



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA
DOSIFICADORA PARA CONTROLAR EL NIVEL DE PH EN
SUBSTANCIAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO DE
BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS-ESPE”**

AUTORES:

ANDRÉS PABLO GUERRERO ARIAS

GABRIEL ANTONIO MARTÍNEZ ZAMBRANO

DIRECTOR: ING. PEDRO MERCHÁN

CODIRECTORA: MARBEL TORRES, PhD

SANGOLQUÍ

AGOSTO 2015

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de grado denominado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA PARA CONTROLAR EL NIVEL DE PH EN SUBSTANCIAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS - ESPE" fue realizado en su totalidad por Andrés Pablo Guerrero Arias y Gabriel Antonio Martínez Zambrano, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.



ING. PEDRO MERCHÁN
DIRECTOR



MARBEL TORRES, PHD
CODIRECTORA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA PARA CONTROLAR EL NIVEL DE PH EN SUBSTANCIAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS - ESPE”

Elaborado por:

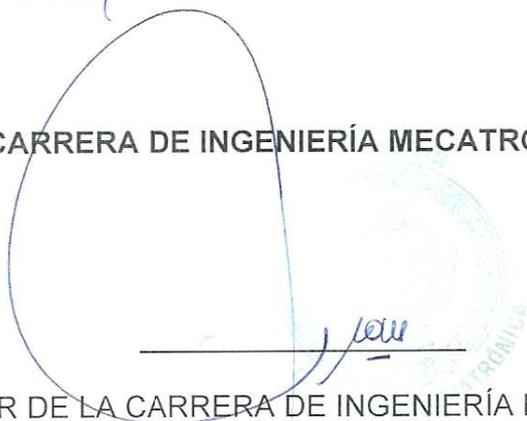


ANDRÉS PABLO GUERRERO ARIAS



GABRIEL ANTONIO MARTÍNEZ ZAMBRANO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

ING. FRANCISCO TERNEUS

Sangolquí, 11 de agosto del 2015

AUTORIZACIÓN

Nosotros:

Andrés Pablo Guerrero Arias y Gabriel Antonio Martínez Zambrano

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA PARA CONTROLAR EL NIVEL DE PH EN SUBSTANCIAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS - ESPE” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



ANDRÉS PABLO GUERRERO ARIAS



GABRIEL ANTONIO MARTÍNEZ ZAMBRANO

Sangolquí, 11 de agosto del 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padre Pablo que con su sabiduría e inteligencia siempre me ha sabido aconsejar para mi bien, a mi madre Inés que con su dedicación y amor me acompañó en todo momento y a mis hermanas que con su esfuerzo y trabajo han ayudado que pueda completar todos mis objetivos que me he puesto en mi vida. Por lo que este trabajo no lo hice solo pensando en mí, sino también lo realice para demostrar a mi familia que todo su trabajo no fue en vano y que educaron bien a su hijo y hermano, y que seguiré esforzándome, trabajando hasta el final y con sabiduría como siempre me enseñaron.

Además quiero dedicarlo a esos seres que siempre estuvieron junto a mí no importaba el momento ni la hora y que siempre me hicieron sonreír y a pesar que algunos ya no estén en cuerpo siempre me acompañaran en mi mente y corazón.

ANDRÉS PABLO GUERRERO ARIAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Fernando y Carlina, ya que con su ayuda, su esfuerzo siempre me han dado las herramientas necesarias para poder cumplir con mis objetivos tanto personales como profesionales.

A mi hermano Fernando por su ayuda incondicional durante este proyecto, por sus consejos que me han servido para poder culminar este trabajo.

A mi hermana Alexandra por su amor por su cariño y por sus ánimos que me brindó a lo largo de mis estudios y sobretodo en este proyecto.

También dedico este trabajo a mis compañeros y personas que me han acompañado durante mi largo trayecto en la Universidad.

GABRIEL ANTONIO MARTÍNEZ ZAMBRANO

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mi compañero de trabajo en este proyecto, Gabriel, que a pesar de muchas diferencias siempre supimos trabajar juntos para sacar esta tesis adelante.

A nuestras familias que siempre estuvieron ahí para lo que necesitáramos.

Al ingeniero Diego Nieto que con sus conocimientos supo colaborarnos y aconsejarnos.

A nuestros profesores que dedicaron su tiempo para guiarnos de la mejor manera en estos años de educación.

A mis amigos que me enseñaron que este viaje no termina, y hay que vivir cada día como si fuera el más valioso, porque no sabemos si mañana podremos tener las mismas oportunidades. Una mención especial a mi amigo Mateo por todas sus colaboraciones.

A nuestro Director y Codirectora por guiarnos en este trabajo y la Dr. Mónica por colaborarnos con el tema de tesis.

ANDRÉS PABLO GUERRERO ARIAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por su guía durante toda mi vida y en especial durante estos últimos meses en el trabajo de Tesis.

A mi compañero Andrés por su trabajo constante y por su ayuda en los momentos que no podíamos reunirnos, y sobre todo por su paciencia a la hora de trabajar.

A nuestras familias también por toda la ayuda brindada aún más en las noches que nos desvelábamos y nos daban ánimos.

Al Ingeniero Diego Nieto por brindarnos toda la ayuda que necesitamos en la construcción de la máquina.

A los Ingenieros dentro de la Universidad por su constante enseñanza y por todo el conocimiento que nos fue transmitido.

A mis amigos y compañeros dentro y fuera de la Universidad que supieron darme ánimos para poder culminar pronto esta etapa y ayudarme en lo que yo más necesitaba.

GABRIEL ANTONIO MARTÍNEZ ZAMBRANO

CONTENIDO

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.	2
1.4 Alcance del proyecto.....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Descripción del sistema de dosificación	4
2.1.1 Principio de funcionamiento mecánico.....	4
2.2 Descripción del sistema de control.	6
2.2.1 Tipos de control	7
2.3 Descripción del sistema eléctrico y electrónico.....	8
2.3.1 Funcionamiento.	9
2.3.2 Almacenaje.	10
2.4 Nivel de pH.	10
2.5 Ácidos y bases.....	10
2.6 Ajuste de pH	13
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE pH.....	15
3.1 Selección de los principales componentes	15
3.1.1 Selección de sistema de dosificación.	15
3.1.2 Selección de sistema de control.	18

3.1.3	Selección de electrodo.....	19
3.1.4	Selección de agitador.	19
3.1.5	Selección de interfaz de usuario.....	20
3.2	Diseño Mecánico.	21
3.2.1	Posicionamiento del electrodo.....	21
3.2.2	Sistema de dosificación.	32
3.2.3	Agitador.	33
3.2.4	Estructura.	34
3.3	Diseño Electrónico.....	39
3.3.1	Voltajes del sistema.....	40
3.3.2	Corrientes del sistema.	40
3.3.3	Diseño de la fuente de voltaje.....	42
3.3.4	Acondicionamiento de la señal del electrodo.....	44
3.3.5	Diseño de circuitos de control.....	49
3.3.6	Diseño de circuitos de potencia.....	52
3.3.7	Asignación Entradas y Salidas para Microcontrolador.....	58
3.3.8	Diseño de interfaz de usuario.	60
3.3.9	Algoritmo de control de pH.	62
3.3.10	Diseño de la placa electrónica (PCB).	63
3.3.11	Diseño Panel de Control.....	67
CAPÍTULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS		69
4.1	Calibración Máquina.....	69
4.1.1	Configuración pH4, pH7 y pH 10.	69
4.2	Agitador.	70
4.3	Dosificación Ácido	70
4.4	Dosificación Base	71
4.5	Posicionamiento automático del electrodo.....	72
Capítulo 5. Análisis económico		73
5.1	Costos directos.....	73
5.2	Costos de materia prima.....	73
5.3	Costos de mano de obra directa.....	75
5.4	Costos indirectos	76
5.5	Costos totales	77
5.6	Comparación con controlador de pH en el mercado.....	78
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
6.1	Conclusiones	80
6.2	Recomendaciones	81
6.3	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	82

CAPÍTULO 7. ANEXOS	84
7.1 Hoja de datos de los elementos.....	84
7.2 Manual de usuario	95
7.3 Planos mecánicos.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Mini válvulas de aguja.	4
FIGURA 2. Bombas dosificadoras.	5
FIGURA 3. Sistema de control de lazo cerrado.	7
FIGURA 4. Esquema de dos electrodos usados para medir pH.	9
FIGURA 5. Diagrama de bloques para el sistema de control de pH.	15
FIGURA 6. Bomba peristáltica de 12v.	17
FIGURA 7. Posicionamiento del electrodo de pH.	22
FIGURA 8. Primer diseño del soporte de electrodo (Solidworks 2013).	23
FIGURA 9. Diagrama de fuerzas del soporte.	24
FIGURA 10. Simulación de desplazamientos del soporte del electrodo (Solidworks 2013).	27
FIGURA 11. Simulación de deformaciones unitarias del soporte del electrodo (Solidworks 2013).	27
FIGURA 12. Segundo y final diseño del soporte de electrodo (Solidworks 2013).	29
FIGURA 13. Simulación de desplazamientos del soporte del electrodo final (Solidworks 2013).	29
FIGURA 14. Simulación de deformaciones unitarias del soporte del electrodo final (Solidworks 2013).	30
FIGURA 15. Imán de disco duro.	33
FIGURA 16. Base agitador (Solidworks).	35
FIGURA 17. Vista superior de la estructura (Solidworks).	36
FIGURA 18. Soportes de caucho para la base.	36
FIGURA 19. Fuerza aplicada en el soporte para envases.	37
FIGURA 20. Diagrama Bloques Diseño Electrónico.	39
FIGURA 21. Configuración para un regulador de tensión 78XX y 79XX.	44
FIGURA 22. Fuente de Voltaje de 12V,-12V y 9V.	44

FIGURA 23. Filtro pasabajos de entrada de acondicionamiento del electrodo (ISIS).....	45
FIGURA 24. Filtro Amplificador No Inversor (ISIS)	46
FIGURA 25. Circuito Seguidor + Diferenciador (Restador) (ISIS)	47
FIGURA 26. Circuito seguidor (ISIS).	49
FIGURA 27. Circuito de acondicionamiento del electrodo de pH (ISIS).....	49
FIGURA 28. Circuito de control: teclado (ISIS).....	50
FIGURA 29. Circuito de control sensores de fuerza (ISIS).....	51
FIGURA 30. Circuito de control fines de carrera (ISIS).....	52
FIGURA 31. Circuito de control del agitador (ISIS).....	52
FIGURA 32. Circuito de Control Bombas Dosificadoras (ISIS).	54
FIGURA 33. Circuito de control del buzzer (ISIS).....	56
FIGURA 34. Conexión Arduino L298N	58
FIGURA 35. Asignación de Pines Microcontrolador Arduino Mega 2560	60
FIGURA 36. Modelo de Pantallas Dosificador pH (Software ISIS, Programación Arduino).....	61
FIGURA 37. Flujo grama de control de pH	62
FIGURA 38. Sección de la pista a partir de la temperatura de funcionamiento.	63
FIGURA 39. Selección del ancho de pista a partir del material y sección.....	64
FIGURA 40. Inserción de ancho de pistas para las fuentes (Ares)	64
FIGURA 41. Inserción de ancho de pistas para conexión en general (Ares).....	65
FIGURA 42. PCB Fuente 12V,-12V,9V (Ares).....	65
FIGURA 43. Diseño doble capa, control dosificador de pH (Ares).	66

FIGURA 44. Pantalla GLCD	67
FIGURA 45. Diseño Panel de Control (Carcasa) (Solidworks)	68
FIGURA 46. Diseño PCB Botones.....	68
FIGURA 47. Controlador de pH microprocesadores, montaje en pared HI 21.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del Ácido Clorhídrico.....	11
Tabla 2. Propiedades del hidróxido de sodio.....	12
Tabla 3. Selección de sistemas de dosificación.....	16
Tabla 4. Selección de sistemas de control.....	18
Tabla 5. Selección de Electrodo	19
Tabla 6. Selección de Agitador	20
Tabla 7. Selección de pantalla de interfaz de usuario.....	21
Tabla 8. Dimensiones de matraces.....	21
Tabla 9. Selección de Soporte Electrodo.....	24
Tabla 10. Selección del material de la placa.....	34
Tabla 11. Voltajes Elementos Sistema de Dosificación.	40
Tabla 12. Corrientes Elementos Sistema de Dosificación.	42
Tabla 13. Asignación de pines In/Out microcontrolador.....	59
Tabla 14. Pantallas principales de la interfaz.....	61
Tabla 15. Velocidades del agitador según volumen del Erlenmeyer.....	70
Tabla 16. Dosificación ácido	71
Tabla 17. Dosificación base.....	71
Tabla 18. Posicionamiento del electrodo	72
Tabla 19. Costos de materiales mecánicos	74
Tabla 20. Costos de materiales electrónicos	75
Tabla 21. Costo de fabricación y ensamblaje	76
Tabla 22. Costos de mano de obra indirecta	76
Tabla 23. Costo de materiales indirectos.....	77
Tabla 24. Costos operativos	77

Tabla 25. Costos totales	78
Tabla 26. Precios controlador pH y agitador.....	79
Tabla 27. Comparación de dosificadores de pH	79

RESUMEN

El presente proyecto muestra el diseño e implementación de una máquina para controlar el nivel de pH de sustancias en general en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, y tiene como objetivo principal el control de pH de una manera exacta y precisa, este nivel de pH es muy crítico dentro del cultivo de tejidos vegetales o animales, ya que se puede influir en el consumo de ingredientes o nutrientes en el medio o aditivos reguladores en el crecimiento de plantas o microorganismos, además que se genera una optimización en el tiempo de control y se reduce casi en su totalidad la intervención humana dando como resultado un control fino y evitando la mayor cantidad de errores por lectura o manipulación.

PALABRAS CLAVE:

- **NIVEL DE PH**
- **CULTIVO DE TEJIDOS**
- **DISEÑO DE MÁQUINAS**
- **DISEÑO ELECTRÓNICO**
- **BOMBAS PERISTÁLTICAS**

ABSTRACT

This project shows the design and implementation of a machine to control the level of pH of substances in general in the laboratory of Biotechnology of the University of the Armed Forces-ESPE, and has as main objective the control of pH in an accurate and precise manner.

This pH level is very critical in tissue culture, because may influence in the consumption of ingredients or nutrients in the medium or regulating additives on growing plants or microorganisms, furthermore optimization is generated in the time that is used to control and human intervention is reduced resulting in a fine control and avoiding the majority amount of handling or reading errors.

KEYWORDS:

- **PHLEVEL**
- **TISSUE CULTURE**
- **MACHINES DESIGN**
- **ELECTRONIC DESIGN**
- **PERISTALTICS PUMPS**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Son varias las herramientas utilizadas para el análisis y realización de experimentos en todos los campos de la ciencia, siendo uno de ellos la Biotecnología, el cual ha sido de mucho interés en los últimos años, sobre todo en el Ecuador que vio gran potencial en el desarrollo de la Biotecnología, para investigaciones en los diferentes campos de acción tales como el vegetal, animal, humana e industrial.

La Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE realiza varios proyectos de investigación en lo que a Biotecnología se refiere, por lo cual es necesario contar con los equipos adecuados que faciliten la ejecución de cada proyecto para alcanzar los objetivos impuestos.

Uno de los procesos realizados por los investigadores es el tener un valor adecuado de pH en diferentes soluciones que utilizan para varias aplicaciones. Este proceso se lo realiza de forma manual por parte de los investigadores, lo cual puede tomar demasiado tiempo y no ser tan exacto, debido a esta situación se busca automatizar dicho proceso para el beneficio de las investigaciones realizadas por la universidad.

1.2 Justificación

Este tipo de máquinas suele tener un costo elevado dentro del mercado por lo que adquirirlo puede llegar a ser muy difícil para la universidad. Por ello se busca con este proyecto realizar el diseño e implementación hecho con menores costos, ya sea tanto por los materiales usados como por el diseño. Siempre y cuando mantenga una alta precisión e innovando en la realización de este tipo de máquinas en el país activando así la matriz productiva del Ecuador, la misma en la que se encuentra identificada varios campos de la industria, para el desarrollo del país, entre ellos se encuentra

además la biotecnología como uno de los sectores principales a desarrollar ya que se ha visto un gran potencial en el país debido a la biodiversidad de organismos. La industria tecnológica es otro campo el cual se busca fortalecer, por lo que se motiva a realizar proyecto emprendedores por parte de universidades para que exista innovación en el Ecuador y se pueda crear equipos para que de esta manera la manufacturación sea un ingreso importante para el país.

Dentro del mercado el costo aproximado de una máquina como la que se va a realizar está alrededor de unos \$2000 en el exterior, sin contar con los sistemas que se van añadir como un posicionamiento automático del electrodo y una dosificación en base a los requerimiento de la Universidad, los cuáles superan el valor inicial. Estos equipos están adjuntados en los anexos, dentro del capítulo de análisis económico se compararán los precios.

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Diseñar e implementar el prototipo de una máquina para controlar el nivel de pH, para el uso con soluciones en general.

1.3.2 Específicos.

- Diseñar un mecanismo de agitación y control de pH que funcione para cualquier tipo de matraz.
- Diseñar un sistema de auto limpieza para impedir obstrucciones y mezclas indeseadas dentro del mecanismo.
- Diseñar un interfaz que resulte fácil de entender y manejar para el usuario.

1.4 Alcance del proyecto.

El principal diseño a ser considerado en la creación de este equipo de laboratorio, es el mecanismo para la dosificación de ácidos y bases, que básicamente debe tener un diseño funcional y concurrente, para que pueda adaptarse a las diferentes medidas o cantidades de volumen, cabe recalcar que el máximo volumen que se pondrá en el equipo será de 2lts.

Además para la selección del material para los elementos del equipo como son mangueras y placas metálicas, entre otros, se debe tener en cuenta los tipos de sustancias que se van a usar. Lo que se debe tener en cuenta son los ácidos ya que estos son los que podrían reaccionar con el mecanismo haciendo que se corroan. Las sustancias comúnmente usadas son el Hidróxido de sodio (NaOH) y el Ácido clorhídrico (HCl).

Con la implementación de este proyecto se busca integrar la ingeniería Mecatrónica con otras carreras con el fin de aplicar los diferentes conocimientos obtenidos y a su vez ayudar con las necesidades generadas dentro de otras áreas de la universidad.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción del sistema de dosificación

Un sistema de dosificación se lo puede realizar de distintas formas y son cada vez más usados para evitar que sean realizados de forma manual, esto favorece a una mayor precisión y rapidez en los procesos.

Su campo de aplicación depende de las soluciones a usar, siendo estas para premezclado o para productos finales, además del tipo de industria en las que se los utilice. Por lo que se puede encontrar la de alimentos, químicos y/o farmacéuticos. El grado de automatización que los sistemas posean también es una variable a tomar en cuenta.

Las ventajas de optar por una dosificadora son las siguientes: Reducir costos de operación, reducir tiempos de producción, menos desperdicio de materia prima, flexibilidad de manejo de materia prima, manejo seguro y mayor higiene en el proceso.

2.1.1 Principio de funcionamiento mecánico.

Se tuvieron tres ideas prácticas para realizar la parte mecánica de la dosificación, las cuales fueron: dosificación por mini válvulas, jeringas y bombeo.



FIGURA 1. Mini válvulas de aguja.

Fuente: (Direct Industry, 2013)

Para este caso donde se usan sustancias químicas, se busca que el material no reaccione con las sustancias. Dependiendo del nivel de corrosión, el material usado podría ser entre plásticos, cerámicos y algunos metales. Y debido a que los compuestos no poseen un alto nivel de corrosión, el margen de materiales no es tan excluyente.

