y finalmente se enceran o se inicializan nuevamente las variables para garantizar que los cálculos no se realicen con valores anteriores.

4.4 Elaboración de interfaz de control del sistema.

En la elaboración del interfaz de control se coloca la pantalla LCD a un ángulo de visibilidad 58 grados garantizando que la información se lea correctamente.

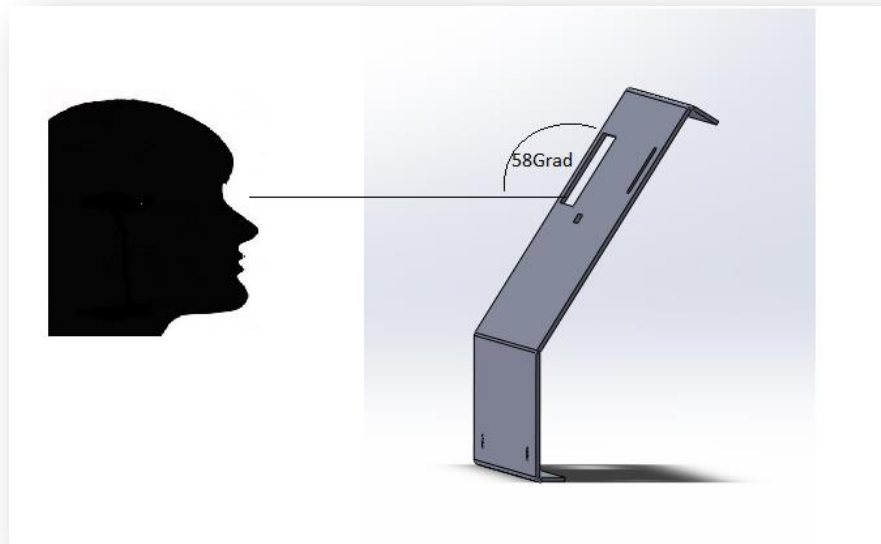


Figura 69 Angulo de visibilidad

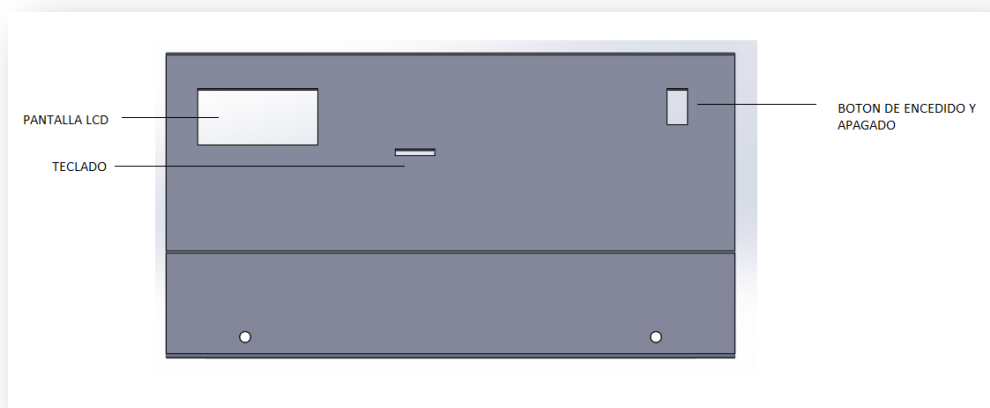


Figura 70 Ubicación de componentes del interfaz de control

En la carcasa principal se colocó los componentes del interfaz de control de tal manera que el usuario tenga un fácil acceso a la lectura de datos y por ende al ingreso de los mismos además el interfaz es amigable con el usuario



