

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AGITADOR
ELECTROMECAÁNICO CON MOVIMIENTO ORBITAL**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Anthony Anibal Lázaro Concepción

ASESORES: Willy Eduardo Carrera Soria
Sayda Estela Mujica Bueno

Lima, junio del 2015

RESUMEN

Los agitadores electro-mecánicos son equipos empleados en laboratorios, centros de salud e instituciones educativas. Estos son importados, pues no se producen en el país.

El Grupo de Desarrollo de Equipos para Laboratorios Biológicos (EquiLaB) desarrolló, años atrás, un prototipo de agitador, el cual no se encontraba operativo. Por ello, la presente tesis se enfoca en la implementación de un agitador electromecánico que tenga las siguientes funciones: control de temperatura, entre el rango de [20 a 65] °C, con un error de $\pm 2^\circ\text{C}$, tiempo de operación exacto entre 1 y 99 minutos y velocidad del plato de giro, entre el rango de [100 a 255] RPM, con un error de $\pm 5\text{RPM}$. Debido a ello, se buscó en el mercado modelos similares para compararlos con el prototipo que se encuentra en la universidad, pues se desea obtener un equipo que satisfaga las necesidades del consumidor. Se estudió cada etapa del prototipo para determinar cuáles de ellas podrían ser reutilizadas o reparadas para economizar: en materiales, tiempo de fabricación y diseño de nuevas tarjetas electrónicas. Posteriormente, se pasó a evaluar si se mantiene el programa del prototipo o se opta por crear uno nuevo en otro micro-controlador. Finalmente, se realizaron las pruebas con equipos de medición, en el laboratorio de la universidad, y se recopiló los resultados obtenidos.

Se concluye que las mejoras implementadas en el equipo cumplen con los objetivos planteados, y se logra así un equipo operativo.

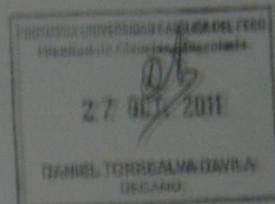
FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título: 1: Implementación de un Prototipo de Agitador Electromecánico con Movimiento Orbital.
 Área: 1: Bioingeniería. N. 954
 Asesor: 1: Ing. Willy Eduardo Carrera Soría.
 Dra. Sayda Estela Mujica Bueno.
 Alumno: 1: Anthony Anibal Lázaro Concepción
 Código: 1: 20062331
 Fecha: 1: 12 de Septiembre del 2011



Descripción y Objetivos:

Los laboratorios de las Ciencias de la Vida requieren diversos equipos electrónicos para sus variadas tareas de investigación, diagnóstico y servicio a la comunidad en general. En nuestro país esta demanda la atienden empresas que importan estos productos, de este modo los precios se incrementan y en muchos casos existen dificultades para dar mantenimiento.

Dentro de los equipos de amplio uso en estos laboratorios están los agitadores y dentro de los agitadores, uno muy útil es el agitador orbital con control de temperatura para mezclar o agitar diferentes soluciones; así como para el desarrollo de células y microorganismos.

La presente tesis es la continuación al estudio "Revisión de un Prototipo de Agitador Electromecánico con Movimiento Orbital y Diseño de sus Mejoras" (Panizo, D., 2011) y tiene como objetivo la implementación, prueba y puesta a punto de las diferentes partes electrónicas que conforman el prototipo de agitador electromecánico con movimiento orbital, en el que se controlará la temperatura, la velocidad de giro del plato y el tiempo de operación del equipo.

También, mediante este estudio se podrá tener una apreciación de costos de los elementos electrónicos del equipo.

MÁXIMO 50 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTROMECÁNICA
 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTROMECÁNICA
 ING. WILLY EDUARDO CARRERA SORÍA
 PROFESOR COORDINADOR

ING. SAYDA ESTELA MUJICA BUENO
 PROFESORA ASISTENTE

ING. ANTHONY ANIBAL LÁZARO CONCEPCIÓN
 ALUMNO

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Implementación de un Prototipo de Agitador Electromecánico con
Movimiento Orbital.

Índice

Introducción

1. Descripción del problema
2. Estado del Arte de los agitadores
3. Implementación Elementos Electrónicos
4. Ensayos de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

DR. WILLY CABRERA SORIA
PROFESOR ASISTENTE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Dr. Ing. BRUNO SASTREDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

NÚMERO 50 PAGINAS

MEMORIA DESCRIPTIVA

El grupo Equi-LaB ha venido desarrollando distintos equipos para laboratorios de biología, pues los que se encuentran en distintas instituciones tales como de salud o educativas son adquiridas en el extranjero. Uno de ellos es el agitador electromecánico, el cual necesitaba que se culmine.

El agitador consta de tres etapas: control de tiempo, temperatura y velocidad del movimiento orbital del plato. Para el desarrollo de esta tesis se tomó el prototipo de agitador que se encontraba inoperativo. Además, se compararon agitadores que existen en el mercado, para poder observar sus características y funciones.

El primer paso para su puesta en funcionamiento, fue estudiar cada una de sus etapas y reparar las que lo necesitaban; entre ellas se encontraron fallas en el sensado de temperatura, las resistencias calefactoras, el encoder y el micro-controlador. Una vez subsanado estos errores y con la información obtenida, se determinó cambiar de micro-controlador y elegir uno de la familia Atmel. Terminada la programación, se realizaron pruebas al equipo con instrumentos de la universidad, para verificar su funcionamiento.

El resultado final de este trabajo de tesis da como resultado un equipo operativo. Para iniciar una sesión en el agitador se le ingresan los parámetros del tiempo, temperatura y velocidad por el teclado matricial. Con el ingreso de dichos datos, el agitador entra en funcionamiento y los parámetros se observan en la pantalla LCD. Terminado el tiempo del experimento, el prototipo se detiene y se puede retirar el contenido de este.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
--------------	---

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la materia de estudio	2
1.2. Declaración del marco problemático	3

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LOS AGITADORES

2.1. Estado del arte	5
2.2. Descripción de aspectos teóricos de la materia de estudio	8
2.2.1. Agitación	8
2.2.2. Temperatura	9
2.3. Estado de la Investigación	11
2.3.1. Agitadores Orbitales en el mercado	11
2.3.2. Electrónica a aplicar	13
2.4. Definiciones operativas para la selección de parámetros del agitador PUCP	14
2.5. Objetivos	15
2.5.1. Objetivo General	15
2.5.2. Objetivos Específicos	15

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

3.1.	Análisis de las tarjetas existentes	16
3.1.1.	Tarjetas del sensado de temperatura	17
3.1.2.	Tarjetas de las fuentes de alimentación	20
3.1.3.	Tarjetas del encoder y de su acondicionamiento	23
3.1.4.	Tarjetas de las resistencias calefactoras	25
3.1.5.	Tarjetas del control de los ventiladores y motor DC	26
3.2.	Tarjeta del micro-controlador	26
3.3.	Programación	29

CAPÍTULO 4: ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO

4.1.	Pruebas del control del tiempo	35
4.2.	Pruebas del control de la velocidad del motor	36
4.3.	Pruebas del control de la temperatura	38
4.4.	Costo aproximado para la realización del agitador electro-mecánico	42

<u>CONCLUSIONES</u>	44
----------------------------	----

<u>RECOMENDACIONES</u>	45
-------------------------------	----

<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	46
----------------------------	----

ANEXOS

- ANEXO A** HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM335
- ANEXO B** HOJAS DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35
- ANEXO C** HOJAS DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA MCP9701
- ANEXO D** PROGRAMA COMENTADO DEL ATMEGA 16
- ANEXO E** DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD DEL MOTOR
- ANEXO F** DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE TEMPERATURA



INTRODUCCIÓN

En nuestro país, por lo general, se importan los equipos que son necesarios para los laboratorios, ya que en el mercado nacional no se encuentran. Algunos son empleados en hospitales o instituciones educativas. Estos son los agitadores electro-mecánicos, ya que se utilizan para procesos físicos, químicos y biológicos. Si bien estos equipos pueden ser adquiridos por las entidades privadas, las del sector público no cuentan con los medios disponibles para su compra.