Comúnmente se emplea reservorios en donde son colocados los líquidos para después mediante válvulas y bombeo o simplemente por gravedad, depositarlas dentro de viales u otros envases. En procesos industriales las válvulas se automatizan para controlar la cantidad de líquido que se deja pasar. En el caso de las jeringas lo que se hace es empujar el embolo de forma controlada para que fluya el líquido fuera del reservorio. Y para el bombeo se utilizan bombas electrónicas conocidas también como bombas peristálticas pequeñas que son usadas para llevar un líquido de un punto a otro mediante la compresión de mangueras, son usadas comúnmente en acuarios.



FIGURA 2. Bombas dosificadoras.

Fuente: (Direct Industry, 2014)

Además al momento de realizar la dosificación se debe agitar el matraz para que las sustancias se mezclen, esto se lo suele realizar usando magnetismo, este tipo de agitadores se llaman magnéticos. Este sistema se basa en el uso de una pequeña barra magnética la cual es colocada dentro

del matraz, se le coloca un recubrimiento el cual suele ser de plástico, más comúnmente usado teflón, y se lo hace girar mediante la provocación de campos magnéticos. Estos campos se los realizan de dos formas diferentes, una de ellas es el uso de un imán, el cual suele ser de forma rectangular, acoplado a un motor y el otro caso usa el mismo principio de un motor eléctrico el cual energiza bobinas para producir los campos electromagnéticos. En el proceso de diseño se analizara cuál es la mejor opción para realizar la agitación.

2.2 Descripción del sistema de control.

Un sistema de control consta de componentes interconectados y está diseñado para lograr un propósito deseado.

La práctica actual de la ingeniería de control incluye el uso de estrategias de diseño de control para mejorar los procesos de fabricación, la eficiencia del uso de la energía, el control del automóvil avanzado, incluyendo el tránsito rápido, entre otros.

Dentro de los dosificadores, el sistema de control es muy necesario, dado que este controlador se encargará de entregar la cantidad necesaria, ya sea de ácido o bases, dependiendo a que pH se quiera llegar en la sustancia puesta en el laboratorio.

Indistintamente del tipo de dosificador, que se vaya a realizar, el control debe ser preciso. Dentro de la industria, existen algunos tipos de controladores, los cuales se verán detallados a continuación.

2.2.1 Tipos de control

2.2.1.1 Controlador en Lazo Cerrado.

Es lazo cerrado porque tiene una retroalimentación, donde la salida, se mide a cierta frecuencia. Así como también la señal de entrada, es generada a cierta frecuencia

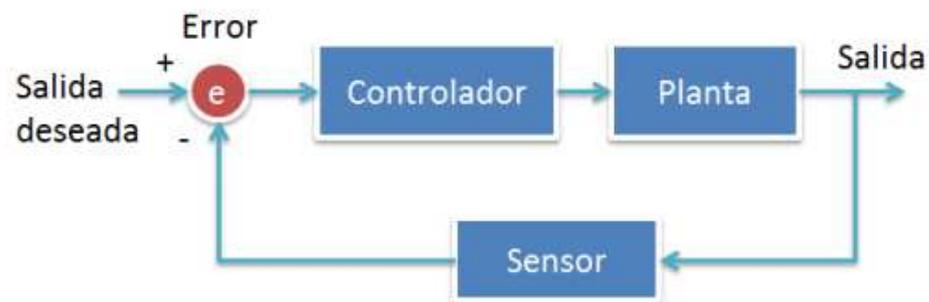


FIGURA 3. Sistema de control de lazo cerrado.

Fuente: (Shinskey, 2006).

2.2.1.2 Control ON/OFF.

Dependiendo del tipo de sistema, este tipo de control puede ser suficiente. No se usa mucho debido a que este tipo de control puede causar sobre impulsos, o sub impulsos, los cuales hacen que el sistema sea muy variable, y no se llegue a estabilizar en el tiempo.

2.2.1.3 Control Proporcional.

Es una buena alternativa al control ON-OFF, dado que se agrega más control, la señal a controlar depende del error, es decir en la diferencia entre lo que el sistema requiere, con lo que el sistema está dando, y siempre va a existir un error. Este tipo de sistema, el tiempo a estabilizarse se disminuye, sin embargo, incrementa los sobre impulsos.

2.2.1.4 Control Proporcional Derivativo.

Con el fin de reducir los sobre impulsos, se toma en cuenta, que tan rápido se requiere que el sistema llegue al punto requerido. Obviamente tomando en cuenta que la diferencia entre la salida del sistema con el punto requerido, va a disminuir. Sin embargo al añadir la parte derivativa, el sistema de control se vuelve más lento.

2.2.1.5 Control Integral.

Con el fin de reducir el error o la diferencia entre el punto requerido y salida del sistema, al agregar la parte integral, el error se vuelve cero, y a su vez el sistema de control se vuelve más rápido.

2.2.1.6 Control Fuzzy.

Se basa en sistemas con reglas, para la toma de decisiones, Los controladores fuzzy, al igual que los controladores mencionados anteriormente, toman una señal de entrada, realizan algún tipo de procedimiento con la variable que ingresa al sistema, para modificar la señal de salida.

En este tipo de control no se utilizan ecuaciones, ni tablas. Está más enfocado en utilizar el sentido común, nacieron con la idea del desarrollo de la Inteligencia Artificial, ya que debían agregar conocimiento y experiencia, a los programas, básicamente se basa en la regla: SI condición ENTONCES acción. (Lilly, 2011).

2.3 Descripción del sistema eléctrico y electrónico.

Dentro de un sistema de dosificación, la parte eléctrica y electrónica es muy necesaria, dado que sin esta parte, el sistema no pudiera funcionar. Para la aplicación que se quiere realizar, básicamente se debe incorporar al sistema un electrodo de pH, para lo cual se definirá de la siguiente manera.

Un medidor de pH es un dispositivo electrónico, utilizado para medir dentro de una sustancia su acidez o alcalinidad. Dentro de los medidores de pH, existen algunos, variando formas, tamaños, pero cada uno sirve o se lo utiliza para una aplicación específica.

2.3.1 Funcionamiento.

Mediante un potencial generado por un electrodo (en mili voltios), se compara contra un electrodo de referencia que siempre tiene el mismo potencial, sin importar el pH. Este electrodo de referencia, da paso a un circuito de medición, gracias a que es de calomel saturado.

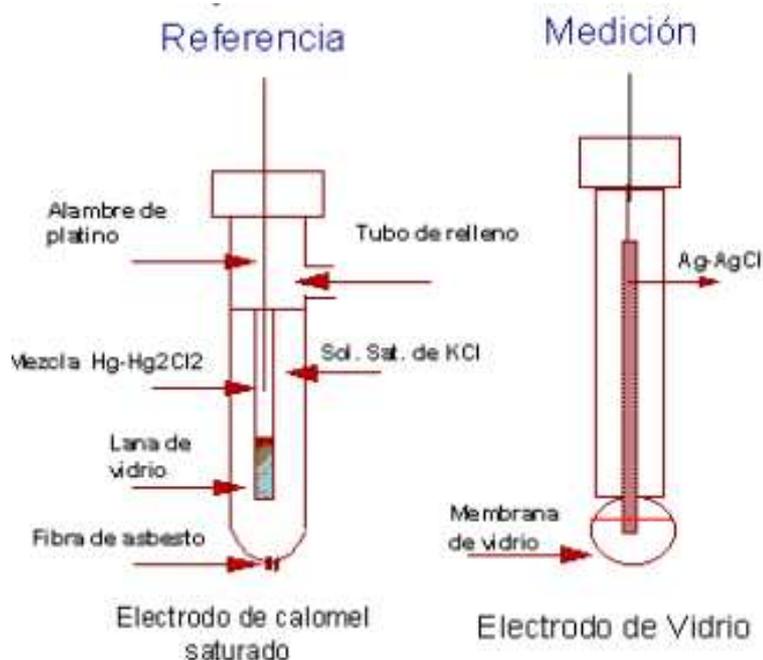


FIGURA 4. Esquema de dos electrodos usados para medir pH.

Fuente: (Bolaños & Pérez, 2001)

2.3.2 Almacenaje.

Para tener un cuidado sobre los electrodos de pH, estos deben mantenerse hidratados; dado que si no lo hacen, pueden dejar de funcionar. Como recomendación se agrega cloruro de potasio, para que este conserve sus propiedades.

2.4 Nivel de pH.

El pH es una medida usada para mostrar el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia. Esto se verifica al cuantificar el número de iones hidronio que se encuentran presentes en una disolución. La “p” indica “potencial” y la “H” concentración de protones. El variar el valor de pH en plantas es realizado para modificar las características de las mismas, para mejorar el comportamiento de las plantas.

En los laboratorios de biotecnología de la ESPE, el uso de ácidos y bases es para regular el valor de pH de soluciones realizadas para investigaciones en medios tanto vegetales como animales. Las cuales son para mejorar las características propias de cada organismo.

2.5 Ácidos y bases.

El uso de estos dos compuestos es para variar el nivel de pH en las sustancias. Las soluciones comúnmente usados con este propósito son el Hidróxido de sodio (NaOH) y el Ácido clorhídrico (HCl) cuyas propiedades más importantes son las siguientes:

Tabla 1.

Propiedades del Acido Clorhídrico

<u>Conc. (m/m)</u> c : g HCl/kg	<u>Densidad</u> ρ : kg/l	<u>Viscosidad</u> η : mPa-s	<u>Punto de ebullición</u>
10 %	1,048	1,16	103 °C
20 %	1,098	1,37	108 °C
30 %	1,149	1,7	90 °C
40 %	1,199	2,2	38 °C

Fuente: (Ecured, 2012).

Reacciona con la mayoría de metales desprendiendo hidrógeno. Con agentes oxidantes como peróxido de hidrógeno, ácido selénico y pentóxido de vanadio, genera cloro, el cual es muy peligroso. Reacciona violentamente con compuestos como el permanganato de potasio o sodio y en contacto con tetranitruro de tetraselenio.

Sus niveles de toxicidad son IDLH de 100ppm, RQ: 5000, LCLo (inhalación en humanos): 1300 ppm/30 min, LC50 (inhalación en ratas): 3124 ppm/1h y LD50 (oral en conejos): 900 mg/Kg.

Para su manejo es necesario utilizar lentes de seguridad y, si fuera necesario, guantes de neopreno, nunca de PVA en lugares bien ventilados. Si se manejan cantidades grandes de este producto, es necesario utilizar un equipo de respiración autónoma sin partes de aluminio. (UNAM, 2008).

A un litro de agua neutra basta con añadirle 1 ml de ácido clorhídrico 10M para que el pH descienda 5 unidades.

Tabla 2.

Propiedades del hidróxido de sodio.

<u>Conc. (m/m)</u> c : kg NaOH/kg	<u>Densidad</u> ρ : kg/l	<u>Viscosidad</u> η : mPa·s	<u>Punto de ebullición</u>
10%	1,111	2,2	105°C
20%	1,222	5,1	110°C
30%	1,333	15	115°C
40%	1,434	39	125°C

Fuente: (Ecured, 2012)

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn. Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición.

Se ha informado de reacciones explosivas entre el hidróxido de sodio y nitrato de plata amoniacal caliente. Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas o violentas. La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable.

Sus niveles de toxicidad son los siguientes: LD50 (en conejos): 500 ml/Kg de una disolución al 10 %, niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/ 24 h, severa y niveles de irritación a ojos de conejos: 4 mg, leve; 1% o 50 microg/24 h, severo.

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto. (UNAM, 2008)

Si a un litro de agua neutra se le añade 1 ml de hidróxido de sodio 10M el pH asciende 5 unidades. (Biomoléculas, 2008).

2.6 Ajuste de pH

El nivel de pH del tejido de un medio, sea este vegetal o animal, debe ser tal que no dañe sus características. Si se mantiene un límite de pH aceptable para cada organismo: se podría manejar si las sales que poseen permanecieran en una forma soluble, se puede influir en el consumo de ingredientes del medio y de los aditivos reguladores para el crecimiento de las plantas y tiene un efecto en las reacciones químicas a las que podrían ser sometidas.

En lo que al crecimiento vegetal se refiere, el pH de la solución nutriente puede afectar a la disponibilidad de los nutrientes, ya que con los valores extremos de pH se produce la precipitación de ciertos nutrientes permaneciendo en forma no disponible para las plantas. Y además tiene que ver a la capacidad por parte de las raíces para absorber nutrientes.

En las plantas, el rango ideal de pH está entre 5.0 y 6.5 ya que la mayoría de nutrientes son asimilables por las mismas. Fuera de este rango pueden existir importantes problemas. (Infoagro, 2010)

Se suele tratar que el pH de las aguas utilizadas para riego sea superior a 5.8 . La forma de bajar el pH del agua de riego es la de eliminar los iones de bicarbonato, y ello se consigue con la adición de algún tipo de ácido, como son el ácido nítrico, fosfórico y clorhídrico ya que además aportan elementos nutritivos que son útiles para la planta.

En laboratorios de biotecnología, los investigadores comúnmente buscan mantener un valor de pH en donde la planta muestra su comportamiento ideal de crecimiento, esto suele ser aproximadamente de 5.6, por lo que se modifica el valor de pH inicial para alcanzar este valor, pero en otros casos

el mejor pH para algunas plantas oscila entre 6.5 y 7, es decir pH neutro. Algunas plantas llamadas acidófilas prefieren un pH menor a 6 y otras llamadas calcícolas prefieren un pH mayor a 7. Además se suele hacer variar el valor de pH de algunos organismos, con fines investigativos, para conocer cómo se comportan los cultivos en diferentes valores de pH, ya que existen microorganismos que solo pueden crecer en diferentes ámbitos de pH, además con esto se puede reafirmar los límites de pH que posee cada organismo. (Klerk, 2007)

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE pH.

Para empezar a diseñar se empieza realizando un diagrama de bloques que nos facilitara la visualización del proceso a diseñar:



FIGURA 5. Diagrama de bloques para el sistema de control de pH

Como podemos observar en este primer FIGURA son tres etapas principales en las que se basa el proceso, por lo cual se debe proceder a seleccionar el principal equipo que funcione en cada etapa. Por lo que se harán las siguientes preguntas, ¿Qué se va a usar para medir el nivel de pH?, ¿Qué se va a usar para realizar el control? y ¿Qué se utilizará para dosificar?

Por esta razón procederemos a seleccionar desde un principio estos componentes para de ellos partir el resto del diseño.

3.1 Selección de los principales componentes

3.1.1 Selección de sistema de dosificación.

Para seleccionar un sistema adecuado para realizar esta tarea en particular, realizaremos la siguiente tabla, basándonos en consultas previas de cada uno de los sistemas:

Tabla 3.

Selección de sistemas de dosificación

Variable		Facilidad de ensamblaje	Eficiencia	Costo	Control	Vida útil	Total
	Peso %	15%	25%	20%	25%	15%	100%
Sistema por bombeo	Nota	9	7	7	9	9	8.1
	Nota pond	1.35	1.75	1.4	2.25	1.35	
Sistema dosificador jeringas	Nota	5	5	9	7	5	6.3
	Nota pond	0.75	1.25	1.8	1.75	0.75	
Sistema dosificador válvulas	Nota	7	9	5	7	9	7.4
	Nota pond	1.05	2.25	1	1.75	1.35	

Fuente: (Nordosn, 2010) (Van Walt, 2012)

Teniendo estos temas en cuenta se puede descartar a las jeringas, ya que no serían la mejor opción, por lo que se debería decidir entre usar válvulas o un sistema de bombeado.

En el primer caso es más fácil ensamblar un sistema con bombas que uno con válvulas debido que además de las válvulas se necesitaría de recipientes colocados al revés para que el líquido fluya por gravedad, de igual forma controlar bombas de tipo peristálticas resulta fácil ya que es similar a controlar motores de corriente continua. A favor de las válvulas poseen una mayor vida útil que las bombas peristálticas.

Los puntos más importantes a tomar en cuenta son la del costo y la factibilidad del sistema. El costo puede llegar a ser parecido entre las bombas y las válvulas pero las últimas necesitan de elementos extras para funcionar haciendo que sea más difícil de realizar y aumentar su precio como sistema.

3.1.1.1 Bomba de dosificación.

Un tipo de bombas para dosificar líquidos con bajo caudal son las llamadas bombas peristálticas. Los parámetros que se tomaron en cuenta fue la alimentación que necesita, el material del cual están fabricados las mangueras y por último el caudal que posee.

Ya que no es necesaria una gran potencia, la bomba peristáltica de 12 voltios resulta adecuada para la función deseada, la cual tiene las siguientes especificaciones técnicas, entre otras:

- Potencia aplicable: DC 12v
- Ambiente de trabajo: Temperatura 0-40 grados centígrados
- Caudal:0-200ml/min
- Tubo de silicona



FIGURA 6. Bomba peristáltica de 12v

Fuente: (Van Walt, 2012)

La silicona es una material que no reacciona con el ácido a usar así que es un material apto para poder utilizarlo (Van Walt, 2012). A partir de esta bomba se realizara el diseño del control y de su alimentación.

3.1.2 Selección de sistema de control.

Se baso en la siguiente tabla, de acuerdo al sistema de control:

Tabla 4.

Selección de sistemas de control

	Tiempo de subida	Sobre impulso	Tiempo de estabilización	de Error en estado estable	Aplicabilidad
Control P	Decrece	Crece	Cambio Menor	Decrece	
Control PI	Decrece	Crece	Crece	Se elimina	Se necesita conocer la función de transferencia de la planta
Control PD	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor	
Control Fuzzy	Se define en base a reglas IF, THEN, se puede realizar el menor error en estado estable, y tener un tiempo de estabilización muy corto, aparte no se necesita conocer la función de transferencia de la planta a controlar.				

Fuente: (Shinskey, 2006) (Lilly, 2011).

Dentro del Control se va a realizar un Control Fuzzy, dado que es el más adecuado, ya que no se quiere un sobre impulso, y no se conoce la función de transferencia de la planta, porque las sustancias pueden variar su normalidad.

3.1.3 Selección de electrodo.

Para seleccionar el electrodo, de acuerdo a la aplicación del laboratorio.

Tabla 5.

Selección de Electrodo

Tipo	Material	Junta cerámica	Rellenable (Líquido)	Inteligente	Sensor de temperatura	Precio
HI 1615D	Plástico	Si	Si	Si	Si	380
HI 1618D	Plástico	No	No	Si	Si	300
HI 1110B	Vidrio	Si	Si	No	No	150

Fuente: (Hanna Instruments, 2012)

En base al precio y sobre todo por el material del electrodo dado que se va a utilizar sustancias que pueden reaccionar con el plástico, se opta por escoger el electrodo de Hanna Instruments 1110B, por ser de mayor fiabilidad y facilidad de adquisición.

3.1.4 Selección de agitador.

Para seleccionar el agitador se tomó en cuenta dos sistemas.

Tabla 6.

Selección de Agitador

TIPO	Precio	Velocidad	Torque	Tamaño	Control adicional
Motor DC	5	Hasta 1000 rpm	Bajo	Pequeño	No
Motor a Pasos	20	Baja	Alto	Mediano	Si
Servomotor	15	Baja	Alto	Mediano	Si

Fuente: (Sonrobots, 2014)

Dado que se busca realizar una máquina no tan costosa y con elementos que puedan ser lo más manejables posibles y que deban tener un mantenimiento mínimo, se opta por escoger un motor DC que cumple con las condiciones utilizadas en el laboratorio (SuperRobotica, 2015).