Figura 71 Interfaz de control ensamblado en la carcasa

A continuación se detalla el interfaz de control del sistema

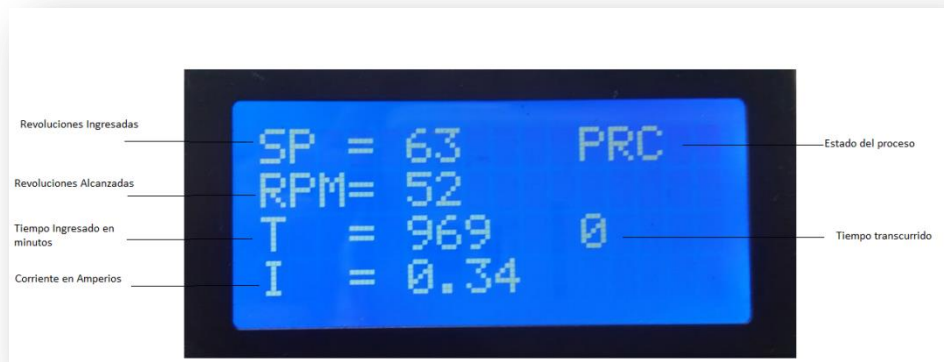


Figura 72 Indicadores del Interfaz Pantalla

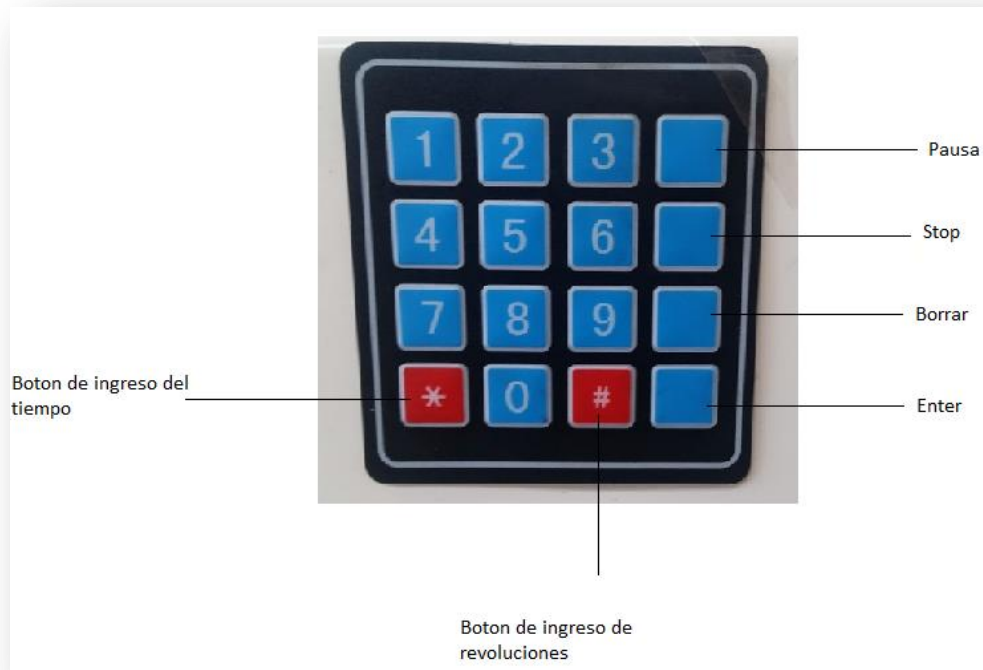


Figura 73 Indicadores del interfaz Teclado

5 Capítulo 5:

5.1 Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento del equipo de a analizado minuciosamente los puntos críticos que puede existir en la maquina

5.1.1 Calibración de sensores

En cuanto a la calibración de sensores en el encoder se tuvo que hacer una pequeña variación en la programación en cuando al factor relación de transmisión de movimiento debido a que el sensor se encuentra ubicado en el motor y no en la polea el cual se encuentra anclado a la bandeja para que se produzca el movimiento.

En la calibración se usó un tacómetro externo el cual nos arrojaba las rpm de la bandeja en la cual se van a ubicar los matraces y mediante un ajuste en el factor de relación de movimiento se fue calibrando el sensor encoder hasta obtener las mismas revoluciones en el tacómetro como en la pantalla LCD de nuestro agitador orbital.

En el sensor de corriente no fue necesario calibrar debido a que fue medida la corriente del sistema mediante un multímetro y arrojó los mismos valores que en la pantalla LCD del agitador orbital.