En el Grupo de Desarrollo de Equipos para Laboratorios Biológicos (EquiLaB) de la PUCP, se ha venido trabajando en la implementación de un prototipo de agitador electro-mecánico. Este deberá presentar control del tiempo de operación exacto con rango entre 1 y 99 minutos, temperatura entre [20 a 65] °C con un error de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y velocidad de giro del plato entre [100 a 255] RPM con un error de $\pm 5\text{RPM}$. Al recibir el prototipo no funcionaba correctamente y además no estaba documentado. Por ello, la materia de estudio de esta tesis consiste en implementar y poner en operatividad dicho agitador con todas sus funciones.

En el primer capítulo, se procede a describir el problema a tratar durante el desarrollo del tema de tesis; mientras que en el segundo capítulo, se explican los conceptos que serán utilizados durante dicho desarrollo. En el tercer capítulo, se puede apreciar el desarrollo de la tesis, ya que se detalla el análisis de los componentes del agitador, así como los aportes realizados a dicho prototipo; en el capítulo final, se muestran las pruebas al prototipo con sus respectivos resultados, y se comprobarán si se cumplen los objetivos.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente capítulo muestra la motivación y las causas por las cuales se han desarrollado agitadores automatizados y el estado en el que se encontró el prototipo de agitador, materia de estudio de este trabajo.

1.1 Problemática de la materia de estudio

Para desarrollar experimentos que requieran mezclar líquidos o preparar suspensiones o disoluciones, ya sean en la rama de la química o de la biología, se necesita que los laboratorios cuenten con instrumentos que faciliten el proceso de la agitación. También se requiere, en otros casos, poder controlar la temperatura, pues muchas reacciones o cultivos de microorganismos requieren de determinadas temperaturas para su desarrollo [1].

Los primeros laboratorios contaban tanto con varillas de vidrio, para poder agitar o mezclar las soluciones, como de mecheros, para aumentar la temperatura. Esto demandaba que las personas encargadas de realizar dichas pruebas tengan una gran experticia para llegar al resultado deseado. Además, debían estar pendientes en todo momento de las mencionadas etapas, lo que conllevaba a no poder emplear dicho tiempo en otras labores.

Debido a la necesidad de hacer una mejor gestión del tiempo del personal, aparecen los agitadores mecánico-eléctricos y posteriormente los automatizados. Estos últimos hacen uso de micro-controladores, los cuales han tomado vital importancia y son de uso común en dichos equipos. Estos agitadores tienen control de temperatura, velocidad de giro, tiempo de funcionamiento, entre otras características que son de gran utilidad [2]. Además, en la actualidad, existe una tremenda variedad de modelos, para funciones específicas, y se obtiene así buenos resultados en los análisis, debido al grado de homogeneidad que logran en las soluciones o mezclas.

En el Perú, estos equipos son en su totalidad importados. Esto supone un mayor costo y en muchos casos el desconocimiento de la tecnología que los soporta, la cual es necesaria para el servicio de mantenimiento o reparación. Si bien existe personal

capacitado por las empresas que los importan, en el caso que estos equipos sean fabricados en el Perú, este servicio estaría asegurado y por ende aportaría un ahorro económico significativo. Asimismo, permitiría a los laboratoristas hacer un mejor uso de su tiempo, con la posibilidad de desarrollar otras actividades. Por ello, en la PUCP El Grupo de Desarrollo de Equipos para Laboratorios Biológicos (Equi-LaB) viene trabajando en el diseño e implementación de algunos prototipos de equipos para laboratorios. Entre los cuales se encuentra un agitador, el cual debe controlar la temperatura, velocidad de giro y tiempo de funcionamiento, siendo el tema de la tesis, que aquí se presenta, el implementar la electrónica de un prototipo de agitador electromecánico con movimiento orbital. El desarrollo de dispositivos de esta naturaleza significa apostar por el desarrollo de la investigación en implementación de equipos para laboratorios, y el manejo de tecnología ingenieril asociada, ya que en estos proyectos se hace necesaria la conjunción de múltiples disciplinas.

1.2 Declaración del marco problemático

Hace algunos años, el grupo de investigación de la PUCP “Grupo de Desarrollo de Equipos para Laboratorios Biológicos (Equi-LaB)” inició el desarrollo de un prototipo de agitador con control de temperatura y movimiento orbital. Con la participación de un grupo de alumnos, los cuales dentro de las actividades del curso de Proyecto Electrónico 1 de la Sección de Ingeniería Electrónica, elaboraron la primera versión del prototipo de agitador electromecánico.

Al tener como objeto de estudio este prototipo, se pretende estudiar su composición, para determinar qué componentes podrían ser reutilizados y aprovechados con la finalidad de ahorrar en materiales y tiempo para su implementación. En este sentido, son materia de revisión el software, hardware; así como los elementos de potencia y alimentación del prototipo que se tiene, para luego proceder a la implementación de las mejoras electrónicas y realizar las pruebas de funcionamiento que demuestre su operatividad.

Al agitador motivo de estudio de esta tesis, se le dotará de las funciones que otros equipos existentes en el mercado poseen, pues lo que se busca es proporcionar una herramienta útil y necesaria para los laboratorios de microbiología o de química [2].

Entre las capacidades con las que cuenta, es el control de la temperatura y control de la velocidad del movimiento orbital del plato, pero se agregará el control del tiempo de duración del proceso, ya que el equipo se apaga de forma indeterminada lo cual da como resultado que el operario esté pendiente, y que a su vez sea tedioso y poco práctico para una herramienta de trabajo en un laboratorio.



CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LOS AGITADORES

2.1 Estado del Arte

Los agitadores son dispositivos que se utilizan en los laboratorios de física, química y biología para lo siguiente: revolver los reactivos, aumentar el área interfásica entre un líquido y un gas, o la aceleración de la transferencia de calor. Así como para la disolución del oxígeno, y la mejor distribución de los nutrientes en los medios de cultivos con microorganismos en determinados ensayos de Microbiología [3]. Estos equipos han evolucionado desde el empleo de simples varillas de vidrio, pasando por agitadores electro-mecánicos, que sólo proporcionaban movimiento al plato. Luego dieron paso a los que brindan control de distintos parámetros tales como: la temperatura, tiempo, velocidad de giro, tipo de movimiento en el plato, entre otros. Estos últimos avances, han sido posibles en gran parte por el aporte de la electrónica con la introducción del micro-controlador, pues en su memoria se almacenan instrucciones que permiten cumplir distintas tareas específicas [4].

El utilizar micro-controladores en los agitadores conlleva a que su fabricación sea mucho más sencilla, pues muchas etapas se llevan a cabo internamente en este dispositivo mediante programas grabados. Y se deriva, también, en un ahorro económico, ya que se prescinde de la utilización de componentes.

En el mercado, existen distintos tipos de clasificaciones para los agitadores. Una de ellas es por Tipo de Movimiento, los cuales son los siguientes [2]:

Agitador con movimiento balanceo o vaivén

Estos agitadores dan un movimiento perpendicular al plato, parecido al de una barca en el mar. Genera una ola que recorre todo el recipiente, lo cual favorece a una mejor homogenización. Se utiliza por lo general en muestras de sangre (ver Figura 2.1) [5].



Figura 2.1.- Tomada de Labopolis [6]

Agitador con movimiento de rotación

Pueden ser con respecto a su eje vertical, horizontal o con algún ángulo de inclinación. Es ideal para la extracción y cultivo de células y hematología [7].