3.1.5 Selección de interfaz de usuario.

Para seleccionar la interfaz se priorizó un interfaz amigable con el usuario.

Tabla 7.

Selección de pantalla de interfaz de usuario

TIPO	Facilidad	Conexión	Precio	Facilidad
	Programación	Microcontrolador		Ensamblaje
Pantalla Touch	Difícil	Compleja	40	No
Pantalla GLCD con botones aparte	Fácil	Fácil	20	Si

Se opta por usar una pantalla GLCD, dado su bajo precio y su facilidad tanto de conexión ensamble y programación, añadiendo que al ser gráfica la utilidad que dará al usuario será adecuada.

3.2 Diseño Mecánico.

3.2.1 Posicionamiento del electrodo.

Para poder obtener los valores de pH en las sustancias que se encuentran en el matraz o Erlenmeyer, se partió de dimensionar el matraz más grande (matraz de 2000ml) y el más pequeño (matraz de 250ml) que posee el laboratorio de biotecnología de la ESPE, obteniendo las siguientes medidas:

Tabla 8.

Dimensiones de matraces

	Diámetro de la base (cm)	Diámetro int. de la boca (cm)	Altura (cm)
Matraz de 250ml	8,5	45	14,5
Matraz de 2000ml	17	45	27

Ya que el electrodo va ingresar automáticamente dentro del matraz se debe hacer que el espacio sea el adecuado. Para el valor más bajo que debe encontrarse el sensor, se determinó que el valor desde el fondo del matraz hasta la punta del electrodo “h” debería ser aproximadamente de 2 a 4 cm, dependiendo del matraz usado, como se lo representa en la FIGURA a continuación.

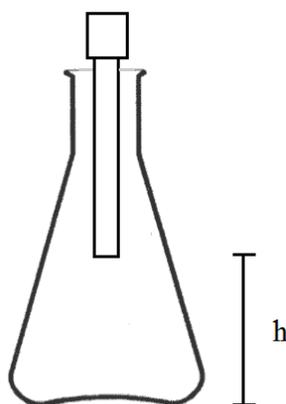


FIGURA 7. Posicionamiento del electrodo de pH

Para el valor más alto que debe llegar el electrodo se realizara el siguiente:

$$27cm \text{ (altura matraz 2000l)} + 0.5cm \text{ (tolerancia)} = 27.5 cm$$

Con este valor podemos determinar que el máximo recorrido del electrodo será de 25,5 cm tomando en cuenta como 2 cm la distancia de separación del electrodo con el fondo del matraz.

Ya que el recorrido se lo hace de forma completamente vertical se encontraron dos formas para poder realizar dicho movimiento, las cuales son por tornillo sin fin y por correa de distribución. En el caso del tornillo sin fin, es un sistema muy usado en las impresoras 3d para el movimiento vertical del fusor, y en cambio el de la correa de distribución son usadas para las impresoras de papel comúnmente usadas, en ambos casos se necesitan de ejes para el adecuado recorrido además los dos usan motores similares. En esta situación se procedió a realizar con correa de distribución, ya que

realizar el mecanismo usando tornillo sin fin, hacia que se necesite fabricar un tornillo con dimensiones personalizadas y un acople que pueda recorrer por el mismo sin que se fueran a producir atascos. Por lo tanto ya que la fabricación de este mecanismo es más compleja y costosa se descartó esta opción, se optó por usar la correa.

Por lo que se procede a diseñar un soporte adecuado para el electrodo, y que se acople a la correa de distribución.

Ya que el electrodo mide aproximadamente 16 cm y el matraz más grande es de 27 cm, existirá el caso de que el electrodo entre por completo al matraz por lo que se necesitará un soporte que permita el mejor ingreso.

La primera propuesta de diseño realizado, con la ayuda de un software CAD/CAE, llamado Solidworks, para el soporte del electrodo es el siguiente, el cual posee tres puntos claves el acople con la correa cuadro 1), el acople con el eje (cuadro 2) y el soporte del electrodo (cuadro 3).

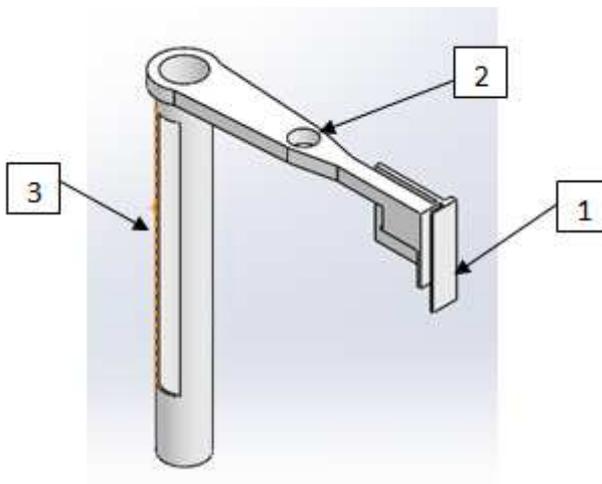


FIGURA 8. Primer diseño del soporte de electrodo (Solidworks 2013)

Para la elección del material del soporte se pensó en dos posibles materiales, plástico o metal, debido a la forma un poco compleja de la pieza. Así que se planteó la siguiente tabla para tomar la decisión.

Tabla 9.

Selección de Soporte Electrodo

	Metal	Plástico
Fabricación	Maquinado	Impreso
Costo de fabricación	Medio	Medio
Rigidez	Alto	Bajo
Fragilidad	Bajo	Alta
Durabilidad	Alta	Baja
Necesidad de mantenimiento	Si	No
Fricción con el eje	Baja	Media

Fuente: (MDC SEO, 2010)

Se concluyó que el mejor material para usar es un metal ya que el mismo podrá soportar sin problemas la función para la que será diseñada por su rigidez y dureza, además que se acoplara de mejor manera al trabajo junto al eje que también es metálico.

Para saber las dimensiones correctas, sobretodo el área transversal, que debe tener el soporte se deberá realizar un análisis de fuerzas, además esto permitirá conocer cuáles son los puntos críticos que necesitan ser reforzadas.

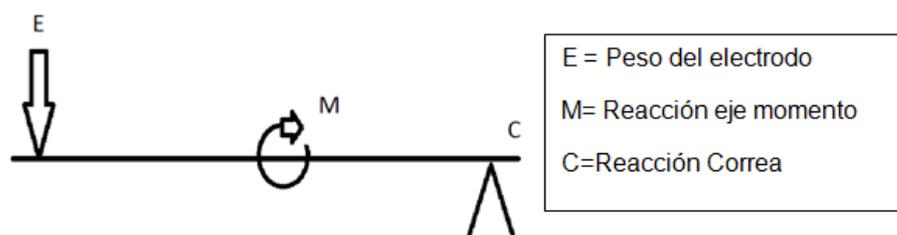


FIGURA 9. Diagrama de fuerzas del soporte

Donde E representa el peso ocasionado por el electrodo y el cilindro donde está colocado. M es el momento ocasionado por el eje que impide que realice este movimiento. Y el valor de C es la reacción ocasionada por el contacto con la correa.

Los datos con los que se cuentan son el valor de E es de 0.3 kilogramos fuerza, la longitud entre E y C es de 10 cm.

$$\begin{aligned}
 \sum F &= ma \\
 E - C &= 0 \\
 E &= C \\
 C &= 0.3 \text{ kgf} \\
 \sum M_c &= 0 \\
 M - 8E + 2C &= 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Según la ecuación 3.1 E=C por lo que la ecuación anterior quedara de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 M &= 6E \\
 M &= 6(0.3) = 1.8 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 0.177 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Conociendo las fuerzas que afectan al soporte se procede a conocer los esfuerzos y deformaciones a la que está sometido. (Singer, 2011)

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{M}{S} \\
 \sigma &= \frac{0.177(6)}{bh^2} \\
 \sigma &= \frac{0.177(6)}{bh^2} \\
 \sigma &= \frac{1.059}{bh^2}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Para este caso se necesitó que el factor de seguridad sea aproximadamente de 30 veces el peso del soporte para impedir que si alguien se apoyara sobre el soporte o existiera un atascamiento que produzca una fractura en el elemento. (Budynas, 2011)

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma}{S_{sut}}$$

$$\frac{1}{30} = \frac{\sigma}{683 \text{ MPa}}$$

$$\sigma = 22.77 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación 3.2:

$$bh^2 = \frac{1.059}{22.77M}$$

$$bh^2 = 4.65 \times 10^{-8} \text{ m} \quad (3.3)$$

Teniendo en cuenta que el espesor de la placa a usar para este soporte es de 4 mm se puede reemplazar en la ecuación 3.3 y obtener la medida de la base.

$$b = \frac{4.65 \times 10^{-5}}{h^2} = \frac{4.65 \times 10^{-5}}{16} = 2.91 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

Ya que el valor de la base es reducido se podrá considerar que el material podrá soportar sin ningún problema el peso del electrodo y en el caso que si alguien se apoyara en el mismo no se doble o se rompa.

Realizando una simulación de las fuerzas a las que va a estar sometido dicho soporte, se utilizará el software Solidworks, teniendo en cuenta el peso del electrodo, que para este análisis se lo presenta como una fuerza vertical de 0.3 kgf y las fuerzas normales, con lo que se obtiene la gráfica de desplazamientos que esta mostrada a continuación.

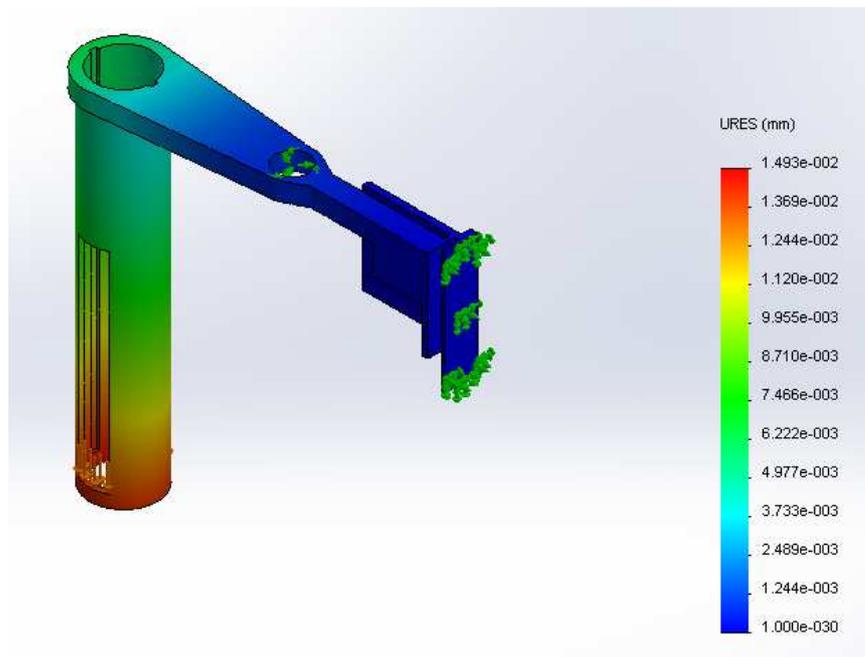


FIGURA 10. Simulación de desplazamientos del soporte del electrodo (Solidworks 2013)

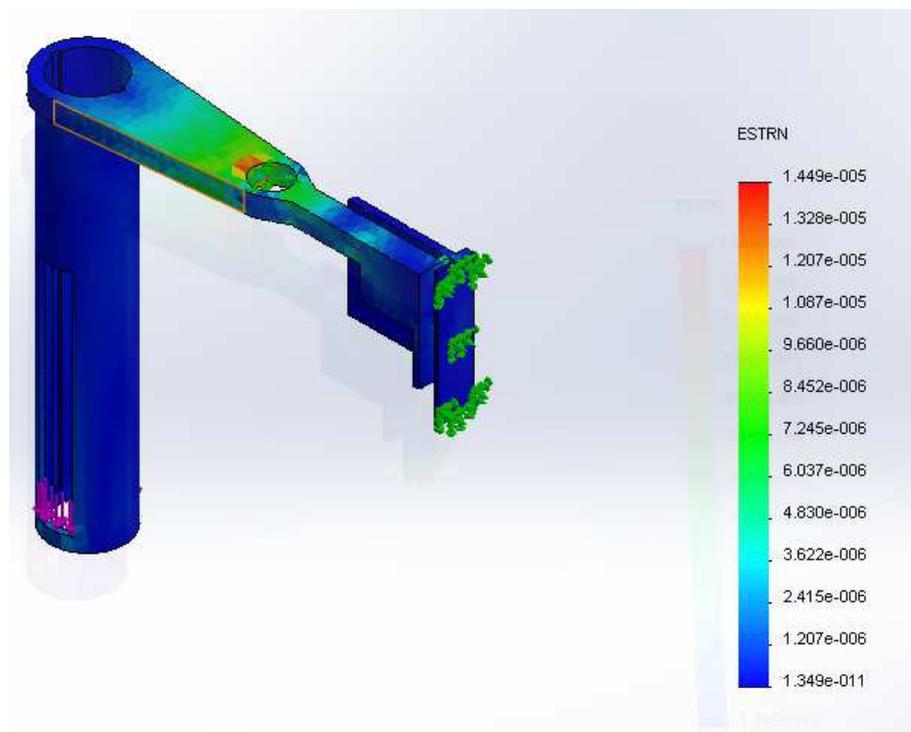


FIGURA 11. Simulación de deformaciones unitarias del soporte del electrodo (Solidworks 2013)

De esta manera se determina que la parte más crítica es donde estará en contacto con el electrodo teniendo un desplazamiento menor de una décima de milímetro, por lo que se puede concluir que el soporte no sufrirá de desplazamientos que provoquen un deslineamiento que produzca inconvenientes en el ingreso del electrodo en los matraces y en el caso de las deformaciones se observa que el lugar más crítico es en el acople al eje pero su valor sigue siendo bastante bajo, el factor de seguridad mínimo que posee esta pieza es de 75 lo cual es bastante aceptable para soportar cargas accidentales a las que pueda ser sometida y no sufra rotura alguna.

Además se realizó un prototipo usando una impresora 3D para probar el funcionamiento tanto del acople con la correa como la unión con el eje. Con lo que se obtuvieron algunos problemas, uno de ellos era el atascamiento en el eje por lo cual se decidió realizar un segundo diseño aumentando el número de ejes con lo cual ya no se necesitó una riel para que no se desvíe, además se aumentó el tamaño del acople de los ejes para reducir aún más el riesgo de que se atasque y se pueda dañar el mecanismo, por último se redujo el espesor del brazo ya que no era necesario debido a que no influiría en el acople del eje y para reducir el peso del mismo.

En esta segunda versión del soporte se tiene los mismos puntos clave pero ya debidamente rediseñados, el soporte del electrodo (cuadro 1), los dos acoples con los ejes (cuadro 2) y el acople con la correa (cuadro 3).

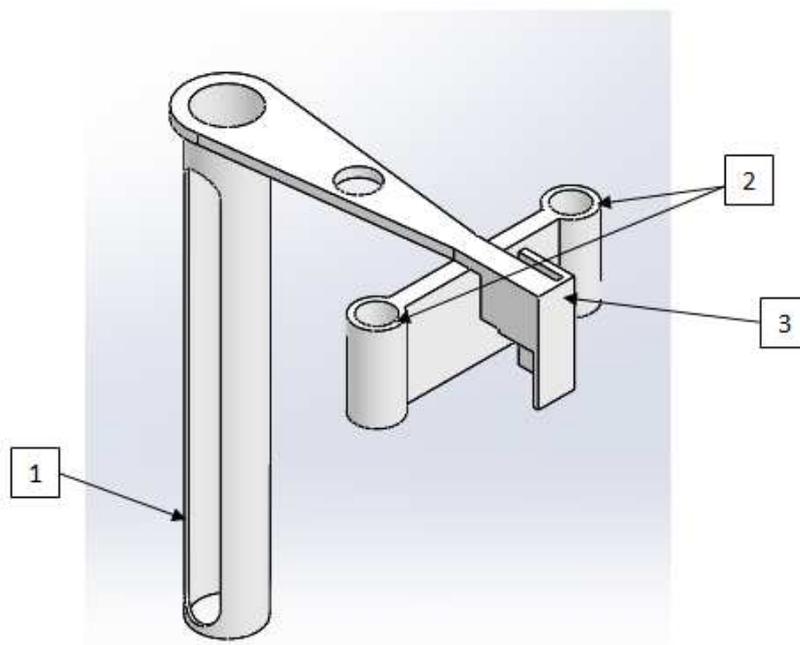


FIGURA 12. Segundo y final diseño del soporte de electrodo (Solidworks 2013)

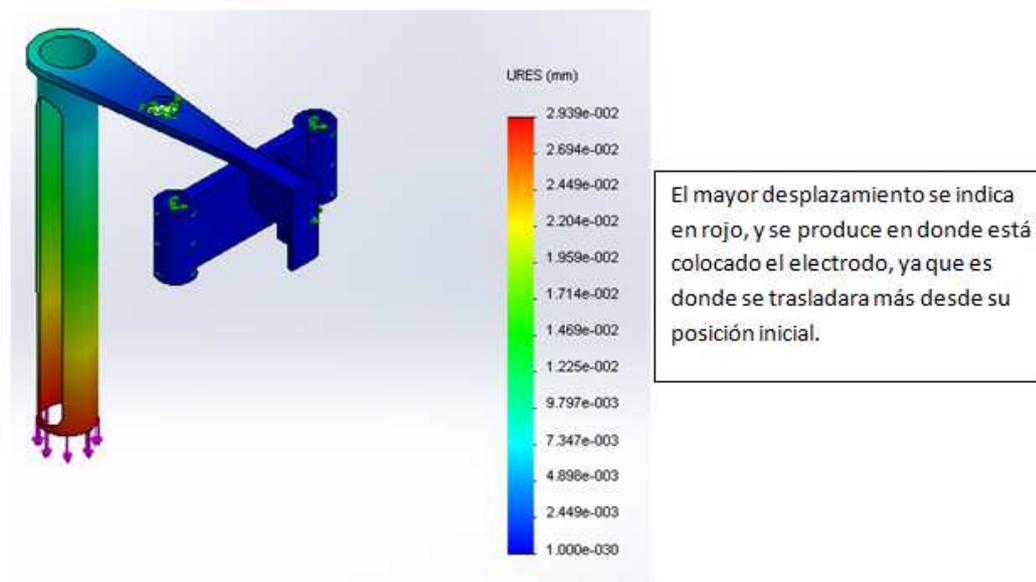


FIGURA 13. Simulación de desplazamientos del soporte del electrodo final (Solidworks 2013)

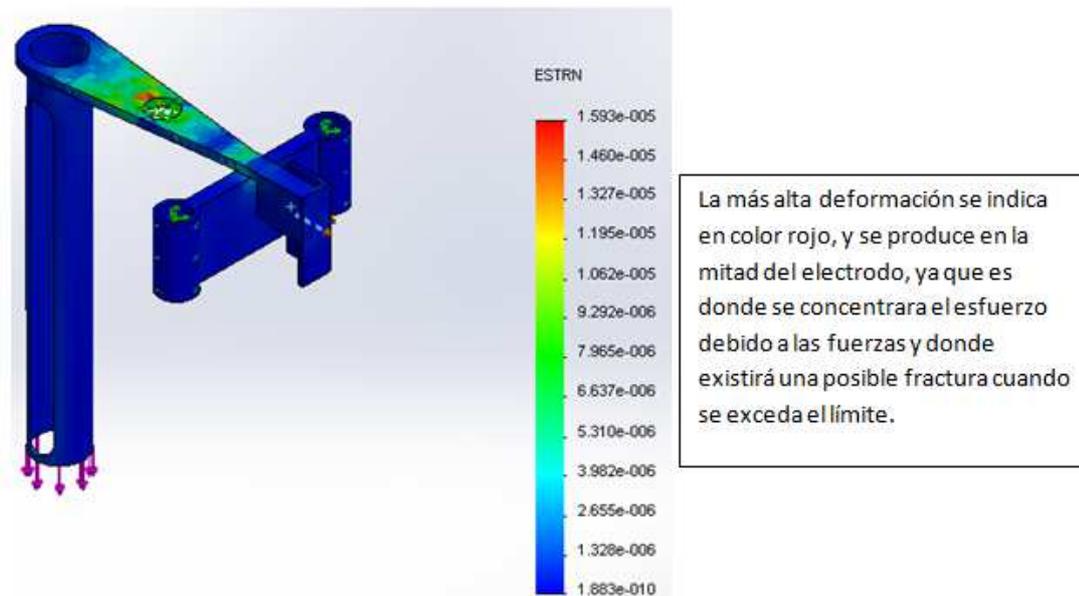


FIGURA 14. Simulación de deformaciones unitarias del soporte del electrodo final (Solidworks 2013).