5.1.2 Verificación y corrección del movimiento orbital

Se verifico el movimiento orbital tal y no fue necesario realizar ninguna corrección debido a que se comparó con la simulación realizada en SolidWorks y el movimiento generado por el agitador orbital, los cuales tenían la misma trayectoria deseada.

5.1.3 Verificación del sistema mecánico

Para el sistema mecánico se inspecciono las sujeciones los cordones de suelda y no existió ningún desperfecto.

A demás se le sometió a la maquina a un trabajo continuo a su carga máxima durante 24 h en el cual se verifico los sistemas de sujeciones, el sistema de transmisión de movimiento tanto como para las poleas y banda de transmisión, se realizó una inspección de los rodamientos los cuales se encontraron el perfecto funcionamiento

5.1.4 Verificación del sistema eléctrico/ electrónico.

Como se mencionó en el literal 5.1.3 se realizó una prueba de funcionamiento durante 24 horas en el cual existió problemas con la pantalla LCD debido a que información que se despliega en ella desaparecía y a cambio de ella se reemplazada por símbolos extraños.

El motivo era que la pantalla fue colocada mediante un bus de datos que en el cual ingresaba interferencia de los diferentes elementos electrónicos y eléctricos que componen el agitador orbita.

Se solucionó colocando un capacitor de 10uF a la entrada de alimentación de la pantalla, el cual filtra las interferencias causadas por los diferentes elementos electrónicos.

A demás se verifico la disipación de calor de los elementos de potencia el cual catalogamos como un punto crítico y se comprobó que la temperatura máxima fue de 21 grados centígrados.

5.1.5 Verificación del sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo consta de un sensor de corriente el cual esta calibrado de tal manera que al instante que la corriente del sistema exceda los 3 amperios de consumo, se active una alarma auditiva y el funcionamiento se detenga.

Por lo tanto se colocó una sobre carga al sistema, forzándole a que el consumo de corriente aumente, y así poder verificar el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo.

5.2 Análisis de resultados.

Para los análisis de resultados se realizó pruebas durante 48 horas con una carga normal a temperatura ambiente y se analizó las los puntos críticos tanto de la parte mecánica como de la parte electrónica

5.2.1 Mecánica

Se consideró una pieza crítica a los rodamientos y se realizó una análisis debido a que al momento de ensamblar, es decir al introducirlos en los bocines se los introdujo mediante golpes y por ende pueden haber sufrido algún daño y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 12
Análisis de resultados mecánicos

Rodamientos	
Guarda polvos	En excelente estado
Lubricación	Ninguna fuga
Sonido de las canastillas	Normal
Inspección visual	normal
<p>Por lo tanto en el análisis de la pieza crítica de la parte mecánica se consideró que se encuentra en perfecto estado y por ende va a tener el tiempo de vida diseñado</p>	

5.2.2 Eléctrica y electrónica

Como se mencionó en el literal 5.1.4 se consideró un punto crítico en la parte electrónica la disipación de calor en los elementos de potencia se realizó un análisis colocando un sensor de calor el cual fue tomando datos cada una hora al inicio y cada 5 horas luego de haber transcurrido las 5 primeras horas y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 13
Temperatura de los elementos de potencia

ELEMENTOS DE POTENCIA	
Hora	Grados en centígrados
8 am	14
9am	32
10am	34
11am	35
12pm	35
5pm	34
10pm	33