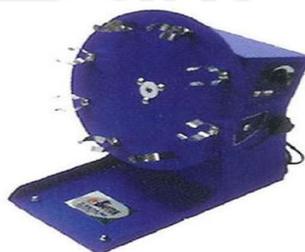


Figura 2.2.-Tomada de Human Engineering CO [8]

Agitador con movimiento rodante

Tiene en particular una leve inclinación y su movimiento consta en alzar el recipiente ligeramente [2]. Se utiliza preferentemente para agitar muestras de sangre, líquidos viscosos o suspensión de sólidos en las que se necesita una mínima de aireación [9].



Figura 2.3.-Tomada de Twist Medical [9]

Agitador con movimiento alternativo

Este se mueve de forma alternada hacia adelante y hacia atrás y se logra así un movimiento rectilíneo (ver Figura 2.4) [2].



Figura 2.4.- Tomada de Científica de Schönfeld [10]

Agitador con movimiento orbital

También conocido como agitador rotatorio, provisto de una bandeja sobre la cual los líquidos o cultivos pueden ser agitados de forma continua mediante un movimiento circular horizontal [11]. Algunos poseen el efecto vibratorio mediante una pequeña amplitud de órbita [6].



Figura 2.5.- Tomada de Labopolis [6]

Agitador con movimiento tipo muñeca

Este tipo de movimiento busca asemejar el movimiento que genera la muñeca de una persona. Estos equipos poseen largos brazos, unidos al cuerpo principal del agitador, que giran y se arremolinan cuando el dispositivo está encendido [2].



Figura 2.6.- Tomada de Standardization News [12]

Entre las distintas clases de agitadores, existen los que pueden controlar parámetros tales como la temperatura, ya que existen experimentos que requieren elevarla o disminuirla para servir como catalizador. El tipo de giro y velocidad del plato para obtener un determinado grado de homogeneidad y el tiempo de duración que se le asignará a los ensayos.

En los últimos años, el grupo EquiLab de la PUCP ha estado trabajando en un prototipo de agitador orbital electro-mecánico con control de temperatura, tiempo y velocidad del movimiento del plato, aunque sin poder presentar un equipo que funcione y que cumpla con todas las funciones asignadas. Es por ello, que en base a las experiencias y aportes brindados por este grupo de estudio se desarrollaron e implementaron las mejoras necesarias para un buen desempeño, todas ellas avaladas y confirmadas por múltiples pruebas que se realizaron a este prototipo.

2.2 Descripción de aspectos teóricos de la materia de estudio

2.2.1 Agitación

El éxito de un experimento en un laboratorio radica muchas veces en la eficiente agitación de los fluidos. No obstante, por lo general, se llega a confundir el significado de la palabra *agitación* con el de *mezclado* y se asume que ambas son sinónimas. La agitación se refiere al movimiento inducido mecánicamente de un material en una forma específica, usualmente de manera circulatoria, en el interior de un recipiente contenedor [13]. La mezcla es una distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas. Este término se aplica a numerosas operaciones que difieren en el nivel de homogeneidad del material mezclado [13].

La agitación se realiza con diferentes finalidades, las cuales dependen del tipo de experimento que se quiere llegar a practicar. Entre las que se tienen son las siguientes [13]:

- Mezcla de dos líquidos miscibles, por ejemplo, el alcohol metílico y el agua.

- Suspensión de partículas sólidas, por ejemplo, microorganismos en un medio de cultivo.
- Disolución de sólido en líquido, por ejemplo, el azúcar y el agua.
- Dispersión de un gas en líquido, por ejemplo, en forma de pequeñas burbujas.
- Mejorar la transferencia de calor, ya sea para calentamiento o enfriamiento.
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases inmiscibles, por ejemplo, la grasa en la leche.

A partir de todas estas funcionalidades, la agitación provee ciertos beneficios que para los laboratorios de microbiología son vitales, como se mencionan a continuación:

En el caso de cultivo de microorganismos, estos se encuentran en un medio líquido apropiado (caldo de cultivo) que favorece su multiplicación. Un sistema de agitación acelera su incremento, debido a que promueve una renovación constante de nutrientes en el medio [14]. La agitación provee a los microorganismos oxígeno disuelto en el agua, y disuelve o destruye los materiales orgánicos que pudieran estar presentes para producir a su vez productos residuales como CO₂, agua, nitratos, sulfatos y fosfatos [15].

Los factores que influyen para una buena agitación son los siguientes: el tiempo en el que se agitará, y la velocidad con que se realizará, ya que ambos favorecen el crecimiento celular y el rompimiento de las células.

Debido a estas razones, es necesario que los laboratorios de microbiología cuenten con un agitador, pues esperar a que estos fenómenos se den de manera natural requeriría de mucho tiempo o en algunos casos no se dan, si no se aplica este movimiento de manera inducida por el equipo.

2.2.2 Temperatura

A medida que el movimiento de las partículas aumente o disminuya, la energía interna (energía cinética) de un sistema termodinámico también lo hará, y esta energía es la que da la sensación de que este más “frío” o “caliente”. Para el caso de laboratorios de

química o de física este factor es útil para estudios de solubilidad al tener la opción de calentar a diferentes niveles de temperatura; así por ejemplo, en el caso de trabajar con sustancias sólidas y que se desee pasar al estado líquido se necesita que se eleve su temperatura, entre otras utilidades.

Este factor es fundamental a la hora de trabajar con microorganismos, debido a que ellos necesitan de manera específica una temperatura óptima para alcanzar su máxima tasa de reproducción, ya que si se sobrepasa puede producir un decaimiento en la velocidad de crecimiento, lo cual llegaría a detener su desarrollo y podría ocasionar hasta la muerte celular. También, existe una temperatura mínima de crecimiento debajo de la cual los microorganismos no se llegan a reproducir, aunque sufren un efecto paulatino de disminución, mediante el cual las células van muriendo a pequeña escala, pero sin llegar a la inactividad celular: sobreviven algunos microorganismos [1].

Una forma de catalogar a los microorganismos es mediante la temperatura óptima para su desarrollo y se clasifican en los siguientes: psicrófilos, mesófilos y termófilos. La tabla 2.1 ilustra esta clasificación. Los microorganismos psicrófilos o también conocidos como criófilos presentan su óptimo crecimiento a bajas temperaturas, entre 10 y 20°C, existen algunos que pueden desarrollarse a -10°C. Los mesófilos alcanzan su tasa de crecimiento mayor a temperaturas intermedias, normalmente entre 20 y 45°C, son estos los que afectan al hombre mejor conocidos como microorganismos patógenos, debido a que la temperatura corporal de los seres humanos es de 37°C aproximadamente. Los termófilos logran su máximo desarrollo a temperaturas altas, entre 45 y 55°C, existen casos en que algunos llegan hasta los 70-90°C [1].

Tabla 2.1 Clasificación de los Microorganismos por la temperatura a la que se desarrollan [16]

Clase de Microorganismo	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Óptima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Psicrófilos	[-5;5]	[12;15]	[15;20]
Mesófilos	[5;15]	[30;45]	[35;47]
Termófilos	[40;45]	[55;75]	[60;90]

2.3 Estado de la Investigación

2.3.1 Agitadores Orbitales en el mercado

A continuación, se detallarán las características, capacidades y precios de algunos de los agitadores que se encuentran en el mercado y se presentarán las características de tres agitadores orbitales de distintas empresas.