Los puntos críticos son los mismos y los valores se mantienen cercanos, solo el factor de seguridad aumento a 82 el cual es un valor que nos asegura que no se romperá, incluso si se aplica una fuerza no prevista, como un atascamiento. Después de realizar varias pruebas se pudo observar que se redujeron los atascos tanto de subida como de bajada, por lo que este diseño se tomara como definitivo para usarlo.

Conociendo el mecanismo se procede a dimensionar el tamaño de la correa y eje que en teoría nos deben proporcionar los 25,5 cm del recorrido mínimo. Por lo cual se adquirió una correa con una longitud entre ejes de 50 cm y en cambio para el eje se usó uno de longitud de 30 cm. Para el motor que se usara para recorrer la correa se necesita conocer los aspectos tanto como mecánicos y electrónicos que debe tener para cumplir su función.

Para levantar el soporte se debe considerar el peso del electrodo más el regulador de la altura que pesa 33 gramos y el peso del mismo el cual tendrá una masa de 153.67g, además se debe tomar en cuenta la distancia a la que se encuentra de la correa. Además de las fricciones estáticas producidas en

los ejes. Se calculara la sumatoria de fuerzas que la correa deberá soportar, siendo T la tensión ejercida en la correa.

$$\begin{aligned}\sum F &= 0 \\ T &= (m_1+m_2) \cdot g + 2Fr \\ T &= (0.333+0.154) \cdot g + 2u \cdot R \\ T &= 4.78 + 2uR\end{aligned}\tag{3.4}$$

Para encontrar la fuerza normal que se ejerce en los ejes se calculara el momento que se produce en este acople.

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ M &= (m_1d_1+m_2d_2)g + Td_3\end{aligned}$$

Siendo:

$$d_1 = 80mm$$

$$d_2 = 31.4mm$$

$$d_3 = 20mm$$

$$\begin{aligned}M &= (0.333 \cdot 80 + 0.154 \cdot 31.4)g + 20T \\ M &= 308.78 + 20T\end{aligned}\tag{3.5}$$

Además el momento esta ejercido sobre los dos ejes por lo cual se formara por el contacto con el mismo, como son 4 puntos de contacto que tendría con los ejes, se calculara de la siguiente forma:

$$M = 4(N \cdot 35/2)$$

$$M = 70R$$

Reemplazando en la ecuación 3.5 se obtiene:

$$308.78 + 20T = 70R\tag{3.6}$$

Además se reemplaza el valor de T en la ecuación 3.4 con la ecuación anterior y se obtiene lo siguiente:

$$308.78 + 20(4.78 + 2uR) = 70R$$

$$404.38 + 40(0.15)R = 70R$$

$$R = 6.32N$$

Reemplazando el valor de la reacción R en la ecuación 3.6 y se obtiene el valor de la tensión T:

$$308.78 + 20T = 70(6.32)$$

$$T = 6.68N$$

El valor de la tensión ejercida en la correa es de 6.68N, el cual el motor deberá levantar para iniciar el movimiento.

Para la parte electrónica se planteó entre escoger un motor entre un motor a pasos o un servomotor, en el cual se decidió el motor a pasos ya que permiten un mayor torque e igual control. Se tomó como opción el motor de las impresoras matriciales, este es un motor a pasos bipolar EM-257 de una impresora matricial, además tiene un eje de 1cm de diámetro, lo cual con lo antes calculado podremos obtener que el torque necesario para levantar el soporte con ese eje es de 3.34 N-cm ya que el torque que nos da este motor es de 31.4 N-cm suficiente para levantar el electrodo y que el motor no se dañe si existiera un atascamiento ya que soporta aproximadamente entre 9 y 10 veces el peso del soporte. Además el motor tiene un voltaje nominal de 12 voltios.

3.2.2 Sistema de dosificación.

La parte esencial del sistema son las bombas por lo cual el funcionamiento girara entorno a como se desempeñen las mismas. Las bombas tienen un caudal nominal de 100 ml/min el cual se puede hacer variar según el voltaje que se le administre, siendo directamente proporcionales, con esto podremos controlar la velocidad con la que se hará la dosificación.

Además se analiza la longitud de la manguera que necesitaremos emplear. Una primera noción que se tiene es que la manguera debe llegar a una distancia que pueda suministrar el líquido sin que caiga fuera del matraz. Para esto tomamos en cuenta al matraz más pequeño, de 250 ml, y teniendo en cuenta que las mangueras estarían colocadas alrededor del

electrodo para poder obtener una menor dimensión que ingresar al matraz y que no vaya a caer líquidos al electrodo ya que es un elemento que puede verse afectado por los mismos.

Tanto ácido como base estarán ubicadas en frascos ámbar opacos, ya que el estar expuestas a la luz puede hacer variar sus propiedades, con una capacidad de 50 mililitros. Además se las ubicara cerca de las bombas para que el recorrido que deba hacer el fluido sea el menor.

3.2.3 Agitador.

Como se mencionó previamente existen dos formas de realizar la agitación. En el caso de realizar los campos magnéticos por imán, se necesitaran de dos piezas, uno es lógicamente el imán que debe ser lo suficientemente fuerte para que pueda mover el metal dentro del matraz y el otro un motor el cual puede ser de corriente continua. En el otro caso es necesario realizar cuatro bobinados posicionados en cruz. Debido a la facilidad de controlar un motor comercial se optó por la primera opción el cual será acoplado de forma vertical y junto a un imán de disco duro se puede realizar un agitador que cumpla tanto en velocidad como en fuerza magnética.



FIGURA 15. Imán de disco duro.

Fuente: (Escuela Virtual de Aeromodelismo, 2009)

3.2.4 Estructura.

Para la elaboración de la maquina se la pensó realizarla como un solo equipo tanto la parte de agitación como la parte de dosificación, por lo tanto se decidió realizarla en el mismo estilo de los agitadores que se encuentran en los laboratorios de biotecnología.

La construcción se inició a partir de la base en la cual se parte de las dimensiones tanto del motor del agitador como de los matraces, ya que debe haber suficiente espacio para colocar el matraz de mayor dimensión, por lo que se realizó una base cuadrada de 21cm por 21cm. Para la parte del espesor se consideró primero como iba a ser sujetado el motor del agitador de forma que el mismo quede vertical, por lo que se diseñó un soporte para el mismo.

Además se pensó en hacer la placa base de diferente material que el resto de la estructura debido a que no puede ser usado un material que interfiera en el campo magnético o que llegue a sufrir un daño considerable si llega a derramarse acido o base sobre el mismo. Para esto se tomó dos posibles opciones, una placa de aluminio o de vinil, las cuales ninguna de ellas interfiere con el campo magnético del imán. Solo el plástico no sufre daño si entra en contacto con las sustancias usadas. Se realizó la siguiente tabla en la cual se detalla las características, comprobadas al probar dos placas de mismas dimensiones, que deben cumplir para realizar su función.

Tabla 10.

Selección del material de la placa

	Aluminio	Vinil
Magnético	no	no
Reaccionante con las sustancias	si	no
Espesor	1.5 mm	2.5 mm
Deformación debido al peso soportado	si	no

Se procedió a optar por la placa de vinil esto es debido a que cumple con la mayoría de requisitos. Por lo cual se realizara un ajuste en la caja para la sujeción de la placa de vinil.

Tomando en cuenta las dimensiones de la placa y del motor junto a su soporte del agitador se realizó el siguiente diseño.

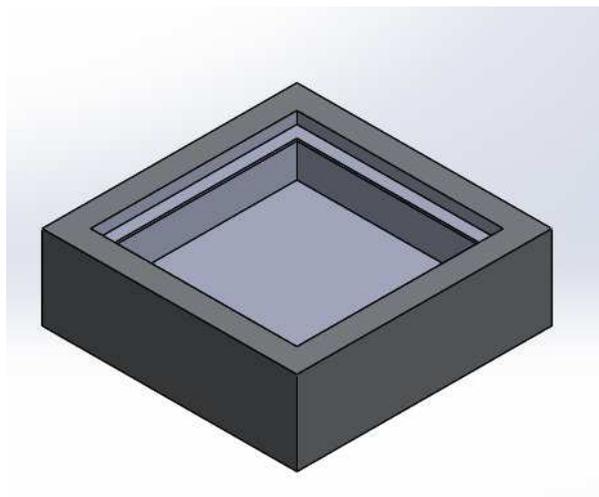


FIGURA 16. Base agitador (Solidworks)

El resto de la estructura fue realizado con tubos de perfil cuadrado, esto es debido a la posibilidad que nos permiten para poder colocar los cables a través de los mismos, las dimensiones serán determinadas por la altura del matraz de mayor volumen sumado la longitud del sensor de pH colocado en el soporte y aumentado valores de holgura de cinco milímetros en donde se necesite conservar cierta separación.

Para la parte superior de la estructura se diseñó una caja donde puedan ir colocados tanto el motor de la corredera como las bombas peristálticas, además que se usara para sujetar los ejes del mecanismo mediante borneras acopladas a la base de la caja.

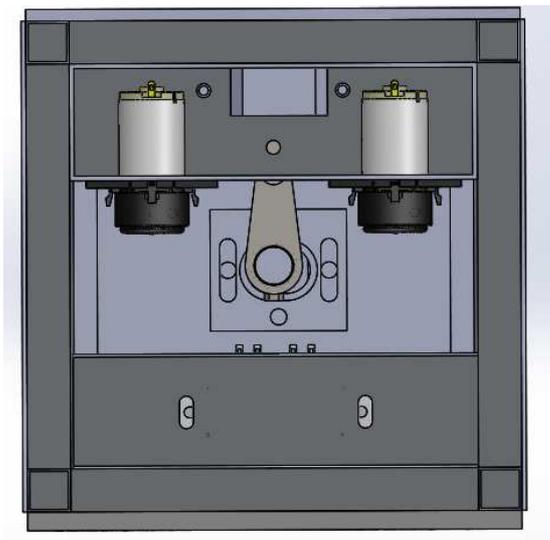


FIGURA 17. Vista superior de la estructura (Solidworks)

Además se colocaron cuatro alzas debajo de la base para cuidar el lugar en donde va a estar colocado y también nos permite regular tanto altura como el nivelar la máquina.



FIGURA 18. Soportes de caucho para la base

Los soportes de las botellas de ácido y base están compuestos por dos piezas una placa doblada en la cual estará soldada en tres puntos, un anillo y la otra cara se suelda junto a la columna de la estructura. Y el otro componente es una bandeja que entrará dentro del anillo y en la cual irá colocada la botella, en la base por la parte externa tiene un saliente de forma

circular que funcionara como un concentrador de fuerzas para que el sensor de fuerza detecte a la botella y mida su volumen.

Al igual que el soporte del electrodo se calculo la fuerza a la que están sometidas las placas para que no se termine doblando la misma.

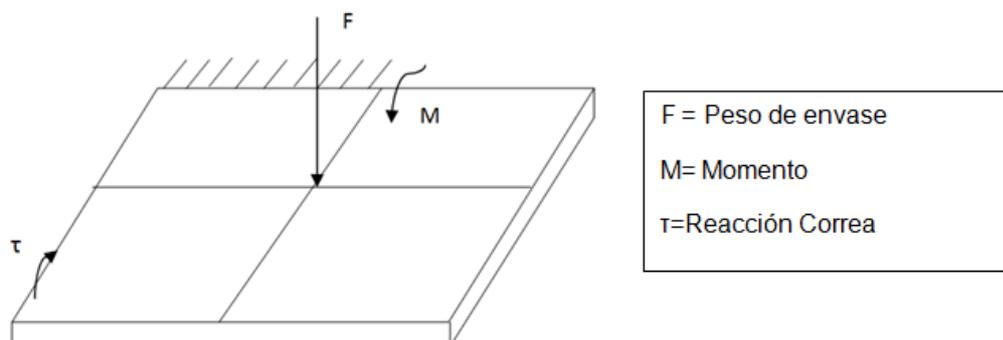


FIGURA 19. Fuerza aplicada en el soporte para envases

En el FIGURA 19. se muestra la fuerza aplicada por el peso de la botella F y el torque producido M y la torsión τ . Se empezó calculando el peso de las botellas tanto de acido como de base, se sabe que la densidades son las siguientes: $0.02g/ml$ NaOH (1N) y $0.0364 g/ml$ HCl (1N) ya que van a estar colocadas en botellas de 50 ml, por lo que el valor máximo que soportara de peso la placa será en el caso que en las botellas estén llenas.

$$m = d \cdot V$$

$$m_{NaOH} = 0.02 \cdot 50 = 1g$$

$$m_{HCl} = 0.0364 \cdot 50 = 1.82g$$

Las botellas vacías tienen un valor de masa de 55g por lo que las masas finales serán:

$$m_{BB} = 1 + 55 = 56g$$

$$m_{BA} = 1.82 + 55 = 56.82g$$

Las botellas están ubicadas en el centro de la placa cuadrada la cual tiene un área de 5cm x 5cm lo cual nos permite representar el peso de la botella como una fuerza concentrada en el centro de la placa, además la misma ira sujeta a una de las columnas de la estructura. Por lo cual el peso

producirá un momento sobre la placa por lo que se calcula los esfuerzos a la cual estará sometido.

$$M_{Base} = m_{BB} \cdot g \cdot 0.025 = 0.01373Nm$$

$$M_{Acido} = m_{BA} \cdot g \cdot 0.025 = 0.01394Nm$$

Además por la ubicación de la fuerza esta producirá también una torsión del mismo valor que los momentos debido a que la distancia es la misma.

$$\tau_{Base} = M_{Base} = 0.01373Nm$$

$$\tau_{Acido} = M_{Acido} = 0.01394Nm$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\sigma_{Base} = \frac{0.01373(6)}{(0.05)0.02^2} = 4119Nm$$

$$\sigma_{Acido} = \frac{0.01394(6)}{(0.05)0.02^2} = 4182Nm$$

$$\tau_{Base} = \frac{0.01373(6)}{(0.05)0.02^2} = 2059.5Nm$$

$$\tau_{Acido} = \frac{0.01394(6)}{(0.05)0.02^2} = 2091Nm$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma'_{Acido} = \sqrt{\sigma_{Acido}^2 + 3\tau_{Acido}^2} = \sqrt{4182^2 + 3(2091)^2} = 5.53kNm$$

$$\sigma'_{Base} = \sqrt{\sigma_{Base}^2 + 3\tau_{Base}^2} = \sqrt{4119^2 + 3(2059.5)^2} = 4.12kNm$$

Por último la estructura está compuesta de otros componentes como son:

- Soporte inferior de los ejes: Placa con dos agujeros colocados de forma que los ejes estén colocados perfectamente verticales.
- Soporte del engrane: Su función es la de sujetar el engrane del mecanismo en la cual será sujeta un extremo de la correa.

- Placas lateral y trasera: Son placas de chapa metálica colocadas para cubrir la máquina, además las placas laterales tienen una parte de vidrio en la zona inferior para poder visualizar el proceso y aumentar la iluminación dentro de la estructura.
- Puertas deslizables laterales: Estas puertas están ubicadas en las tapas laterales, de igual forma están hechas de placas metálicas, las mismas dan acceso a las botellas de ácido y base. Se desplazan de forma paralela a la pared para un mejor y más llamativo diseño.

3.3 Diseño Electrónico

Para el diseño electrónico se optó por estructurarlo de la siguiente manera teniendo en cuenta los elementos que se van a utilizar dentro de la dosificación.

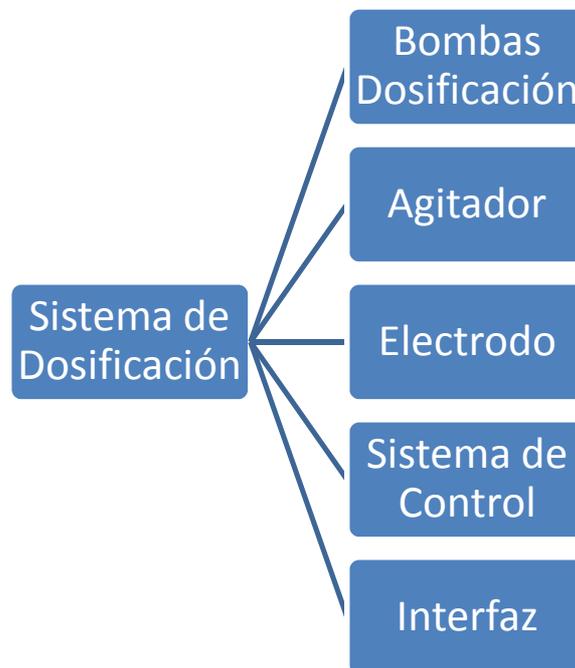


FIGURA 20. Diagrama Bloques Diseño Electrónico

3.3.1 Voltajes del sistema.

Dentro de los elementos que contiene el sistema de dosificación se tomó en cuenta el requerimiento de los mismos para luego proceder a diseñar sus circuitos de control.

Tabla 11.

Voltajes Elementos Sistema de Dosificación.

	Voltaje Requerido [V]	Circuito de control o Potencia [SI o NO]
Bombas Dosificación	12	SI(Potencia)
Agitador	9	SI(Potencia)
Electrodo	12,-12	SI(Necesita Acondicionamiento de Señal)
Interfaz	5	SI(Necesita Microcontrolador)
Sistema de Control	9	SI(Fuente para funcionar)

3.3.2 Corrientes del sistema.

3.3.2.1 Corrientes utilizadas en el sistema de dosificación.

La corriente nominal de una bomba peristáltica es de aprox. 75 mA.

Dado que se utilizan 2 bombas para el sistema de dosificación, y se añade el caso crítico que ambas bombas peristálticas funcionen al mismo tiempo, serían en total 150mA por las bombas.

3.3.2.2 Corrientes para el sistema de control.

Se usa el Arduino Mega de corriente de 40mA por pin, en el caso más crítico que se ocupen 37 pines, la corriente que el arduino necesitaría sería de 1.48 A.

3.3.2.3 Corrientes del agitador.

Es 300 mA cuando está a su máxima velocidad, dado que no va a trabajar a esta velocidad sino más bien a un cuarto de su capacidad su consumo de corriente es de 75mA.

3.3.2.4 Corrientes para electrodo.

Dentro del sistema de acondicionamiento para el funcionamiento adecuado del electrodo de pH, lo que más se utilizará será amplificadores operacionales que aparte de la polarización con voltaje +/- 12V, la corriente con la que se polarizan es muy baja al nivel de pA por lo que no se tomará mucho en cuenta.