3am	33
8am	34
1pm	35
6pm	34
11pm	33
4am	33
9am	35
Promedio	32.4

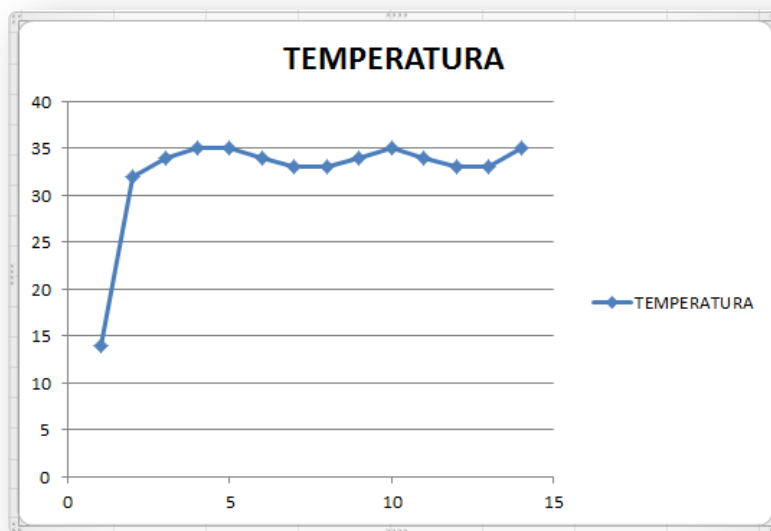


Figura 74 Grafica de temperatura vs tiempo

De acuerdo a la temperatura promedio de trabajo de los elementos de potencia de nuestro agitador que es de 32 grados centígrados y como máxima temperatura es de 35 grados, se verifico que se encuentra en el rango de funcionamiento correcto recomendado por el fabricante el cual nos garantiza la vida útil de los elementos electrónicos de potencia.

6 CAPITULO 6

6.1 Viabilidad Técnica

El proyecto que se llevó a cabo bajo un estricto orden técnico, en el cual se buscaba optimizar cada uno de los procesos de manufactura y obtener la mayor cantidad de prestaciones por parte de los elementos electrónicos de control, con lo cual se buscaba alcanzar el objetivo de bajo costo y alta eficiencia.

Al lograr estos dos puntos que son sumamente importantes en la viabilidad de un producto, podemos decir con satisfacción que el proyecto posee una alta viabilidad debido a la facilidad en la manufactura y optimización de elementos de programación.

Dentro de la industria nacional, contamos con muy buenos centros de mecanizado, en los cuales podemos manufacturar los diferentes elementos mecánicos que posee un agitador orbital, del mismo modo, los diferentes elementos que posee el agitador orbital como son un micro controlador, elementos de electrónica de potencia y rodamientos, son muy fáciles de conseguir en nuestro medio.

Por estas razones, es totalmente viable la fabricación de este equipo, ya sea para la agitación de medios acuosos en el Laboratorio de Cultivos Vegetales o en diferentes laboratorios para actividades similares a la que nosotros hemos establecido.

A continuación presentamos un análisis más detallado de los diferentes elementos que consideramos importantes en la construcción, con el afán de que si algún día este equipo llegase a ser reproducido, se tomen en cuenta dichos elementos tanto para su fabricación o como elementos necesarios.

Ejes y Poleas:

En lo que se refiere a la fabricación y maquinado de piezas mecánicas se lo puede realizar en un torno convencional, sin la necesidad de un centro de mecanizado CNC, debido a que su complejidad es de un nivel considerado como bajo, además el material de elaboración es de acero muy común y de fácil obtención en el mercado local.

Rodamientos:

En lo referente a los rodamientos se han utilizado medidas estándar de acuerdo a los catálogos de varios fabricantes, debido a esto, podemos conseguirlos fácilmente y en diferentes marcas.

Carcasa y bandejas

En cuanto a la carcasa y las bandejas se lo realizo en unas planchas de tol debido a sus propiedades, que nos facilita el proceso de doblado.

Para la parte eléctrica y electrónica utilizamos elementos comunes en las electrónicas que se encuentran en el mercado local y de bajo costo.

Se utilizó un motor de corriente directa, el cual no necesita mayor mantenimiento además un sensor, pantalla LCD y teclado de fácil obtención en todos los proveedores de artículos electrónicos de fácil desmonte y cambio si se diera el caso de falla de uno de los componentes.

Y finalmente la parte de control se ha utilizado una placa electrónica denominada Arduino la cual utiliza un software libre muy amigable con el usuario y de programación muy sencilla.

Con todo el análisis realizado anteriormente se garantiza una viabilidad técnica del proyecto dando paso así a la creación de una maquina muy confiable en todos los aspectos, tanto en creación como en seguridad de contar con todos los elementos que componen la misma y de fácil accesibilidad en mercados locales

Además considerando muy bajos costos en mantenimiento debido a que la mayoría de los componentes que se encuentran dicha maquina no lo necesitan.