Auxilab S.L / Laboratory Supplies-Orbital Shaker 685/1 y 685/2

Ambos modelos poseen una plataforma para poder colocar matraces, tubos de ensayo, vasos precipitados, placas microtiter, bandejas, etc. La plataforma de agitación describe un movimiento circular sobre su propio plano con una excentricidad de 20mm, lo cual genera un suave movimiento en forma de ola de las soluciones agitadas. Estos equipos poseen un control que permite seleccionar la velocidad de agitación entre 30 a 240rpm. El modelo 685/2 posee un temporizador que permite un trabajo continuo o en periodos de máximo 120 minutos. Ninguno de ellos posee control de temperatura. Sus características específicas se muestran en la tabla siguiente [17]:

Tabla 2.2 Especificaciones del agitador “Orbital Shaker 685/1 y 685/2 de la empresa Auxilab S.L / Laboratory Supplies [17]

Modelo	658/1	685/2
Velocidad	30-240 rpm	30-240 rpm
Amplitud de agitación	20mm	20mm
Temporizador	No	0-120 min
Carga máxima admisible	15 Kg	15 Kg
Plataforma de agitación	260x360 mm	260x360 mm
Alimentación	220 V / 50 Hz	220 V / 50 Hz
Dimensiones	260x360x200 mm	260x360x200 mm

Peso	8 Kg	8 Kg
Precio	495 euros	615 euros



Figura 2.7.- Muestra a los agitadores Orbital Shaker 685/1 y 685/2 [17]

Talboys Advanced 3500 Orbital Shaker

Este equipo está diseñado para un amplio rango de aplicaciones, entre los cuales destaca los experimentos con cultivos de células, suspensiones orbitales, estudios de solubilidad, etc. El microprocesador proporciona un control variable de temperatura, mediante el sistema Accu-drive cuya función es el de monitorear y mantener set-point, incluso en los cambios de carga. El temporizador se puede programar para que el movimiento se efectúe en un rango de tiempo entre 1 segundo hasta 160 horas y gracias a una pantalla se puede visualizar la cuenta regresiva a cero o el tiempo transcurrido. Los indicadores LED muestran la velocidad de agitación y el tiempo de manera separada. El rango de velocidad que posee está entre 25 a 500 rpm y presenta un movimiento circular sobre su propio plano con una excentricidad de 19mm. Además, este instrumento puede soportar un peso de 15.88 Kg y tiene un costo de 1605 dólares americanos [18].



Figura 2.8.- Presenta al Orbital Shaker 3500 de la empresa Talboys Advanced [18]

IKA Mixing Shakers-Orbital / KS4000i

Este agitador posee tanto control de la velocidad y de la temperatura a la cual se desea trabajar. Las principales características de este equipo [19] son:

- Amplitud de agitación: 20 mm.
- Max. peso temblor: 20 kg.
- Rango de temperatura: + 5 ° C a 80 ° C.
- Estabilidad de la temperatura: 0,1 ° C.
- Rango de velocidad: 10 - 500 rpm.
- Pantalla de LED para los ajustes de velocidad y el tiempo.
- Controles con recubrimiento antimicrobiano para la reducción de las bacterias.
- PID integrado de control de temperatura.
- Interruptor de temporizador electrónico: 0 - 999 h (establecido por el minuto o por hora).
- Precio: 3730 euros.



Figura 2.9.- Muestra al IKA Mixing Shakers-Orbital / KS4000i [19]

2.3.2 Electrónica a aplicar

Lenguaje Ensamblador:

Conocido, también, como lenguaje de programación de bajo nivel. Un programa en lenguaje ensamblador está conformado por un grupo de instrucciones y cada una de ellas representa una sola instrucción máquina. Las instrucciones de un lenguaje de alto nivel son mucho más complejas y pueden requerir muchas instrucciones de máquina. Además, cada tipo de CPU (Central Processing Unit o Centro de procesamiento unitario) tiene su propio tipo de lenguaje ensamblador, por lo que

trasladar programas entre arquitecturas de computador diferentes es mucho más difícil [20] [4].

Control Sí-No (On-Off)

El control sí-no trabaja como el termostato del hogar; es decir, la salida del control es 100 % sí o 100 % no. La sensibilidad del control sí-no (también llamado “histéresis” o “banda muerta”) se diseña de modo que la salida no cambie de sí a no demasiado rápido. Si el rango de histéresis es muy angosto, habrá una conmutación demasiado rápida que se conoce como traqueteo. Este hace que los contactos de los contactores y elementos calefactores tengan una vida más corta; por ello, la histéresis deberá ajustarse de modo que haya un retardo suficiente entre los modos “sí” y “no”. Debido a la necesidad de esta histéresis habrá siempre lo que se llama “overshoot” y “undershoot”. El “overshoot” es la magnitud en que la temperatura rebasa a la del setpoint, mientras que el “undershoot” es lo contrario. Debido a la histéresis necesaria, esta fluctuación de temperatura estará siempre presente. La magnitud de esta oscilación dependerá de las características del sistema térmico en cuestión [21].

Control de motores DC

Para controlar el motor DC que se empleará en el agitador se ha dispuesto implementar el modulador por ancho de pulso (PWM). Consiste en generar una onda cuadrada con ciclo variable de niveles altos y bajos, modificando el ancho de esta onda en el tiempo desde cero a cien por ciento. Mediante este proceso, se suministra a la carga la potencia que se requiere. La principal desventaja de usar este método es que existe la posibilidad de que exista interferencia por radio frecuencia (RFI) [22].

2.4 Definiciones operativas para la selección de parámetros del agitador PUCP

Tiempo de agitación

Parámetro ingresado al equipo manualmente y cuya duración dependerá del tipo de proceso que se llevará a cabo. En el mercado, los agitadores poseen temporizadores, los cuales varían su escala según el modelo [17] [18] [19].

Velocidad de rotación

Este parámetro se mide en revoluciones por minuto (rpm) y es el régimen de giro o la cantidad de rotaciones completadas cada minuto del motor DC. El movimiento orbital, provocado por el motor, permitirá que las reacciones de los experimentos se lleven a cabo. La velocidad de rotación, ingresado manualmente, varía según el tipo de proceso o ensayo. En el mercado, se encuentran las distintas velocidades que tienen los agitadores [17] [18] [19].

Rango de temperatura

Se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y es de vital importancia en nuestro agitador, ya que algunas reacciones solo se dan a ciertas temperaturas o los microorganismos alcanzan su tasa de reproducción máxima a determinada temperatura. Algunos agitadores en el mercado tienen control de temperatura y su rango varía según el modelo y precio [17] [18] [19].

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivo General

Realizar la implementación de la electrónica de un prototipo de agitador electromecánico con movimiento orbital.

2.5.2 Objetivos Específicos

- Implementar y probar la velocidad de giro del plato del agitador.
- Implementar y probar el funcionamiento del control de la temperatura y mantenimiento.
- Implementar y probar el tiempo de operación.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

El presente capítulo se basa en la revisión al prototipo recibido, el cual servirá de base para la implementación del agitador. Además se toman en cuenta los costos económicos, ya que se opta por ahorrar tanto en materiales como el tiempo que toma la elaboración de las tarjetas electrónicas. Luego del análisis de los componentes del equipo, se pasa a detallar los aportes a efectuar para cumplir con los objetivos planteados.

La figura 3.1 muestra un diagrama de bloques donde se muestran las tarjetas y componentes del agitador.

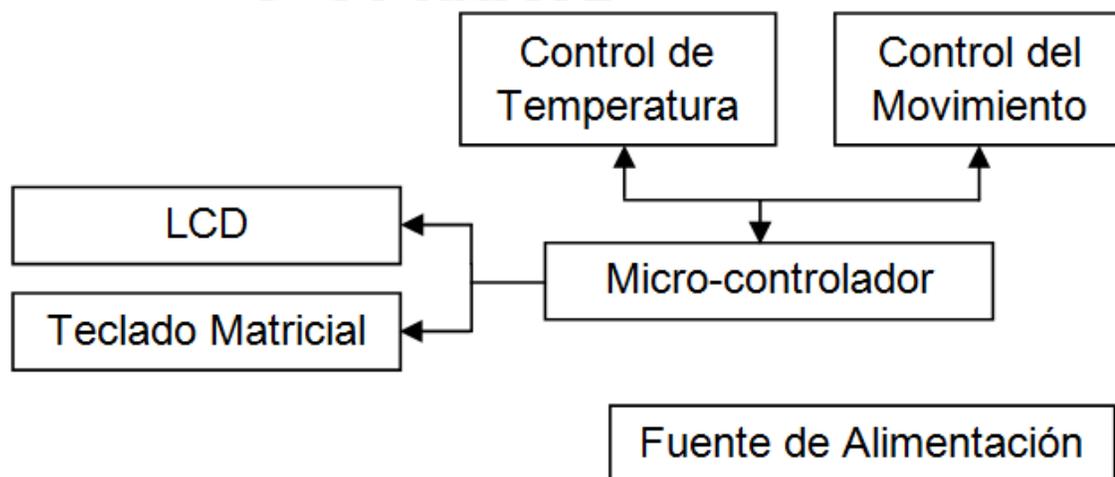


Figura 3.1.- Diagrama de bloques del agitador

3.1 Análisis de las tarjetas existentes

Al recibir el equipo se procedió a realizarle pruebas. En ellas se observaron, que las tarjetas del control del encendido del motor, resistencias calefactoras y pantalla LCD estaban operativas.