3.3.2.5 Corriente de Motor a Pasos.

El motor a pasos que se utilizará tiene un corriente nominal, de 700 mA.

Para resumir, de los sistemas que se van a utilizar con sus respectivas corrientes se realizó la siguiente tabla.

Tabla 12.

Corrientes Elementos Sistema de Dosificación.

Sistema a Utilizar	Corriente Nominal de Operación
Corrientes utilizadas en sistema de dosificación	150mA
Corrientes para Sistema de Control	1.48 A
Corrientes Agitador	75mA
Corrientes Electrodo	Muy baja (pA)
Corriente de Motor a Pasos	700 mA,
TOTAL	2.31 A

3.3.3 Diseño de la fuente de voltaje.

3.3.3.1 Transformador.

Como el requerimiento de la fuente es de 2.41 A, se selecciona un transformador que permita generar la mínima corriente necesaria considerando pérdidas y protección contra el calentamiento del transformador. Es así que se selecciona un transformador de 3 A. Se necesita un mínimo de voltaje DC de:

$$V_{dc} = 12 + V_a + V_p$$

En donde V_{dc} es el voltaje DC necesario para el circuito, 12 V es el voltaje requerido para la salida, V_a es el voltaje de alimentación para el CI de regulación y V_p el voltaje de pérdida el rectificador:

$$V_{dc} = 12 + 2.5 + 1.4$$

$$V_{dc} = 15.9 [V]$$

$$V_{rms} = V_{dc} * \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

$$V_{rms} \approx 13 [V]$$

Se selecciona entonces un transformador 110 VAC/12VAC – 3 A.

3.3.3.2 Rectificador.

Se utiliza un puente de diodos comercial de 3 A, que soporta la corriente inversa para la rectificación.

3.3.3.3 Filtro.

Para el cálculo del filtro se considera un rizado del 20%, las pérdidas de voltaje a considerar es la ocupada por los dos diodos momentáneos de la rectificación:

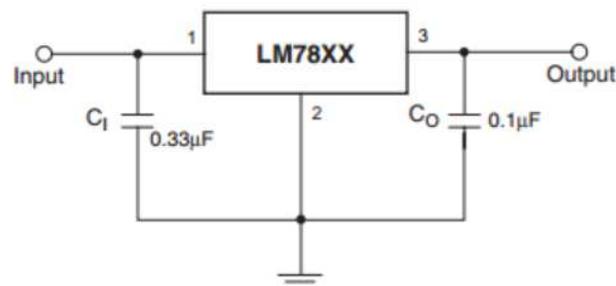
$$0.20 = \frac{3}{4\sqrt{3} * 60 * C * \left(\left(12 * \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) - 1.4 \right)}$$

$$C = 3.8mF \approx 3.3mF$$

3.3.3.4 Regulador.

Se utiliza tres circuitos integrados que cumplen la función de reguladores de la señal rectificada.

El CI es el LM7805 cumple con la función de regulador de 5VDC y el circuito integrado LM7812 cumple con la función de regulador de 12VDC, y el circuito integrado LM7912 cumple con la función de regulador de -12VDC, la fuente (Texas Instruments, 2013).



Fixed Regulator

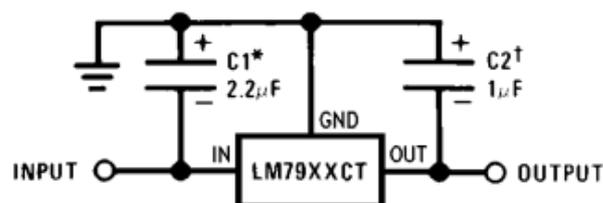


FIGURA 21. Configuración para un regulador de tensión 78XX y 79XX.

Fuente: (Prometec, 2015).

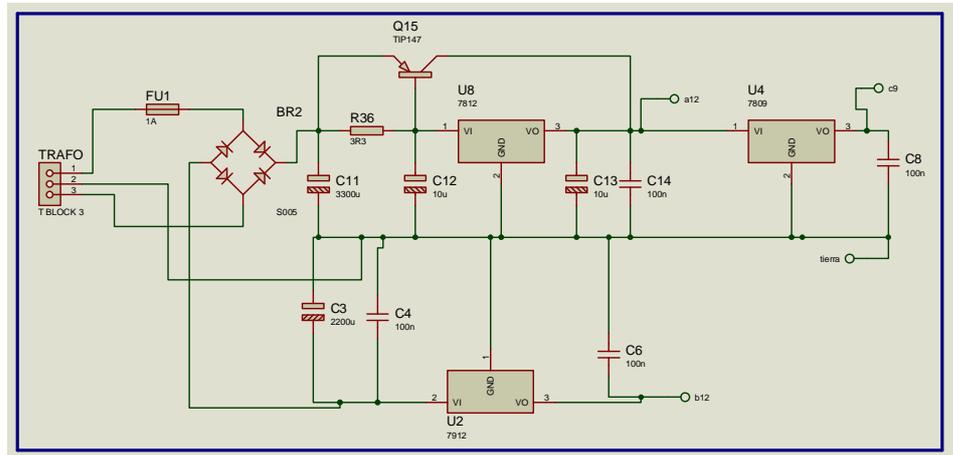


FIGURA 22. Fuente de Voltaje de 12V,-12V y 9V.

3.3.4 Acondicionamiento de la señal del electrodo.

Habiendo seleccionado el electrodo de pH adecuado para nuestra aplicación, se procede a acondicionar la señal, mediante diferentes filtros.

3.3.4.1 Diseño filtros pasabajos.

El filtro RC, permite atenuar ruidos generados por diversas fuentes, ahora considerando que el sensor tiene una velocidad de respuesta de 40 ms, se decide diseñar un filtro con frecuencia de corte de 20Hz

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{40ms} = 25Hz$$

Para poder obtener los valores tanto de la resistencia como el capacitor se tiene la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Se escoge una resistencia de $150\text{k}\Omega$

$$C = \frac{1}{2\pi(150000) * (25)}$$

$$C = 4.7\text{nF}$$

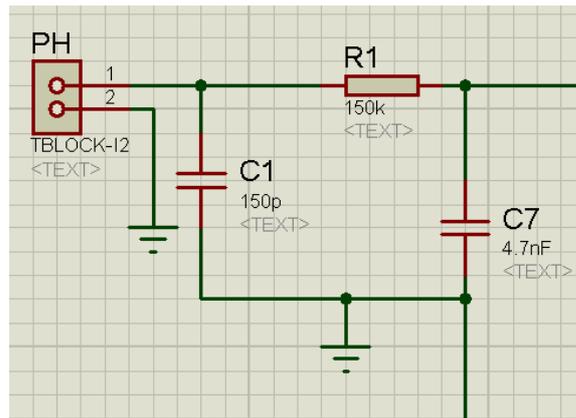


FIGURA 23. Filtro pasabajos de entrada de acondicionamiento del electrodo (ISIS).

El capacitor de 150pF es un capacitor que se utiliza como filtro de picos, que podrían venir en la señal del sensor de pH

3.3.4.2 Diseño amplificador no inversor.

El siguiente circuito es un amplificador no Inversor dado que el voltaje de entrada que proporciona el electrodo es muy bajo y se requiere una amplitud de 10 mínimos.

Se escogió el amplificador operacional LF356, debido a que tiene una alta impedancia dentro de su entrada.

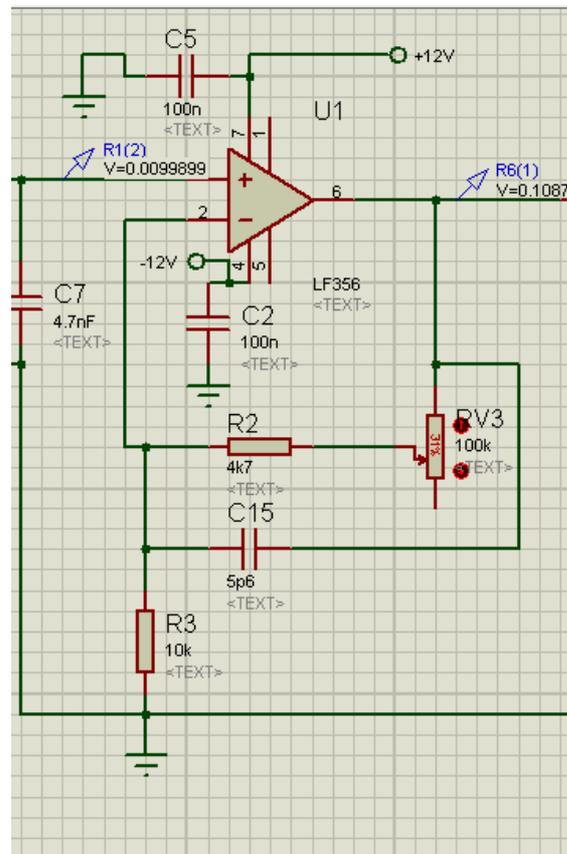


FIGURA 24. Filtro Amplificador No Inversor (ISIS)

$$V_{salidaLF356} = \frac{R2 + RV1 + R3}{R3} * Vi$$

Se escoge un potenciómetro de 100KΩ dado que este va a regular el OFFSET en la calibración del sensor, este primer regulador es para el pH4 o pH7, dado que le voltaje

$$V_{salidaLF356} = \frac{10k + 4.7k + 100k}{10k}$$

$$V_{salidaLF356} = 10Vi$$

3.3.4.3 Diseño regulador de pH7.

Esta parte del acondicionamiento, consiste en dos etapas, la primera es un regulador para el buffer de pH7 con la ayuda de un potenciómetro de 5k.

Lo que realiza este circuito es comparar el voltaje de salida del amplificador U3:D con la con la entrada al amplificador U3:A, que es un amplificador TL084, una vez que los voltajes sean iguales quiere decir que el sensor está calibrado. Por eso se utiliza el amplificador diferencial restador (Texas Instruments, 2012).

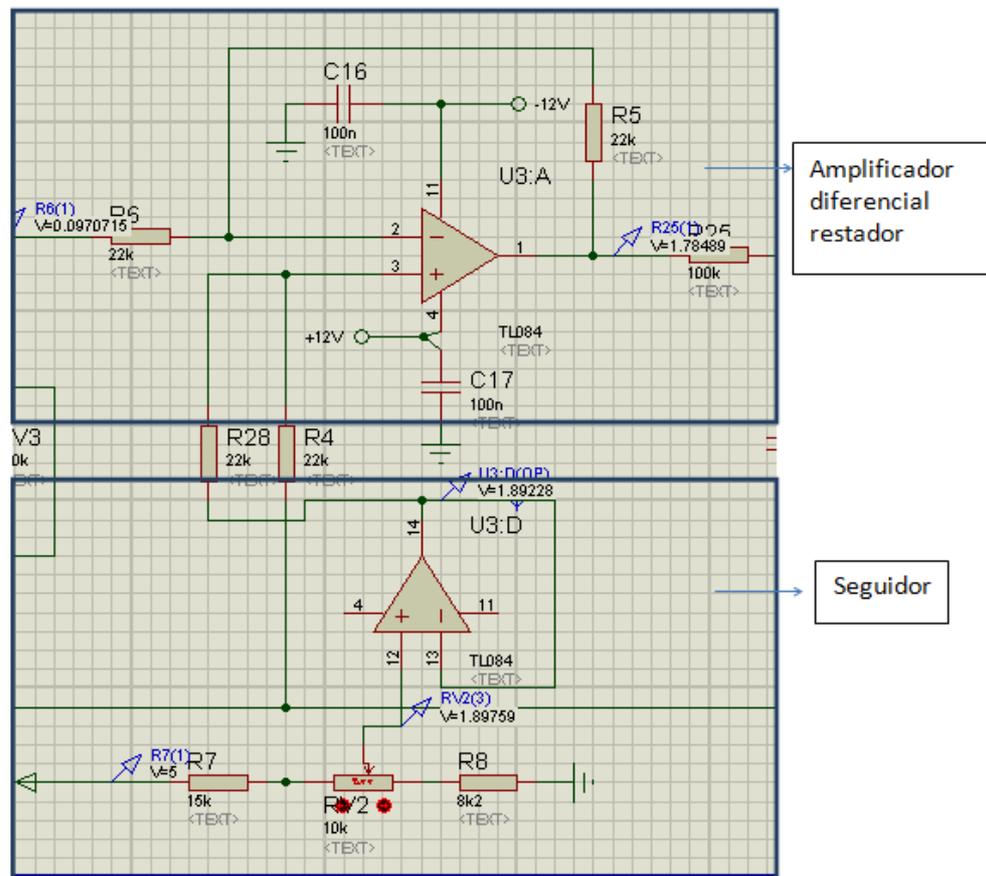


FIGURA 25. Circuito Seguidor + Diferenciador (Restador) (ISIS)

Dado que la escala de voltaje que ingresa es en un rango de 2 a 5 V. Se utiliza lo siguiente:

$$V_{RV2} = \frac{8.2K + RV1}{15K + (5K - RV1)} (5V)$$

Cuando $RV1=0$

$$V_{RV2} = \frac{8.2K + 0}{15K + (5K - 0)} (5V)$$

$$V_{RV2} = 2.05V$$

Cuando $R_{V1}=5K$

$$V_{RV2} = \frac{8.2K + 5K}{15K + (5K - 5K)} (5V)$$

$$V_{RV2} = 4.4V$$

Rango de Voltaje 2.05 a 4.4 V, lo cual es aceptable dado que el voltaje que debe ingresar al microcontrolador debe ser mayor a 1.5 para que empiece a medir la parte análoga.

Circuito Diferenciador Restador.

$$V_{R25} = \left[\left(\frac{R25 + R6}{R6} \right) * V_{R6} \right] - \left(\frac{R25}{R6} V_{RV2} \right)$$

$$V_{R25} = \left[\left(\frac{22k + 22k}{22k} \right) * V_{R6} \right] - \left(\frac{22k}{22k} V_{RV2} \right)$$

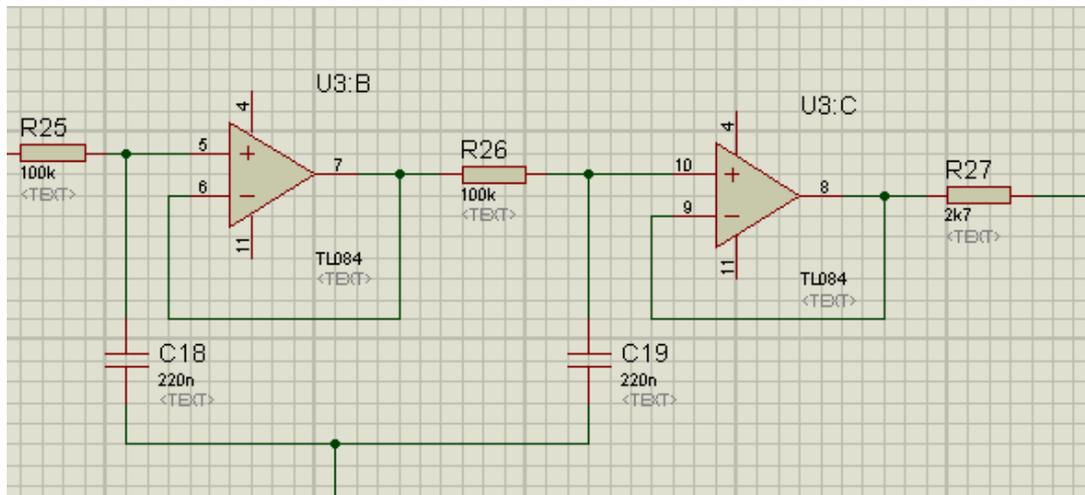
$$V_{R25} = [2 * V_{R6}] - V_{RV2}$$

Se realiza de esta manera dado que si se trabaja en un rango medio, para pH7 es decir unos 3V, y para que se reste con el voltaje que ingresa al amplificador U3:A, se debe multiplicar por 2, para que la resta pueda generar un número cercano a 0.

3.3.4.4 Diseño del seguidor.

Dado que siempre existen picos dentro de la señal de lectura del electrodo de pH, se realizan seguidores, para que con esto se pueda filtrar esos picos, y la señal llegue lo más estable al microcontrolador.

Las resistencias que se escogen son adecuadas para el amplificador y aseguran que no haya pérdidas de voltaje.



En general el circuito de acondicionamiento queda de la siguiente manera:

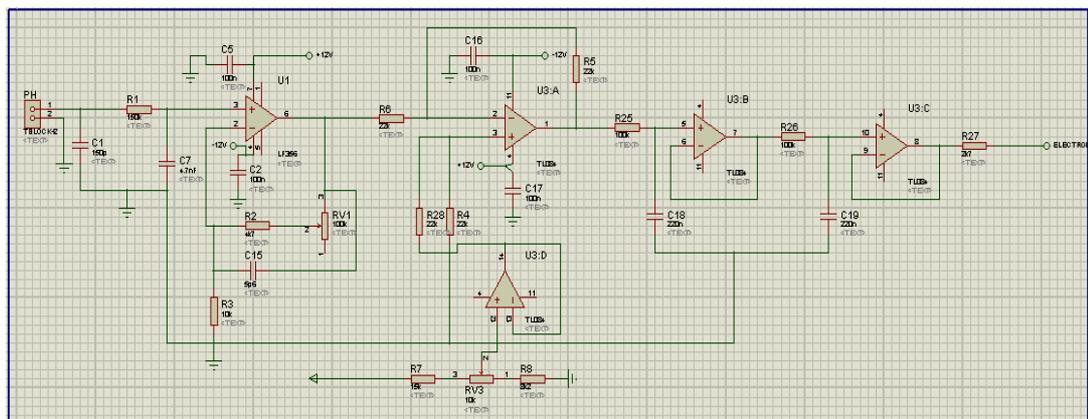


FIGURA 27. Circuito de acondicionamiento del electrodo de pH (ISIS)

3.3.5 Diseño de circuitos de control.

Para los circuitos de control, básicamente se tienen los botones que van a seleccionar diferentes modos de operación del sistema de dosificación que se los presentará con más detalle en la sección 3.3.6 donde se verá la interfaz de usuario.

3.3.5.1 Teclado.

Dentro del sistema de dosificación se utilizarán 4 botones, y su conexión se la realizó de la siguiente manera:

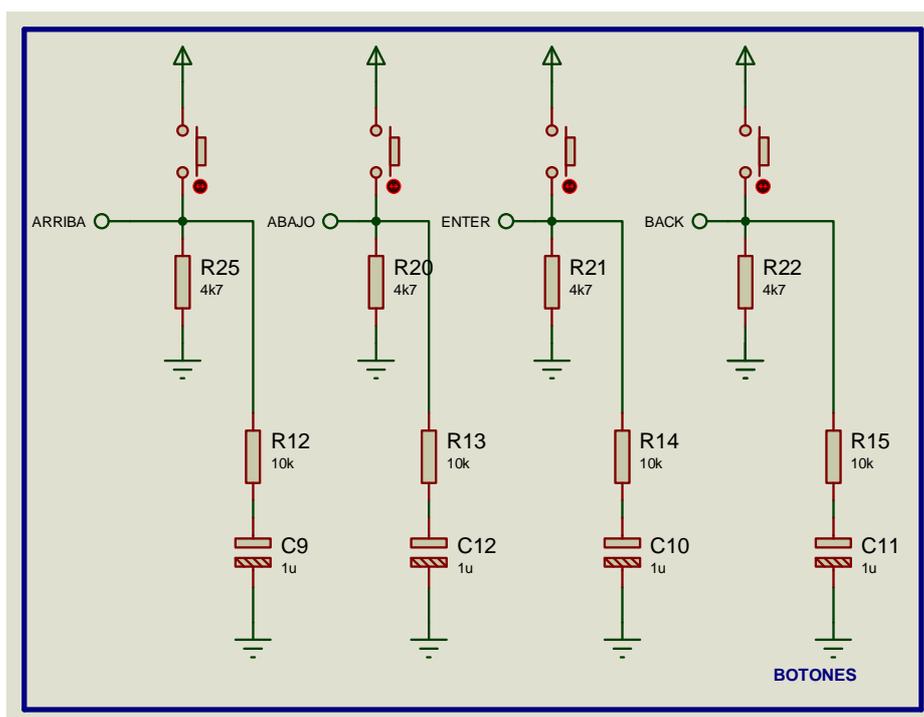


FIGURA 28. Circuito de control: teclado (ISIS)

Se utiliza un circuito tipo divisor de Voltaje donde el voltaje que el microcontrolador va a leer es que el que está sobre la resistencia de 4.7KΩ además se tiene un circuito anti rebote ocupando un filtro RC, este va a permitir que el voltaje pase cuando el botón se suelte, es decir si se mantiene aplastado el botón la señal no va a pasar al microcontrolador.