6.2 Rentabilidad Económica Del Proyecto

Este proyecto posee un precio muy inferior a un agitador de similares características que encontramos en la industria, ya que hemos optimizado los procesos de manufactura y las ventajas electrónicas entregadas por un micro controlador, lo cual no poseen los equipos que se encuentran en el mercado.

El proyecto del Agitador Orbital Modular, posee elementos de fácil acceso en el mercado como de procesos de manufactura, lo cual les da un valor relativamente bajo en comparación a los equipos importados que se ofrece en el país.

Como elementos de mayor costo, tenemos el motor, ya que en la actualidad un motor de esas características, puede llegar a poseer un valor sumamente alto relativamente hablando, ya que existen motores más costosos y que poseen características similares o mejores en un porcentaje no muy notorio.

Por estas razones, podemos considerar que el proyecto posee una rentabilidad económica sumamente alta, debido a la facilidad en la adquisición de elementos y en los costos de producción.

7 Capítulo 7

7.1 Conclusiones.

Se ha diseñado y fabricado un equipo agitador orbital modular con las siguientes características: Voltaje de funcionamiento 110 (VAC), rango de velocidad de trabajo de 20 a 120 (RPM) y con un peso aproximado de 45 (kg)

El Agitador Orbital Modular permite la agitación de medios acuosos mediante el movimiento excéntrico de la bandeja donde se encuentran alojados los diferentes vasos de precipitación, a una velocidad constante.

El sistema de control empleado para el Agitador Orbital Modular es un Control Proporcional Integral y Derivativo, conocido por sus siglas como PID, el cual ha sido implementado en un micro controlador ARDUINO, el cual es de libre acceso tanto en placa electrónica como en lenguaje de programación.

El rango de trabajo del Agitador Orbital Modular es de 20 a 120 (RPM) debido a las necesidades proporcionadas por el Laboratorio de Cultivos Vegetales.

El equipo posee características especiales que no se los encuentra en los diferentes agitadores ofertados en el mercado nacional, lo cual lo convierte en un equipo funcional y de grandes prestaciones.

Debido a los diferentes materiales y procesos de manufactura, el equipo posee características de resistencia a derrames, golpes y sobre voltaje, así mismo, posee seguridades tanto para el equipo como para las personas que se encuentran cercanas a él.

El diseño del Agitador Orbital Modular ha permitido implementar nuevas tecnologías, promoviendo el desarrollo de quipos en el país y con ello integrarnos a la matriz productiva que se encuentra siendo impulsada por el Gobierno Nacional.

La interacción entre el usuario y el quipo, se lo hace mediante una interfaz fácil de entender, visualizar, e ingresar los valores de las variables de tiempo y velocidad.

La seguridad ha sido un aspecto muy importante, por lo cual se adicionó señales sonoras y visuales si llegase a ocurrir algún altercado.

El uso de elementos mecánicos y mecanismos hacen que el sistema funcione adecuadamente y sobre todo de manera robusta.

Una vez realizados los cálculos económicos y las pruebas de funcionamiento, se ha determinado que el desarrollo de dicho Agitador Orbital Modular es de gran ayuda para el Laboratorio de Cultivos Vegetales perteneciente al Departamento De Ciencia De La Vida de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

7.2 Recomendaciones.

Utilizar las normas de seguridad y precaución para el manejo de quipos en el laboratorio.

Se recomienda a todos los usuarios del agitador orbital, leer el manual de usuario tomando en cuenta los posibles fallos y soluciones que se deben realizar, con el fin de lograr una correcta ejecución.

El equipo ha sido diseñado para evitar derrames o golpes, pero se recomienda que se evite esta situación a lo máximo posible para evitar complicaciones.

Se recomienda no sobre cargar la capacidad de frascos, ya que por la agitación podemos causar la caída de uno o varios de ellos.

En base a la investigación realizada en este proyecto, se recomienda continuar con el desarrollo de equipos similares con sistemas de control eficientes y de bajo costo.