Las tarjetas de la etapa del control de temperatura y la alimentación del prototipo mostraron fallas. En el primer caso, las resistencias siempre se mantenían encendidas; mientras que en el segundo caso, algunas tarjetas no recibían el voltaje requerido para su correcto funcionamiento.

3.1.1 Tarjetas del sensado de temperatura

Primero se evaluó el sensor que se encontraba en el prototipo. Era el LM335, además se comparó con otros sensores en el mercado cuyas características son las siguientes:

	MCP9701	LM35	LM335
Rango de operación	-40°C - +125°C	-55°C - +150°C	-40°C - +100°C
Factor de escala	10mV/°C	10mV/°C	10mV/°C
Tipo de respuesta	Lineal	Lineal	Lineal
Precio	\$0.4	\$1.6	\$0.6
Disponibilidad en el Mercado	Si	Si	Si

Tabla 3.1.- Sensores de Temperatura en el Mercado

Se optó por mantener el mismo sensor, pues sus características son compatibles con los objetivos planteados como el rango de temperatura y el error de medición. También, porque se reutilizarían las tarjetas de acondicionamiento, si es que estas se encuentran operativas.

Como en las primeras pruebas la temperatura siempre se elevaba. Debido a que las resistencias calefactoras se mantenían encendidas en todo momento. Se analizaron las tarjetas de acondicionamiento de la temperatura. Por lo que se midió el voltaje a la salida de estas (entradas al micro-controlador) y siempre se obtenía 0V. Además, el voltaje de alimentación era de 7.3V cuando debería de ser 12V, lo cual implicaba que la tarjeta de alimentación presentaba fallas.

Al subsanar este error en ambas tarjetas, se elaboró el circuito esquemático. El cuál sirvió para comprender su diseño y saber cómo opera señal, ver figura 3.2.

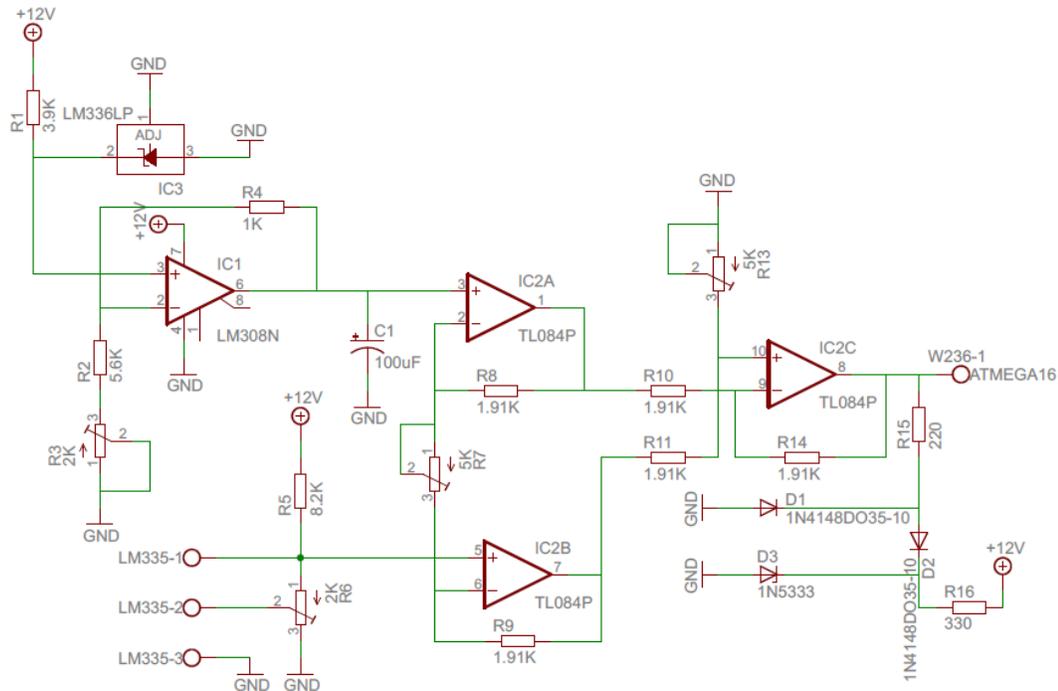


Figura 3.2.- Esquemático de las Tarjetas de Acondicionamiento de Temperatura

El acondicionamiento del sensado de la temperatura consta, básicamente, de dos etapas. La primera, consta de los voltajes de entrada al amplificador de instrumentación que son el voltaje de la salida del sensor LM335 y del voltaje de referencia que es 2.73V, pues cada grado Kelvin es representado por 10mV a la salida del sensor. La segunda etapa, corresponde, propiamente, al amplificador operacional de instrumentación, cuyo voltaje de salida es enviado al micro-controlador y presenta una ganancia, fácilmente, ajustable por intermedio de la resistencia R7.

Para calibrar los sensores de temperatura, primero se colocaron los sensores y la termocupla tipo k modelo 80PK-2A, utilizado como patrón, en una cubeta de hielo con sal, la cual llegó a 1.2°C y se midió en la salida del amplificador 0.76V. Segundo, se colocan en un baño de agua caliente a 65°C, y se midió la salida del amplificador 4.04V. Extrapolando para 0°C, en la salida del amplificador se obtiene 0.7V. Así se obtienen los dos puntos de referencia para su calibración, ver figura 3.4.

Procediendo a la calibración, con 1.2°C, a la salida del amplificador se midió, en un primer momento, 0.76V. Posteriormente, se reguló esta salida hacia el valor deseado

que corresponde a 0.06 Voltios para 1.2°C. Dicha regulación se logró ajustando el potenciómetro R3 destinado a variar el offset en el circuito.

El siguiente paso consistió en el ajuste a 65°C. Al realizar la medición en la salida del circuito acondicionador, se obtuvo 3.34 V; sin embargo, se deseaba que para esta temperatura, el voltaje de salida fuese 5.0 V. Por lo tanto, se ajustó a dicho valor mediante el potenciómetro R7 que corresponde a la ganancia.

A continuación, se presenta un gráfico con los voltajes de la tarjeta de acondicionamiento de temperatura, antes y después de la calibración, ver figura. 3.3.

Cabe resaltar que el valor 4.04 V de la recta antes de la calibración, corresponde al valor medido igual a 3.34V más 0.7V por el offset que afectaba antes de la primera regulación.