3.3.5.2 Sensores de fuerza.

Los sensores de fuerza o de presión, se utilizan para verificar si los reservorios tanto de NaOH como de HCL, estén en una medida adecuada para poder empezar con el control y dosificación de pH, su conexión básicamente es de la siguiente manera.

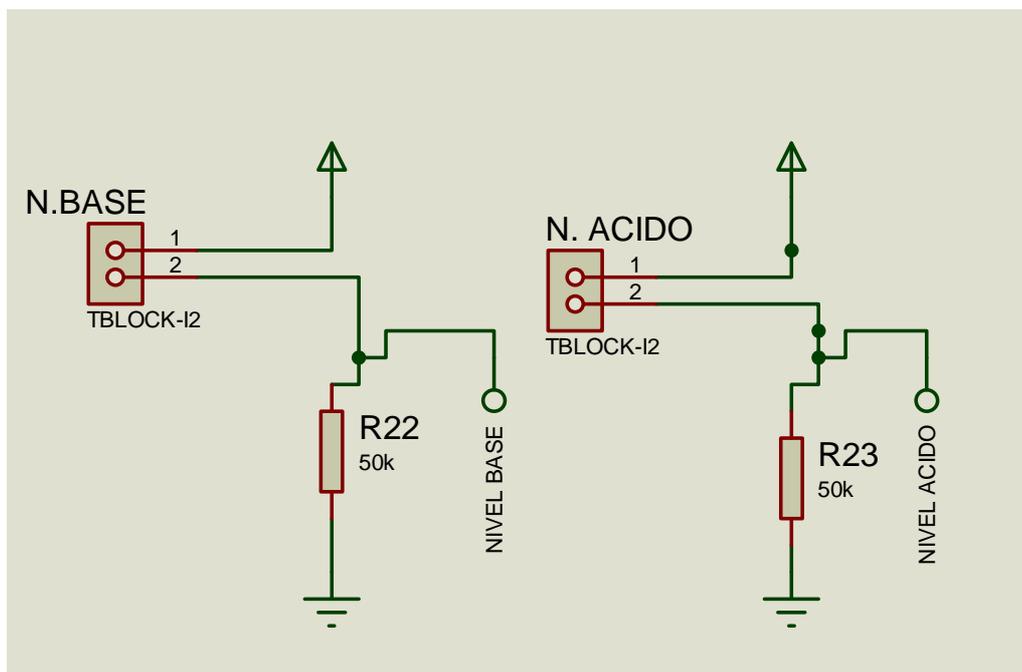


FIGURA 29. Circuito de control sensores de fuerza (ISIS).

La resistencia de $50k\Omega$, se la escogió debido al sensor que se utiliza, el sensor es uno del tipo Resistivo, el cual genera una resistencia según la presión que se le aplique, dado que la presión o el peso que se le va a aplicar no es muy grande, se necesita de una resistencia lo suficientemente grande para que pueda leer el microcontrolador. Como se puede observar en la conexión se alimenta con 5V que provienen del Arduino.

3.3.5.3 Fines de carrera.

El objetivo de usar fines de carrera, es como medida de seguridad dentro del sistema de elevación del soporte del electrodo, se usarán dos fines de carrera para detectar cuando el soporte llega al límite tanto superior como inferior. Adicionalmente se utilizará un fin de carrera que servirá para iniciar el procedimiento de dosificación asegurando que no exista riesgo en el usuario.

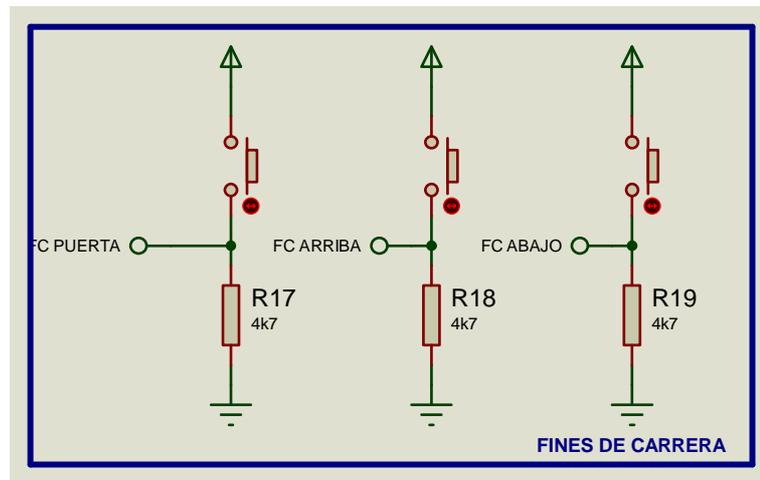


FIGURA 30. Circuito de control fines de carrera (ISIS).

3.3.6 Diseño de circuitos de potencia.

Para los circuitos de potencias se consideran las dos bombas que serán alimentadas con 12V, que provienen de la fuente y se utilizará la conexión tipo conmutador para que estas se enciendan o no, según se requiera. Para el agitador se utilizará con 9V, y una conexión especial que limita contracorrientes y también como especie de interruptor.

3.3.6.1 Circuito de potencia del agitador.

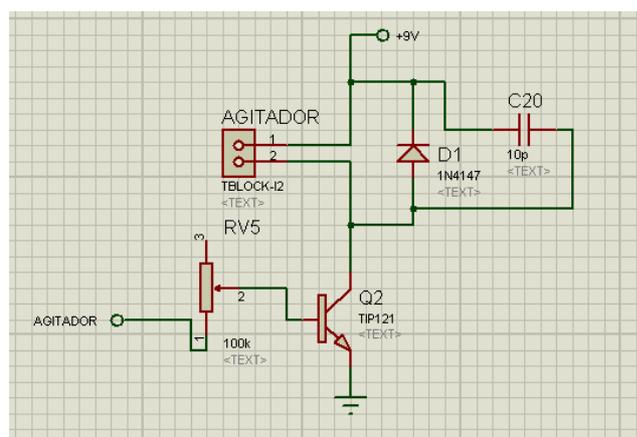


FIGURA 31. Circuito de control del agitador (ISIS)

Se utilizan transistores NPN del tipo TIP, que ayudan a amplificar la señal que sale del microcontrolador. Sus características son:

$$I_C \text{ max} = 5A$$

$$hFE = 1000$$

$$V_{BE} \text{ Saturación} = 0.7 \text{ Volt,}$$

$$V_{CE} \text{ Saturación} = 2 \text{ Volt.}$$

El motor trabajara a una corriente de 75mA, como se explico en el apartado 3.3.2

$$I_c = 75mA$$

La corriente el transistor la soporta sin ningún problema

$$I_B = I_c / hFE$$

$$I_B = 75mA / 1000 = 0.075mA$$

Esta corriente puede ser manejada tranquilamente por el microcontrolador que es capaz de manejar corrientes hasta de 40mA.

También aplicando la ley de Ohm se puede calcular el valor de RB por:

$$R_B = (V_{PORT} - V_{BE}) / I_B$$

Asumiendo que el valor mínimo que saldrá del microcontrolador es 4.2V.

$$R_B = (4.2 - 0.7) / 0.000075 = 46666.66 \Omega$$

Disipación de potencia en la resistencia será:

$$P_B = (4.2 - 0.7) * I_B = 0.0002625 \text{ Watt}$$

Se puede ocupar una resistencia de 47KΩ con 0.25Watt.

Dado que ya se tiene definido la resistencia se puede ocupar un potenciómetro en caso de que se requiera regular la velocidad con el potenciómetro, si no se puede regular con el microcontrolador y poner una resistencia fija.

3.3.6.2 Circuito de potencia bombas peristálticas.

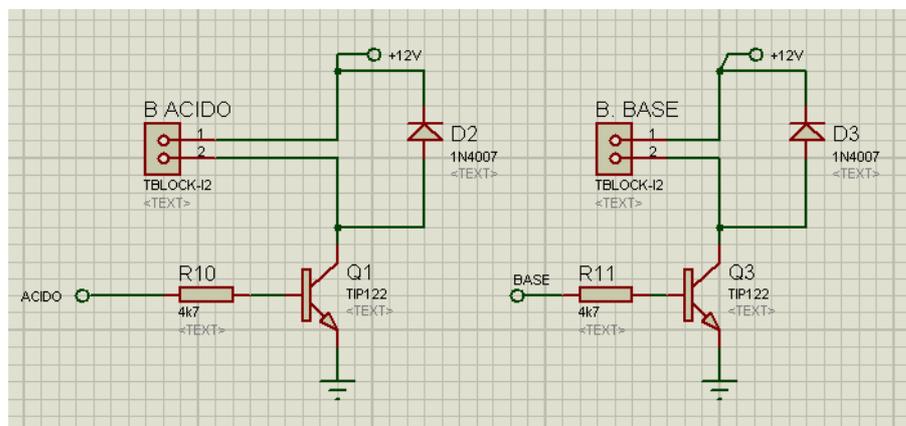


FIGURA 32. Circuito de Control Bombas Dosificadoras (ISIS).

$$I_C \text{ max} = 5A$$

$$hFE = 1000$$

$$V_{BE} \text{ Saturación} = 0.7 \text{ Volt,}$$

$$V_{CE} \text{ Saturación} = 2 \text{ Volt}$$

El motor trabajara a una corriente de 75mA, como se explicó en el apartado 3.3.2

$$I_C = 75mA$$

La corriente el transistor la soporta sin ningún problema

$$I_B = \frac{I_C}{hFE}$$

$$I_B = \frac{75mA}{1000} = 0.075mA$$

Esta corriente puede ser manejada tranquilamente por el microcontrolador que es capaz de manejar Corrientes hasta de 40mA. También aplicando la ley de Ohm se puede calcular el valor de RB por:

$$R_B = \frac{V_{PORT} - V_{BE}}{I_B}$$

Para las bombas se requiere que el voltaje de salida del microcontrolador sea mínimo ya que se requiere que estas bombas manejen un sistema de goteo, se ocupará los puertos que manejan PWM.

$$R_B = \frac{1 - 0.7}{0.000075} = 4000 \Omega$$

Disipación de potencia en las resistencias será:

$$P_B = (1 - 0.7) * I_B = 0.0000225 \text{ Watt}$$

Se puede ocupar una resistencia de 47KΩ con 0.25Watt

3.3.6.3 Circuito de potencia del buzzer.

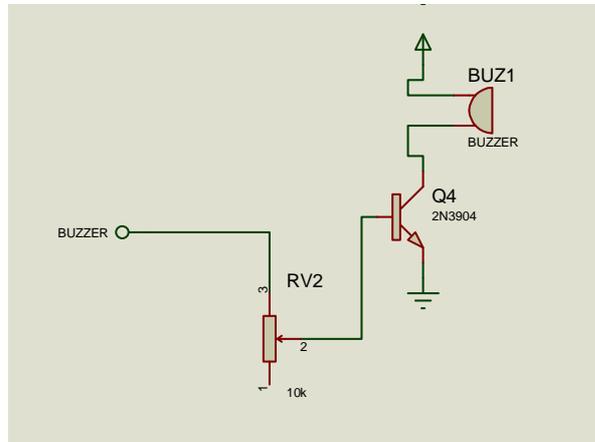


FIGURA 33. Circuito de control del buzzer (ISIS)

Para el circuito del buzzer se utiliza un transistor 2N3904

$$I_C \text{ max} = 200\text{mA}$$

$$hFE = 100$$

$$V_{BE} \text{ Saturación} = 0.7 \text{ Volt,}$$

$$V_{CE} \text{ Saturación} = 0.2 \text{ Volt}$$

El buzzer trabaja a una corriente de 75 mA.

$$I_C = 75\text{mA}$$

La corriente el transistor la soporta sin ningún problema.

$$I_B = \frac{I_C}{hFE}$$

$$I_B = \frac{75\text{mA}}{100} = 0.75\text{mA}$$

Esta corriente puede ser manejada tranquilamente por el microcontrolador que es capaz de manejar Corrientes hasta de 40mA.

También aplicando la ley de Ohm se puede calcular el valor de RB por:

$$R_B = \frac{V_{PORT} - V_{BE}}{I_B}$$

Se utiliza un voltaje de salida del microcontrolador de 4.2V como mínimo.

$$R_B = \frac{4.2 - 0.7}{0.00075} = 4666.667 \Omega$$

Disipación de potencia en la resistencia será:

$$P_B = (4.2 - 0.7) * I_B = 0.0002625 \text{ Watt}$$

Se puede ocupar una resistencia de 4.7KΩ con 0.25Watt

3.3.6.4 Circuito Potencia Motor a Pasos.

Para el motor a pasos se tiene un driver especial L298N, el cual permite controlar la dirección del motor a pasos y también impide que el microcontrolador exceda en su capacidad de corriente dentro de sus puertos.

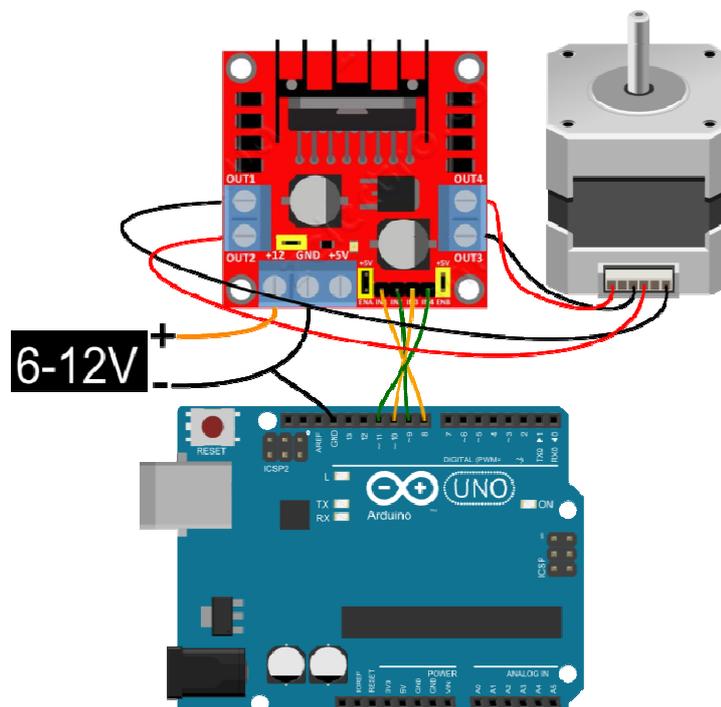


FIGURA 34. Conexión Arduino L298N

Fuente: (Electronilab, 2014)

El esquema muestra la conexión entre el módulo L298N, arduino y motor a pasos (Cruz, 2014). Dado que el motor funciona con 12V, el jumper ENA y ENB deben ser activados, así mismo se utiliza el jumper de +5V. Dado que se utiliza una fuente externa de 12V y se activa el regulador interno del módulo.

3.3.7 Asignación Entradas y Salidas para Microcontrolador.

A continuación se presenta una lista con el número de pines que necesita cada componente a utilizar en la máquina.

Tabla 13.

Asignación de pines In/Out microcontrolador

Elementos	Número de Pines a Utilizar Microcontrolador	Entrada o Salida
Bomba Dosificadora Ácido	1	S
Bomba Dosificadora Base	1	S
LCD	20	S
Botoneras	4	E
Buzzer	1	S
Fin de Carrera Superior	1	E
Fin de Carrera Inferior	1	E
Fin de Carrera Puerta	1	E
Sensor Distancia	2	E
Sensor Nivel Acido	1	E
Sensor Nivel Base	1	E
Motor Agitador	1	S
Motor Soporte Electrodo	1	S
Sensor Electrodo	1	E
Total Pines	37	

Una vez obtenido la el número de pines por elemento, se dispone a ubicarlos en el esquemático para una mejor visualización.

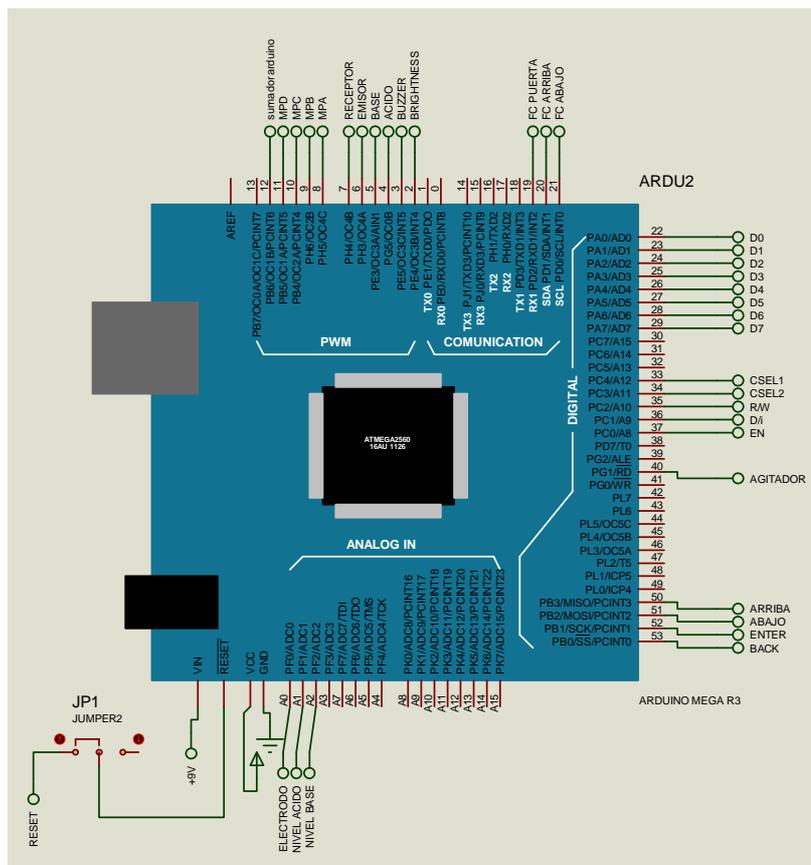


FIGURA 35. Asignación de Pines Microcontrolador Arduino Mega 2560

3.3.8 Diseño de interfaz de usuario.

Para la interfaz de usuario, en primer lugar se requieren pantallas, y así mismo con un sistema de menús que nos permita acceder fácilmente a las diferentes funciones del sistema de dosificación.

A continuación se podrá observar un resumen del diseño de las pantallas principales y como debe ser su manipulación, de esto se habla más a detalle en el manual de usuario.



FIGURA 36. Modelo de Pantallas Dosificador pH (Software ISIS, Programación Arduino).