8 Bibliografía

- López Encina, C., & González Padilla, I. M. (03 de 11 de 2105). *Encuentros*. Obtenido de <http://www.encuentros.uma.es/encuentros49/metabolitos.html>
- Pérez, N., & Jiménez, E. (2011). Producción de metabolitos secundarios de plantas mediante el cultivo in vitro. *Biotecnología Vegetal*, 197-198.
- Alibaba. (s/f de s/f de s/f). *Catálogo*. Recuperado el 30 de enero de 2016, de <https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjMIPTXu9LKAhXIHB4KHdb6BBwQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fspanish.alibaba.com%2Fproduct-gs%2F16x4-standard-character-lcd-display-338653305.html&psig=AFQjCNF0nAdTIaWCFPI>
- ANACAP. (s.f.). *Dispositivos de Electronica de Potencia*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de [http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2040_2013%20%20%20T%20C3%89CNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIER%20C3%8DA%20\(ELECTROELECTR%20C3%93NICO\)/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/CONOCIMIENTOS%20ESPEC%20C3%8DFICOS/DISPOS](http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2013/REF%2040_2013%20%20%20T%20C3%89CNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIER%20C3%8DA%20(ELECTROELECTR%20C3%93NICO)/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/CONOCIMIENTOS%20ESPEC%20C3%8DFICOS/DISPOS)
- ATX. (2014). *ATX*. Obtenido de ATX.
- Borges, C., Olivero, N., González, Á., & Fernández, F. (07 de Septiembre de 2014). *Monografías*. Recuperado el 02 de Octubre de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos16/componentes-electronicos/componentes-electronicos.shtml#ixzz3nF8xzMeM>
- CEJAROSU. (25 de 10 de 2015). *concurso*. Obtenido de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/operadores/ope_polea.htm
- Electronica del Norte. (s/f de 12 de 2015). *Catálogo*. Recuperado el 30 de enero de 2016, de https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjctdipu9LKAhWGJB4KHVgRDpUQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.alibaba.com%2Fproduct-detail%2FUL-Momentary-boat-like-switch-double_329079461.html&bvm=bv.113034660,d.dmo&
- EUMED. (s.f de s.f de s.f). *Elementos de Control*. Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2009d/618/Elementos%20del%20Control.htm>
- geekfactory. (2015). *geekfactory*. Obtenido de geekfactory.
- INEN-021, R. T. (2008). *REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN-021*. Obtenido de REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO INEN-021.

- Ingeniería en Biotecnología*. (s.f.). Recuperado el 01 de Julio de 2015, de <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=177>
- Jonathan, Amagandi. (s.f de s.f de s.f). *Entorno de Desarrollo*. Recuperado el 26 de Octubre de 2015, de <http://jamangandi2012.blogspot.com/2012/10/entorno-de-desarrollo.html>
- María Jesús, V. (s.f de s.f de s.f). *Motores Eléctricos*. Recuperado el 03 de Octubre de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.pdf>
- Mercado Libre. (s/f de s/f de 2014). *Mercado Libre*. Recuperado el 30 de 01 de 2016, de https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwirks2xvNLKAhVJpR4KHe2NDNIQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Farticulo.mercadolibre.com.ar%2FMLA-588922875-_JM&psig=AFQjCNE7-jltgLGI2-ZSHHXzDybsQY05Xw&ust=1454275444736171
- mindstormsyarduino. (2015). *mindstormsyarduino*. Obtenido de mindstormsyarduino.
- neoteo. (2015). *neoteo*. Obtenido de neoteo.
- Olmedo, F. (2012). Trayectoria. *Teoria de maquinas y macanismos asistidos por computadora*, 12.
- Robotix. (2005). *Robotix*. Obtenido de Robotix.
- SAPIENSAMAN. (s.f de s.f de s.f). *Conceptos de Control Automático Industrial*. Recuperado el 17 de Octubre de 2015, de http://www.sapiensman.com/control_automatico/control_automatico7.htm
- Shigley. (2008). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Conecticut: McGill.
- Virginia, M. (s.f de Marzo de 2002). *Herramientas de MATLAB*. Recuperado el 25 de Octubre de 2015, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/control1/web/Apuntes/Matlab2.pdf>