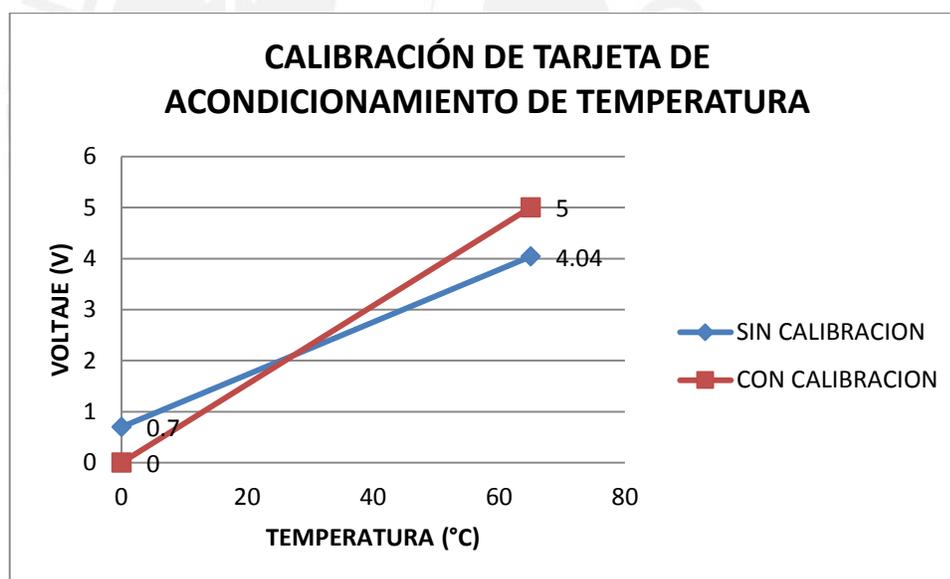


Figura 3.3.- Calibración de las tarjetas de acondicionamiento de temperatura

Posteriormente, se tomaron tres valores aleatorios para comprobar la eficacia de la calibración, la linealidad del sensor y la tarjeta de acondicionamiento. A continuación, en la Tabla 3.2 se presentan los resultados de la verificación.

Tabla 3.2.- Ensayos para la comprobación de la calibración de los sensores

Temperatura medida con termocupla tipo K (°C)	Voltaje según recta de calibración (V)	Voltaje medido en la tarjeta (V)	Error con respecto a la recta de calibración (%)
23	1.77	1.78	0.56
37	2.85	2.87	0.70
5	0.38	0.38	0

Elaboración propia

De la tabla anterior, podemos observar que la recta de calibración es acorde con los voltajes reales medidos, por lo tanto, se puede utilizar dentro del programa del micro-controlador.

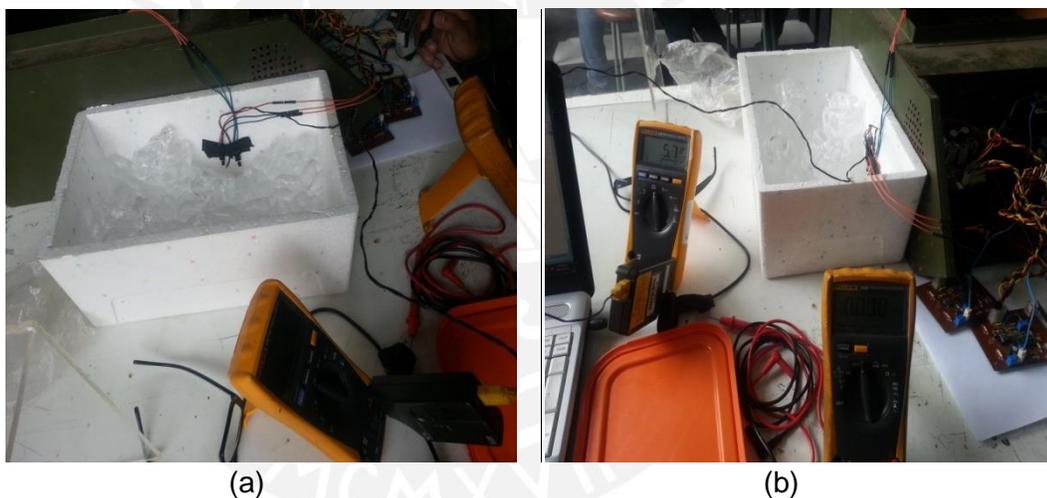


Figura 3.4.- Vista lateral (a) y vista frontal (b) de la calibración de los sensores de temperatura

3.1.2 Tarjetas de las fuentes de alimentación

Para la fuente de alimentación se hace uso de dos transformadores: uno de 220 / 15V y otro de cuatro bobinados de 220V / 23V – 15V – 7V – 7V. La presente etapa está conformada por dos tarjetas.

La primera, es la encargada de suministrar los voltajes a las tarjetas del sensado de temperatura, micro-controlador, encoder y resistencias calefactoras. En esta se detectó

un corto circuito en los terminales del regulador de voltaje 7812, lo cual ocasionó en su salida 7.3V y no los 12V deseados, y generó que las tarjetas que dependían de este voltaje para su alimentación fallaran. Se procedió a reparar la tarjeta y dejarla operativa, ver tabla 3.3 y figura 3.5.

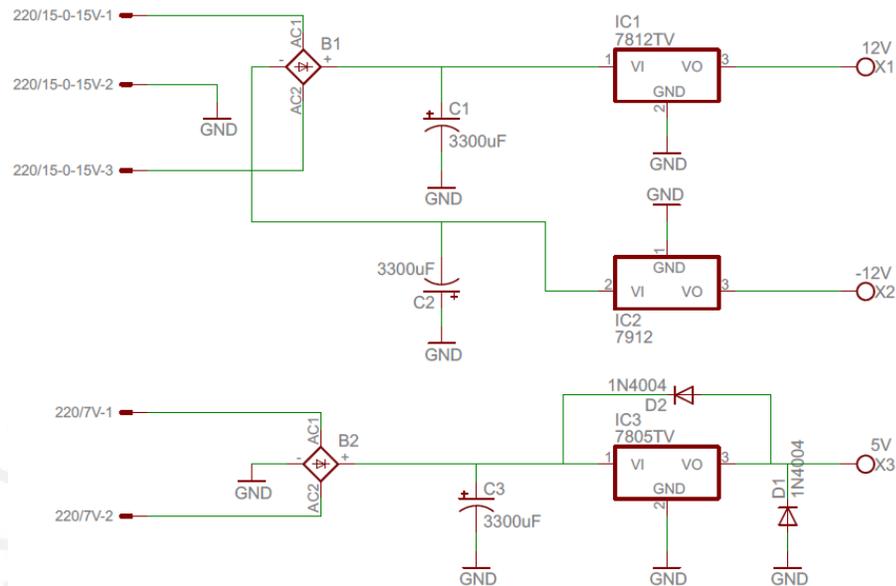


Figura 3.5.- Esquemático de la Fuente 1

Tabla 3.3.- Muestra la cantidad de corriente que suministra la fuente 1

Voltaje (V)	Tarjetas	Corriente (mA)
5	Micro-controlador	181.4
	Encoder	
	Control de las Resistencias Calefactoras	
12	Encoder	59.5
	Control sensado temperatura	
-12	Encoder	28.7
	Control sensado temperatura	

Elaboración propia

La segunda tarjeta se encarga de suministrar la alimentación a las tarjetas de control y potencia para los ventiladores y el motor DC. Al probarla esta no presentó ningún problema, por lo que alimentaba correctamente a las tarjetas que dependían de ella, ver tabla 3.4 y ver figura 3.6.