Tabla 14.

Pantallas principales de la interfaz.

Pantallas principales	Función
Pantalla Principal	Muestra un Menú con las opciones disponibles de la máquina dosificadora de pH.
Pantalla Calibración	Se usa para calibrar el electrodo de pH, se debe utilizar ph4, ph7 y ph10.
Pantalla Control pH	Se usa para controlar el pH de diferentes sustancias, ingresando Volumen y pH requerido.
Pantalla Soluciones	Se utiliza para limpiar bombas dosificadoras y revisar niveles de NaOH y HCl en la máquina.
Pantalla Acerca de	Visualización de información de la máquina.

3.3.9 Algoritmo de control de pH.

Dentro del algoritmo se tiene lo siguiente:

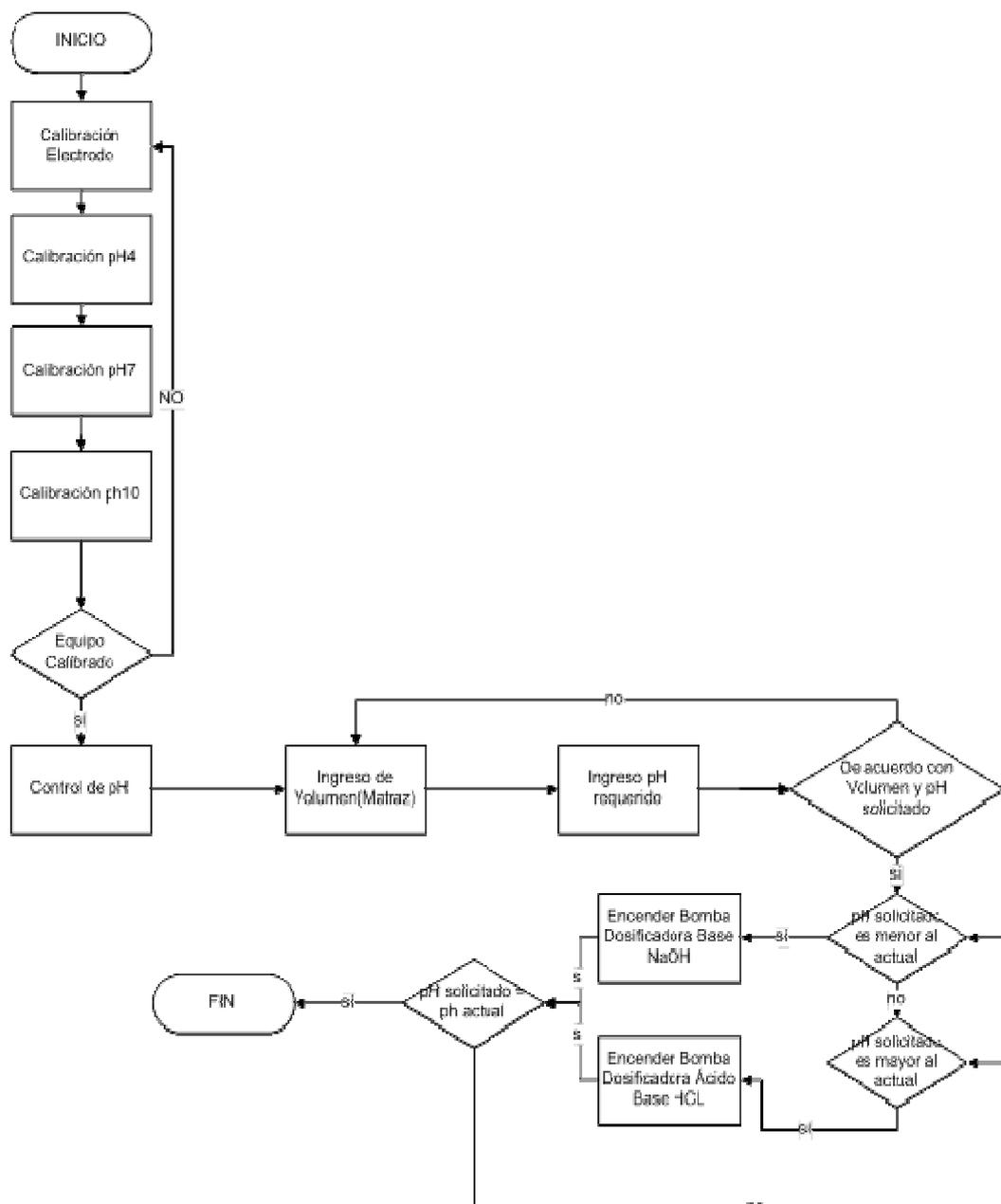


FIGURA 37. Flujo grama de control de pH

3.3.10 Diseño de la placa electrónica (PCB).

3.3.10.1 Cálculo de corrientes de la PCB.

Las fuentes de voltaje se han diseñado para soportar una corriente máxima de 3A, por lo que el cálculo de las pistas se debe centrar en un voltaje máximo de 12V y 3A de corriente. Otra variable es la temperatura de funcionamiento del medio en donde funcionará la placa, en este caso la temperatura máxima de funcionamiento será de 30° C.

Con la selección de una placa de 1onz en FR4 el ancho de pista debe ser seleccionado de la siguiente manera:

$$Tr = 130 - 30 = 100^{\circ}\text{C}$$

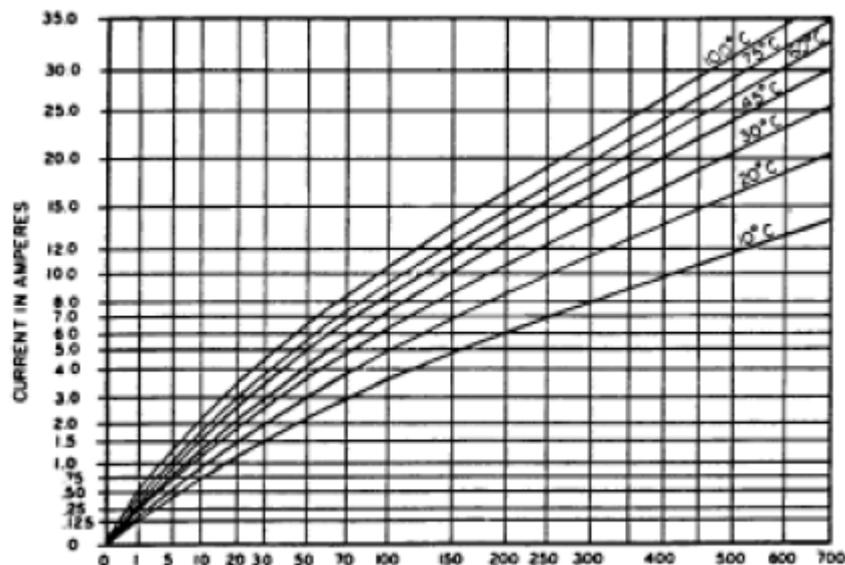


FIGURA 38. Sección de la pista a partir de la temperatura de funcionamiento.

Fuente: (IPC , 2003)

En la gráfica aproximadamente el área en milímetros cuadrados es de 20 unidades.

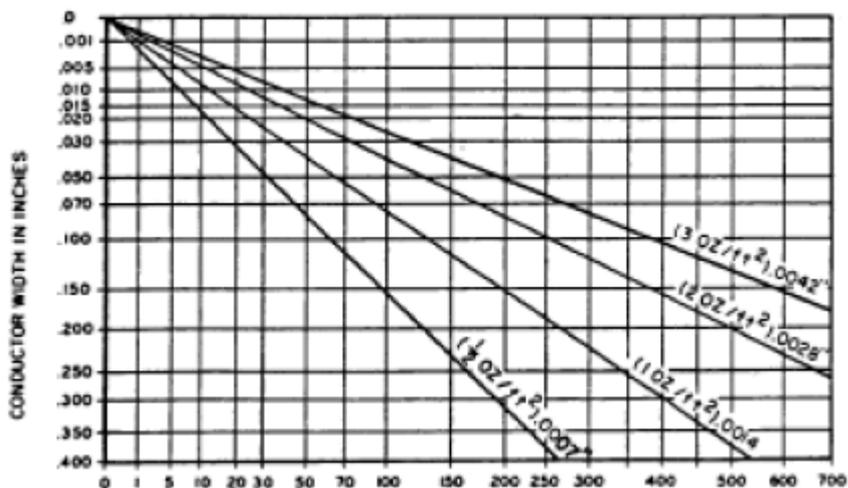


FIGURA 39. Selección del ancho de pista a partir del material y sección.

Fuente: (IPC , 2003)

El cruce cuando la sección es de 20 milímetros cuadrados es aproximadamente 20th. Por lo tanto el ancho de las pistas de las dos fuentes debe ser de mínimo 20th, se seleccionará un ancho de 25th.

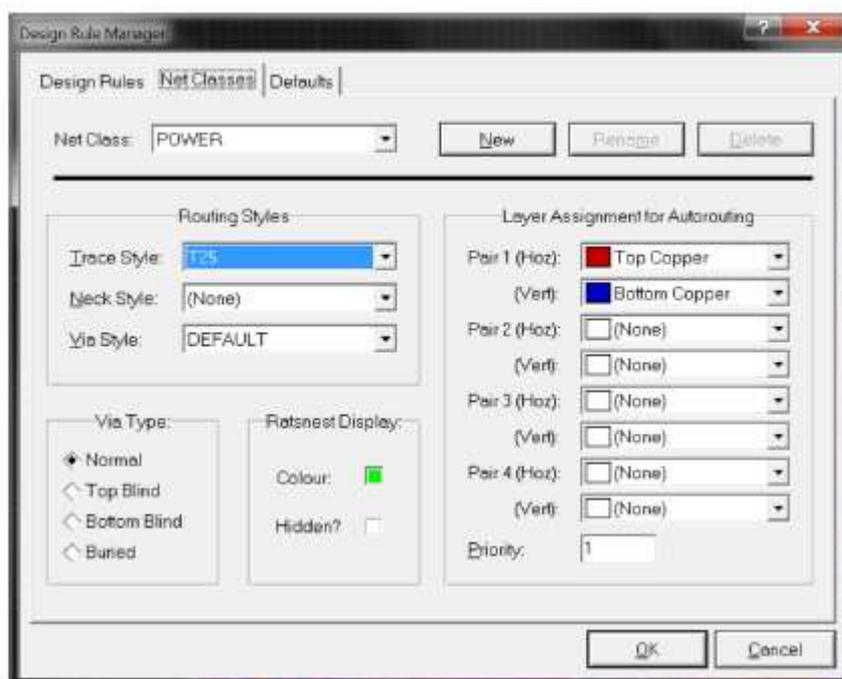


FIGURA 40. Inserción de ancho de pistas para las fuentes (Ares)

Para las conexiones internas entre los componentes, se seleccionará 20th, pues es un tamaño bueno para que no existan posibles circuitos abiertos en la posterior manufactura:



FIGURA 41. Inserción de ancho de pistas para conexión en general (Ares)

Una vez escogido el tamaño de las pistas se genera el PCB, a doble capa dado que el tamaño que requerimos es pequeño y se tienen muchos componentes, al realizar un diseño a doble capa, se aprovecha al máximo la PCB, como resultado del diseño se obtiene lo siguiente:

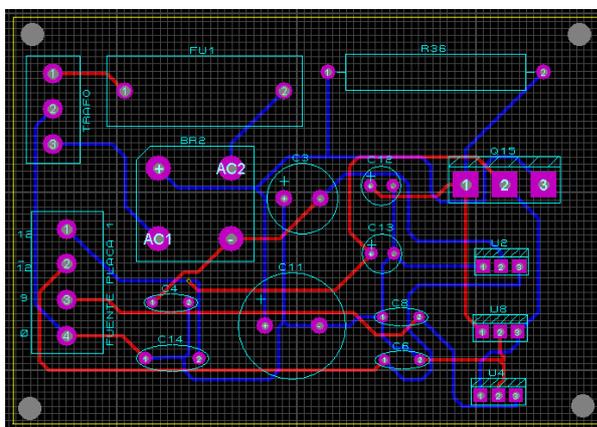


FIGURA 42. PCB Fuente 12V,-12V,9V (Ares)

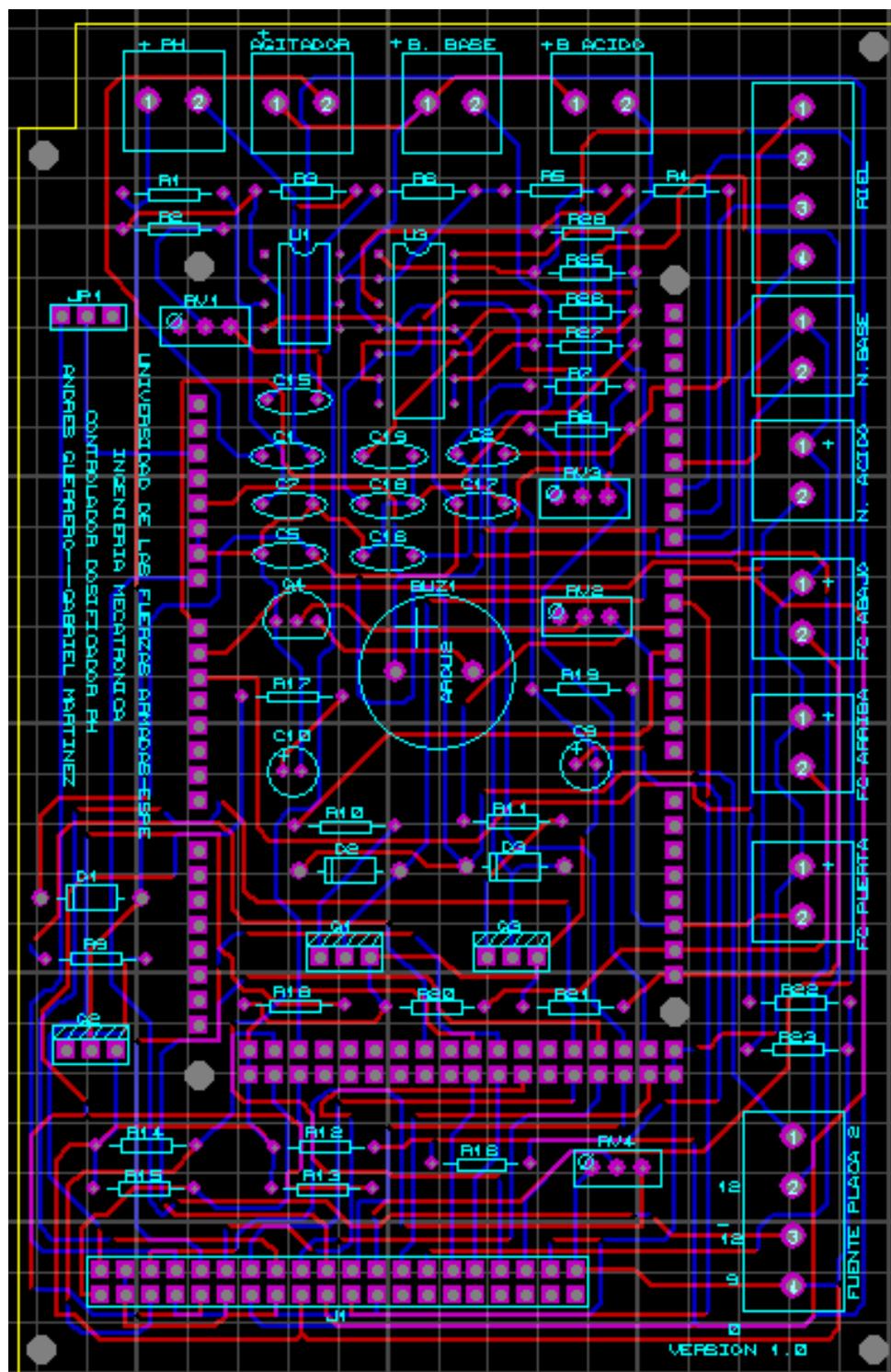


FIGURA 43. Diseño doble capa, control dosificador de pH (Ares).

3.3.11 Diseño Panel de Control.

En base a los requerimientos de botonería, se procedió a diseñar un panel que contenga cuatro botones, además de una pantalla GLCD, donde se puede realizar de una manera muy sencilla el menú que se requiere dentro del funcionamiento de la máquina.

Se escogió una pantalla GLCD, debido a que tiene compatibilidad con el microcontrolador Arduino,



FIGURA 44. Pantalla GLCD

Fuente: (Coldfire-Electronica, 2012)

Es gráfica debido a que se requiere visualizar el avance dentro del programa de una manera muy sencilla de entender para el usuario. Así como la lectura de depósitos de base o ácido según se requiera.

Una vez obtenidas las medidas se procede a diseñar el panel frontal de control de la máquina dosificadora.

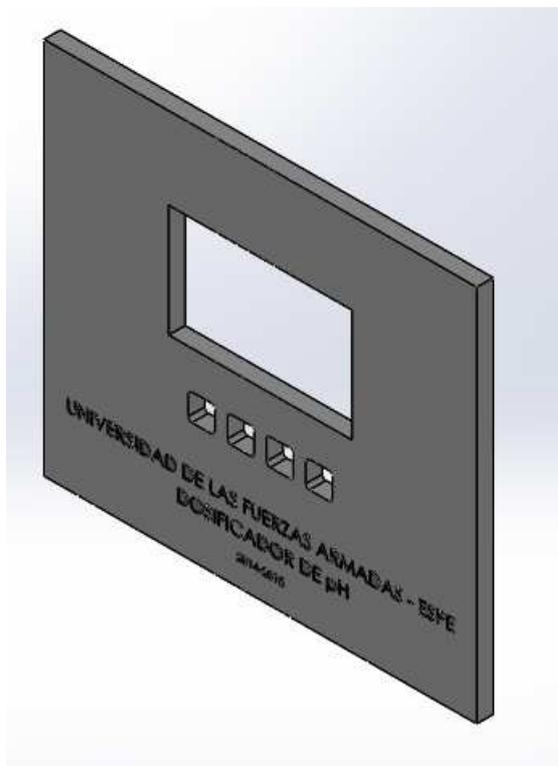


FIGURA 45. Diseño Panel de Control (Carcasa) (Solidworks)

Así mismo se procede a diseñar el circuito de control del teclado, básicamente la conexión a la placa central se la realiza mediante cable plano.

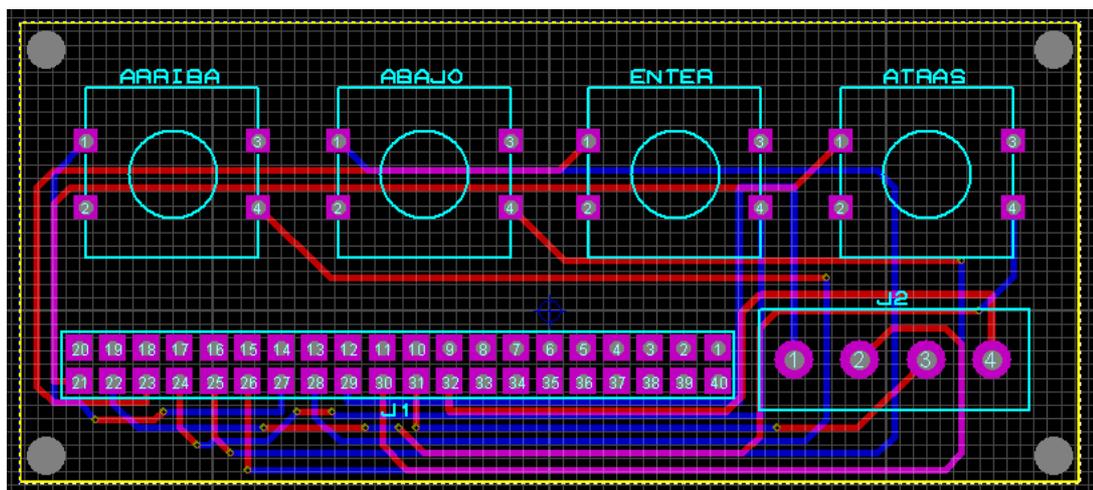


FIGURA 46. Diseño PCB Botones

CAPÍTULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Calibración Máquina

Dentro del diseño del programa, se tiene una sección donde se calibra la máquina, es decir se calibra el Electrodo para que este pueda medir adecuadamente el pH.