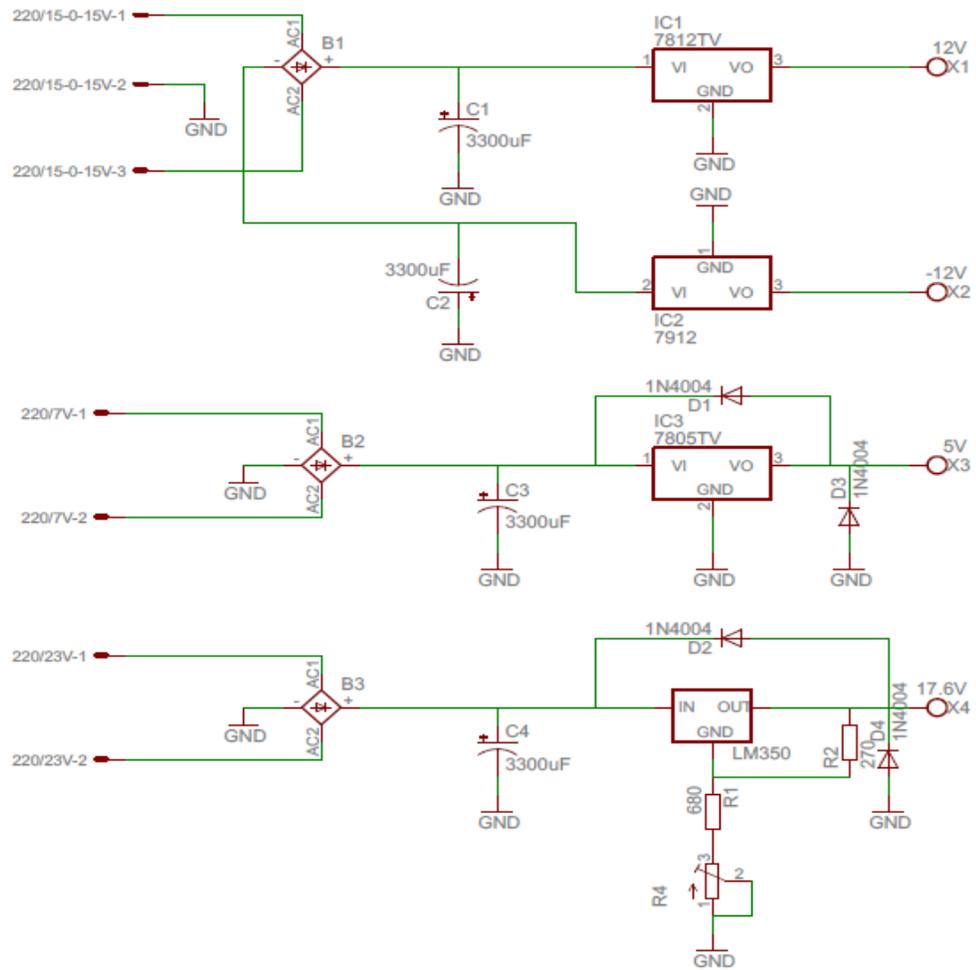


Figura 3.6.- Esquemático de la Fuente 2

Tabla 3.4.- Muestra la cantidad de corriente que suministra la fuente

Voltaje	Tarjeta	Corriente (mA)
5	Control del motor y ventiladores	21.7
12	Control del motor y ventiladores	4.6
-12	Control del motor y ventiladores	39.1
17.6	Control del motor y ventiladores	1255

Elaboración propia

3.1.3 Tarjetas del encoder y de su acondicionamiento

Para poder calcular las revoluciones por minuto del motor se utilizan dos tarjetas (ver figura 3.7). La primera está montada en el motor, consta, básicamente, del encoder (H21A1); a la salida se obtiene 5V cuando se obstruye el paso de la luz en el encoder y 0V al contrario, el paso de la luz será interrumpida por un disco con un agujero que se coloca en el eje del motor. La segunda sección corresponde al acondicionamiento de la señal recibida por la tarjeta del encoder; conformada por un amplificador operacional en modo comparador cuyas entradas son la salida del encoder y 1V (voltaje de referencia). Se da paso a un seguidor (buffer) cuya salida estará conectada al micro-controlador, ver tabla 3.5.

Tabla 3.5.- Voltajes a la entrada y salida del Encoder

Voltaje de entrada (provista del encoder)	Voltaje de salida (entrada al Atmega 16)
5V	0V
0V	5V

Elaboración propia

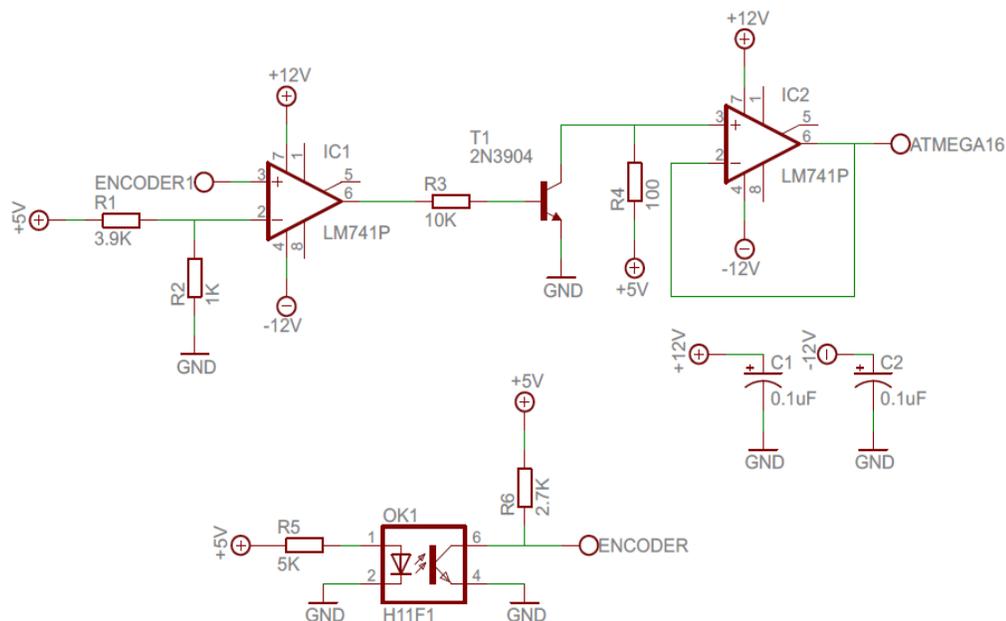


Figura 3.7.- Esquemático de las Tarjetas del Encoder y su acondicionamiento

La primera mejora se da, pues la ranura del fototransistor H21A1 es de 3mm. Al ser tan estrecha, corre el riesgo de chocar con el disco cuando este girando, lo cual provocaría que el disco o el fototransistor sufran daños. Debido a ello, se opta por utilizar un fototransistor que satisfaga esta necesidad y a su vez con las condiciones técnicas de esta etapa. Se elige el fototransistor MOC70T3 cuya ranura es de 6mm y sus características técnicas cumplen con los requerimientos de diseño, ver tabla 3.6.

Tabla 3.6.- Tabla comparativa de foto-transistores

		H21A1	MOC70T3
Entrada (LED)	V_R	6V	6V
	I_F	50mA	60mA
Salida (Transistor)	V_{CEO}	30V	30V
	I_c	20mA	100mA
Temperatura de operación		-55°C – +100°C	-40°C – +100°C

Elaboración propia

Para la etapa de acondicionamiento de la señal proveniente del encoder, se utiliza un transistor 2N3904 y un amplificador operacional LM741, pero estos solo tienen la función de invertir las entradas, por lo que se suprimen dichos elementos (ver figura 3.8). Siendo los nuevos valores de voltaje a la salida (ver tabla 3.7).