Generalmente se calibra con soluciones llamadas buffers, que son soluciones de pH4, pH7 y pH10, lo que la máquina realiza es tomar valores en voltaje de estos buffers, y realizar una curva desde pH0 a pH14, con sus respectivos voltajes, para que cuando el sensor lea el voltaje de x sustancia, la pueda comparar en la curva y generar una lectura adecuada.

Vale recalcar que se realiza esta calibración una vez diaria en la medida de lo posible, dado que al cambiar las temperaturas del ambiente la lectura puede desfasarse un poco.

Lo recomendado es que la máquina trabaje en un ambiente normal de 25° C aproximadamente.

4.1.1 Configuración pH4, pH7 y pH 10.

Para lo que se refiere a pH4, pH7 y pH10, se toma un Buffer, y se mide el voltaje de salida del circuito de acondicionamiento o a su vez, el voltaje dentro de la entrada Analógica del microcontrolador.

El Voltaje que se mide en el buffer tanto de pH4 y pH7 es grabado en la memoria EEPROM del microcontrolador, es decir que al momento que la máquina se apague y se prenda la información no se perderá y se podrá trabajar tranquilamente.

- Voltaje pH4: 1.47 V
- Voltaje pH7: 2.25 V
- Voltaje pH10: 3.12 V
- Temperatura: 25°C

Con esto se confirma que el voltaje queda guardado y la máquina sigue operativa.

4.2 Agitador.

Cuando se refiere a agitador, se trata de tener una velocidad constante para que la sustancia se uniformice lo mejor posible, una velocidad adecuada es 100rpm.

Se toma en cuenta que para cada cantidad de Volumen, la velocidad debe aumentar cierto porcentaje para lo cual se realiza la siguiente tabla, que servirá de agregado al programa.

Tabla 15.

Velocidades del agitador según volumen del Erlenmeyer.

Volumen Erlenmeyer(ml)	PWM(Voltaje)	Velocidad(RPM)
250	0.75	180
500	0.80	192
1000	0.88	211,2
2000	1.08	259,2

4.3 Dosificación Ácido

Se trabajará con una solución HCL 1N. Dentro de la etapa de pruebas, se realiza el siguiente estudio.

Tabla 16.

Dosificación ácido

Voltaje enviado a bomba peristáltica	Tiempo (s)	Caudal (ml/s)
1,96	14,26	0,786
1,57	14,15	0,629
0,98	14,14	0,393
0,59	14,30	0,236
0,15	14,07	0.06

4.4 Dosificación Base

Cabe recalcar que se trabajará con una solución NaOH 1N. Dentro de la etapa de pruebas, se realiza el siguiente estudio.

Tabla 17.

Dosificación base

Voltaje enviado a bomba peristáltica	Tiempo (s)	Caudal (ml/s)
1,96	15,23	0,721
1,57	14,19	0,625
0,98	15,60	0,332
0,59	15,15	0,210
0,15	14,97	0.091

4.5 Posicionamiento automático del electrodo

El electrodo descenderá dependiendo del matraz colocado en el dosificador , esto fue programado usando el giro del motor a pasos, siendo una vuelta del mismo 3.8 cm que descenderá el electrodo. A continuación se presentara una tabla con las distancias que baja el electrodo según cada volumen y además en las etapas de calibración y limpieza del sistema.

Tabla 18.

Posicionamiento del electrodo

Función	Motor Soporte (revoluciones)	Altura(cm)
Matraz 2000 ml	3	11,4
Matraz 1000 ml	3,5	13,3
Matraz 500 ml	4	15,2
Matraz 250 ml	4,3	16,34
Limpieza	4,5	17,1
Calibración	5	19

Capítulo 5. Análisis económico

En base al costo beneficio descrito en la justificación del proyecto, se utilizará un análisis de costos como herramienta para medir parámetros económicos y a su vez realizar un desglose con los costos generados en la implementación del presente proyecto.

5.1 Costos directos

Dentro de los costos directos, se fija el valor exacto del material los cuales son una parte importante para llegar a un producto final. Además se involucra costo de mano de obra directo de algunas partes dentro de la manufactura que llevan un proceso de fabricación pre-establecido.

5.2 Costos de materia prima

A continuación se presenta una tabla en la cual se encuentran los costos de Materiales tanto mecánicos como electrónicos.

Tabla 19.

Costos de materiales mecánicos

Mecánicos			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
2	Bombas peristálticas	15	30
1	Motor DC	5	5
1	Motor a pasos	20	20
1	Correa Motor a Pasos	2	2
1	Acrílico negro 800x250x3 mm	10	10
4	Bases de caucho	2	8
50	Tornillos varias medidas	0.15	7.5
8	O-rings	0.5	4
1	Engrane Acompañador de Correa	4	4
1	Plancha de tol: 1200x2400x2 mm	30	30
2	Perfil cuadrado AISI 1020: 20x20 mm	6.8	13.6
1	Vidrio transparente 450x200x6 mm	4	4
1	Vidrio transparente 500x200x2 mm	3.5	3.5
2	Soporte botellas con concentrador de fuerzas	10	20
2	Ejes de acero SAE 1018	40	80
TOTAL			\$141.6

Tabla 20.

Costos de materiales electrónicos

Electrónicos			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	Sensor pH HI1230B	150	150
1	Panel de Control	80	80
1	PCB Doble capa 150x150 mm	65.1	65.1
1	Fuente 12V 3A	10	10
1	Arduino Mega 2560	40	40
1	Driver Motor a Pasos L298N	12.8	12.8
2	Sensores de fuerza resistivo	15	30
1	Sensor Ultrasónico	8.3	8.3
3	Fines de Carrera	1.1	3.3
1	Elementos Electrónicos (Resistencias, Capacitores, Buzzer, Amp.Op., Transistores, Diodos)	45.6	45.6
6	Cable UTP multifilar N° 18(m)	1.15	6.9
1	Transformador 110/24 60Hz 4amp	12	12
1	Pantalla GLCD 128x64	20	20
1	PCB botonera para pantalla táctil doble capa	15	15
1	Cable plano 40 pines	3.5	3.5
TOTAL			\$ 502.5

5.3 Costos de mano de obra directa

Dentro del costo de mano de obra directa se relaciona la operación de manufactura con el precio que se maneja en el mercado, dependiendo así

del costo hora máquina-hombre, costo del equipo eléctrico y el tiempo de maquinado, todo esto genera un costo en la mano de obra.

Tabla 21.

Costo de fabricación y ensamblaje

Operación	Tiempo [hora]	Costo normal USD/hora	Costo Total [USD]	
Doblado	2	6.8	13.6	
Soldadura Eléctrica	2	4	8	
Amolado y corte	2	10	20	
Pintado	2	14	28	
Torneado	1	12	12	
Corte por cizalla	1	9	9	
Taladrado	2	4.5	9	
Ensamblaje, electrónico	Montaje	60	4	240
TOTAL:			\$339.6	

5.4 Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos intervienen aquellos rubros que no están directamente relacionados con la construcción del equipo es decir materiales indirectos, mano de obra indirecta, gastos por depreciación de equipos, costo de servicios básicos, etc.

Tabla 22.

Costos de mano de obra indirecta

Detalle	Tiempo (horas)	Costo (USD/h)	Costo Total (USD)	
Ingeniería y Diseño	100	5	500	
Dibujo Mecánicos	Planos	10	4.5	45
Programación Control	y	10	5	50
TOTAL:			\$ 595	

Tabla 23.

Costo de materiales indirectos

Cantidad	Elemento	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
4	Electrodo AGA 6011 (Kg)	3.1	12.4
3	Lija de grano fino (unidad)	0.6	1.8
2	Cinta aislante (unidad)	0.6	1.2
1	Broca acero M2	4.5	4.5
1	Cuchilla de Corte HSS	20	20
TOTAL:			\$ 39.9

Tabla 24.

Costos operativos

Concepto	Costo (USD)
Servicios Básicos (Agua, energía, teléfono)	150
Transporte o movilización	50
Internet	50
TOTAL:	\$ 250

5.5 Costos totales

Dentro del costo total del proyecto se consideran tanto los costos directos de fabricación, de material de mano de obra sumándole los costos indirectos, además se incluye un margen de utilidad del 20% para tener una ganancia con el proyecto.

$$Costos_{Total} = Costos_{Directos} + Costos_{Indirectos}$$

Tabla 25.

Costos totales

Rubro	Costo
Costo de materiales directos	\$ 644.10
Costo de mano de obra directa	\$ 339.60
Costo de materiales indirecta	\$ 39.90
Costo de mano de obra indirectos	\$ 595.00
Costos operativos	\$ 250.00
Costo total	\$ 1.868.60

5.6 Comparación con controlador de pH en el mercado

Existe un dispositivo controlador de pH de la empresa Hanna Instruments el cual tiene una dosificación todo/nada o proporcional, salida analógica programable, comunicación vía RS232 bidireccional así como calibración en uno, dos o tres puntos entre otras características.(Hanna Instruments, 2015)



FIGURA 47. Controlador de pH microprocesadores, montaje en pared HI 21.

Fuente: (Hanna Instruments, 2015)

A continuación en la siguiente tabla se redactan los precios correspondientes a implementar una parte la máquina, ya que el sistema automático de posicionamiento de electrodo no existe en el mercado como tal.

Tabla 26.

Precios controlador pH y agitador

Descripción	Precio
Costo Controlador de pH HI21(Comprado localmente)	\$ 1.800.00
Electrodo pH HI1230B	\$ 150.00
Agitador	\$ 200.00
Mangueras	\$40.00
Total	\$ 2.190.00

Como se puede apreciar el precio total es de \$2190 en el mercado el proyecto como tal del dosificador de pH costó \$1868.60.

Sí al precio del mercado se sumara un porcentaje del precio del dosificador que correspondería a la automatización en general del posicionamiento del soporte conjuntamente con la unión de control y agitador, y que todo funcione de manera autónoma sumarían \$1000 aproximadamente.

Tabla 27.

Comparación de dosificadores de pH

Descripción	Precio
Sistema Dosificador en el mercado	\$ 2.190.00
Sistema de Automatización	\$ 1.000.00
Sistema Dosificador TOTAL	\$ 3.190.00
Sistema Dosificador Mecatrónica	\$ 1.868.60
Ahorro	70.71%

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Como resultado del desarrollo de este proyecto de tesis tenemos un prototipo de máquina, que permite controlar el pH de cualquier solución que se requiera siempre y cuando su volumen se encuentre entre 125ml a 2000ml, para volúmenes menores el electrodo no podrá leer el valor de pH, ya que el electrodo no podrá ingresar al líquido y para volúmenes mayores no podrá ingresar el matraz por las dimensiones concebida.

Dentro del control de pH se logró alcanzar una tolerancia de +/- 0.05 en nivel de pH, gracias a una previa calibración con buffers de pH4, pH7 y pH10, lo cual permite encontrar una solución factible para la asignación de ácido (HCl) o base (NaOH) mediante una dosificación exacta y precisa.

El correcto funcionamiento del sistema dosificador y del electrodo de pH requiere de un buen almacenamiento de los mismos así como sus limpiezas frecuentes con agua destilada, para esto se implementó una etapa de limpieza del sistema el cuál va a cuidar la precisión del equipo como su vida útil.

El mecanismo elevador del electrodo trabaja adecuadamente, permitiéndonos modificar las alturas con gran exactitud, y el soporte es lo suficientemente firme para que no se rompa ni fleje tal cual se lo diseño, además se lo debe mantener lubricado ya que si no el motor podría ser demasiado exigido y por lo tanto calentar la fuente al punto de llegarla a dañar.

La fuente no se calienta y no existen caídas de voltaje por lo que se concluye que está bien dimensionada, también el circuito de acondicionamiento es el ideal para el electrodo ya que la señal que se recibe es igual de estable que los aparatos comerciales similares al mismo, comprobando con los valores obtenidos en las pruebas.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda que se realice una calibración del sensor de pH cada semana debido a que como no tiene un compensador de temperatura y por los cambios de temporal las lecturas se pueden ver afectadas.

Dentro de un proyecto tan complejo como lo fue éste siempre se desea que haya una mejora continua del mismo, por lo tanto a futuros alumnos que se interesen por este proyecto se les recomienda el agregar un sistema de bypass para que las limpiezas de los sistemas sean automáticas sin necesidad de la intervención humana, así también el agregar un sensor de temperatura para la compensación de esta dentro de las lecturas de pH en el sistema.

Otra recomendación sería incluir un mayor rango de matraces dado que no siempre se utilizan los matraces estándar para el caso de este proyecto fue desde 125ml hasta 2000ml, pero pueden ser menores a 250ml o mayores a 2000ml.

Se recomienda utilizar fuentes separadas para la etapa de control y la de potencia ya que es muy fácil que la señal del electrodo sea afectada por ruido de la corriente de los actuadores.

La posibilidad de trabajar conjuntamente con diferentes carreras es beneficioso, ya que para la carrera de Mecatrónica se aumenta la cantidad de temas posibles para investigar como también se colabora con una necesidad o problema que pueda tener las distintas carreras de la universidad.

6.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arduino. (2008, Febrero 8). *Arduino*. Retrieved Febrero 7, 2015, from <https://www.arduino.cc/en/Reference/Board>
- Biomoléculas. (2008, Noviembre 10). *Biomoléculas*. Retrieved Junio 3, 2015, from <http://www.ehu.es/biomoleculas/buffers/buffer.htm>
- Bolaños, A., & Pérez, M. (2001, Febrero 1). *Arturobola*. Retrieved Septiembre 28, 2014, from <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/PH/pH.htm>
- Budynas, R. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Nueva York: McGraw Hill.
- Coldfire-Electronica. (2012, Diciembre 19). *Coldfire-Electronica*. Retrieved Enero 21, 2015, from <http://www.coldfire-electronica.com/esp/item/13/5/pantalla-glcd-graficadora-128x64>
- Cruz, A. (2014, Mayo 16). *Electronilab*. Retrieved Agosto 5, 2014, from <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>
- Direct Industry. (2013, Octubre 20). *directindustry*. Retrieved Octubre 22, 2014, from <http://www.directindustry.es/prod/aalborg-instruments/product-9050-431342.html>
- Direct Industry. (2014, Mayo 9). *Directindustry*. Retrieved Octubre 22, 2014, from http://www.directindustry.com/prod/etatron-ds/product-16443-752119.html#product-item_752113
- Ecured. (2012, Mayo 4). *Ecured*. Retrieved Enero 21, 2015, from http://www.ecured.cu/index.php/Hidr%C3%B3xido_de_Sodio
- Ecured. (2012, Mayo 4). *Ecured*. Retrieved Enero 21, 2015, from http://www.ecured.cu/index.php/%C3%81cido_clorh%C3%ADrico
- Electronilab. (2014, Mayo 16). *Electronilab*. Retrieved Diciembre 7, 2014, from <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>
- Escuela Virtual de Aeromodelismo. (2009, Diciembre 11). *Escuela Virtual de Aeromodelismo*. Retrieved Noviembre 19, 2014, from <http://alaldejaen.crearforo.com/reconversin-de-tres-motores-de-discos-duros-pc-tema684.html>
- Hanna Instruments. (2015, Enero 1). *Hanna Instruments*. Retrieved Agosto 5, 2015, from CONTROLADORES DE pH MICROPROCESADOS. MONTAJE EN PARED HI 21: <http://www.hannainst.es/catalogo-por-aplicaciones/alimentacion/industria-alimentaria/controladores-de-ph-microprocesados-montaje-en-pared-hi-21>
- Hanna Instruments. (2012, Mayo 10). *Hannainst*. Retrieved Octubre 15, 2014, from <http://www.hannainst.com.mx/catalogo-hanna-instruments/nuevos-productos/item/guia-para-la-seleccion-de-electrodos-de-ph-5>
- Infoagro. (2010, Noviembre 4). *Infoagro*. Retrieved Julio 8, 2015, from http://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm

- IPC . (2003, Mayo 17). *IPC*. Retrieved Marzo 3, 2015, from <http://www.ipc.org/TOC/IPC-2221B.pdf>
- Klerk, G. J. (2007, Octubre 1). *Research Gate*. Retrieved Julio 19, 2015, from <http://www.researchgate.net/publication/225314553>
- Lilly, J. (2011). *Fuzzy Control and Identification*. Nueva Jersey: John Wiley & sons.
- MDC SEO. (2010, Julio 3). *Material data center*. Retrieved Diciembre 2, 2014, from [http://www.materialdatacenter.com/ms/es/tradenames/Polyman/A%252E+Schulman+GmbH/POLYMAN%C2%AE+\(ABS\)+MSHI/fc987d76/25](http://www.materialdatacenter.com/ms/es/tradenames/Polyman/A%252E+Schulman+GmbH/POLYMAN%C2%AE+(ABS)+MSHI/fc987d76/25)
- Nordson. (2010, Noviembre 24). *Nordson*. Retrieved Noviembre 7, 2014, from <http://www.nordson.com/es-es/divisions/efd/products/sistemas-de-valvulas/valvulas-dosificadoras/Pages/mini-diaphragm-valve.aspx>
- Prometec. (2015, Enero 5). *Prometec*. Retrieved Enero 20, 2015, from <http://www.prometec.net/fuentes-de-alimentacion/>
- Shinsky, G. (2006). *Sistemas de control de procesos*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Singer, F. P. (2011). *Resistencia de materiales*. Oxford: Oxford.
- Sonrobots. (2014, Junio 24). *Sonrobots*. Retrieved Diciembre 14, 2014, from <http://sonrobots.com/arduinos/motores-servomotores-y-motores-paso-a-paso/>
- SuperRobotica. (2015, Febrero 6). *SuperRobotica*. Retrieved Marzo 20, 2015, from SuperRobotica
- Texas Instruments. (2012, Febrero 17). *Electronicoscaldas*. Retrieved Enero 15, 2015, from <http://www.electronicoscaldas.com/amplificadores-operacionales/39-amplificador-operacional-tl084.html>
- Texas Instruments. (2013, Abril 9). *Texas Instruments*. Retrieved Enero 10, 2015, from <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7805c.pdf>
- UNAM. (2008, Mayo 7). Retrieved Enero 20, 2015, from Quimica.unam: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>
- UNAM. (2008, Mayo 7). *Quimica.unam*. Retrieved Enero 20, 2015, from <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/3hshcl.pdf>
- Universidad de Huelva. (2009, Agosto 14). *uhu*. Retrieved Enero 20, 2015, from <http://www.uhu.es/adoracion.hermoso/Documentos/tema-5.pdf>
- Van Walt. (2012, Noviembre 25). *Van Walt*. Retrieved Diciembre 8, 2014, from <http://www.vanwalt.com/pdf/information-sheets/es/Peristaltic-Pump-Manual.pdf>

CAPÍTULO 7. ANEXOS

7.1 Hoja de datos de los elementos

7.2 Manual de usuario

7.3 Planos mecánicos