Tabla 3.7.- Voltajes a la entrada y salida del Encoder

Voltaje de entrada (provista del encoder)	Voltaje de salida (entrada al Atmega 16)
5V	5V
0V	0V

Elaboración propia

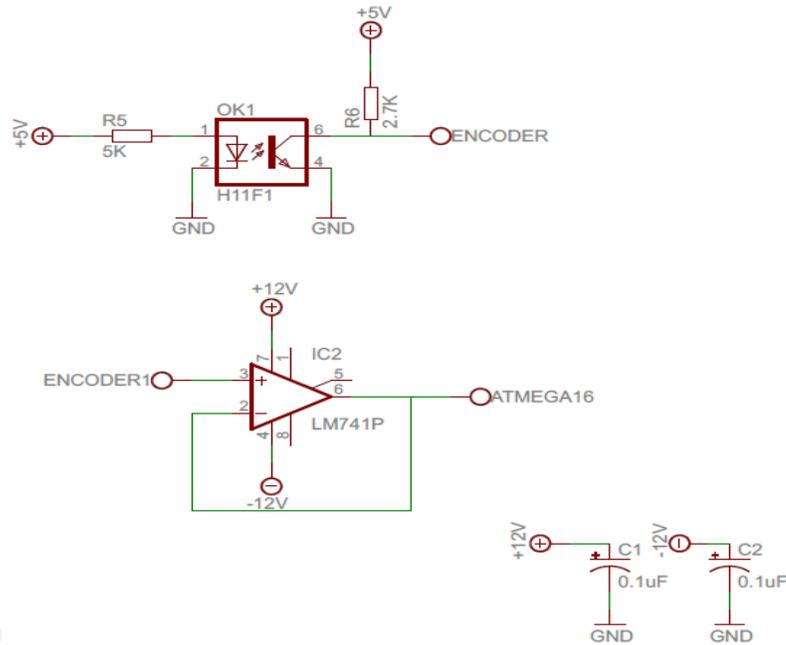


Figura 3.8.- Esquemático de las Nuevas Tarjetas del Encoder y su acondicionamiento

3.1.4 Tarjetas de las resistencias calefactoras

Esta tarjeta (ver figura 3.9) tiene la función de encender o apagar las resistencias calefactoras. Dicha tarea la realiza cuando el micro-controlador envía un nivel alto (5v) o un nivel bajo (0v) respectivamente, lo cual ocasiona que el opto-acoplador (MOC3041) accione el triac (BTA10) y con ello las resistencias calefactoras se enciendan o apaguen.

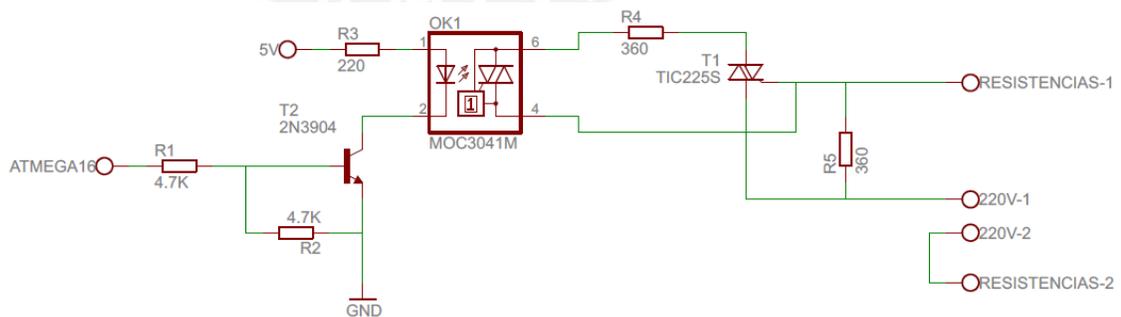


Figura 3.9.- Esquemático del control de las resistencias calefactoras

3.1.5 Tarjetas del control de los ventiladores y motor DC

Se encarga de habilitar y encender los ventiladores y el motor DC en el agitador. El motor es activado cuando el micro-controlador envía un nivel bajo (0V) pasando por el seguidor 74LS244N. Se activa el opto-acoplador 4N33 y llega al puente H (L298), previamente ha pasado por el seguidor TL082, ver figura 3.10.

Los ventiladores se activan bajo lógica positiva provista por el micro-controlador. Esta señal pasa por el seguidor 74LS244N y genera que el driver, conformado por el opto-acoplador 4N33 y el transistor 2N3904, controle el mosfet IRF540 activando y desactivando los ventiladores.

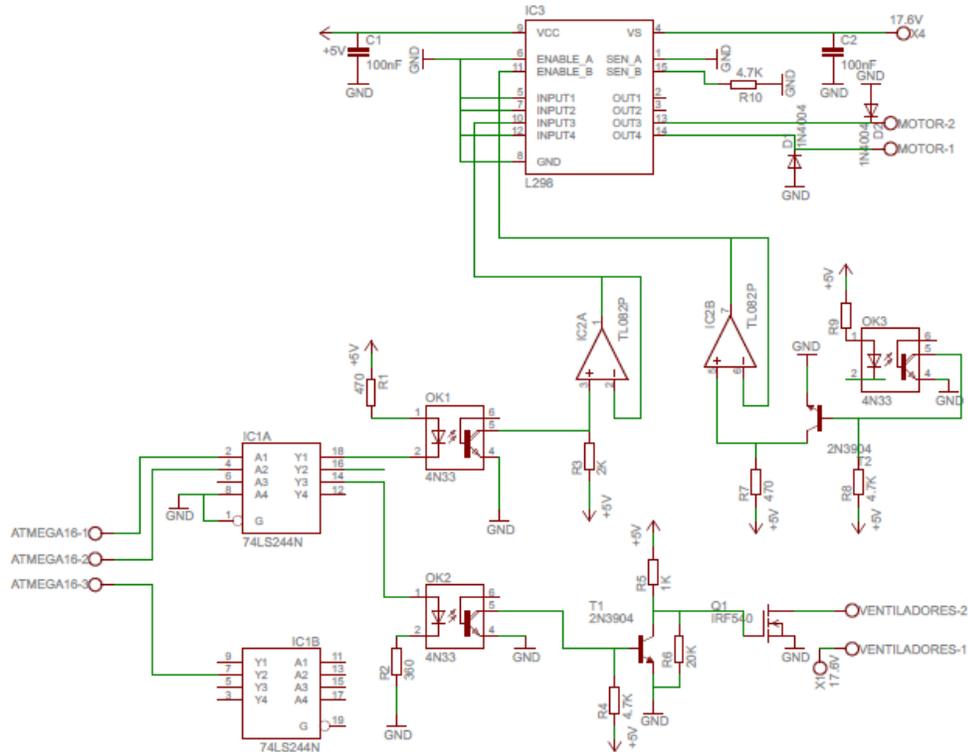


Figura 3.10.- Esquemático del control del motor DC y ventiladores

3.2 Tarjeta del micro-controlador

Al estudiar el funcionamiento de las tarjetas auxiliares y luego de ponerlas operativas; se realizaron pruebas al equipo con el fin de observar nuevos errores. Se notó que la

temperatura no estaba calibrada, no medía la velocidad del plato y los ensayos nunca duraban el tiempo que se les asignaba. Se determinó que era un problema del programa del micro-controlador.

El micro-controlador utilizado en el prototipo era el PIC16877 de la familia Microchip Technology. En este escenario, se tenían dos posibilidades: la primera era extraer el programa del micro-controlador (en formato .HEX), ya que no se disponía de este. Examinando esta posibilidad, se observa que ocuparse del entendimiento de este programa significaría una gran inversión de tiempo para poder desensamblarlo y comprenderlo en el lenguaje ensamblador, pues las etiquetas de las variables asignadas, comentarios y nombres de las subrutinas se pierden al realizar la extracción. El segundo escenario, era elaborar un nuevo programa utilizando el mismo micro-controlador o evaluar el uso de otra familia de micro-controladores. Al estudiar esta posibilidad se puede prever que si bien se debe crear un nuevo programa, lo cual implica invertir más tiempo en la programación, pero no tanto como en la anterior, también es claro que se podrá tener un entendimiento amplio y manejo eficaz de este. Por ello, ante los dos escenarios, se opta por este último y también utilizar un nuevo micro-controlador, ya que en esos momentos no se poseía los conocimientos necesarios para trabajar con la familia de micro-controladores Microchip Technology. Antes de empezar a programar, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para elegir el nuevo micro-controlador:

- Dos o más puertos para la conversión análoga digital.
- Un puerto para la PWM.
- Ocho puertos para el teclado matricial.
- Once puertos para la pantalla LCD.
- Tres puertos para el control de activación del motor, resistencias calefactoras y de los ventiladores.

Esto arroja un mínimo de veinticinco puertos programables, además de otras necesidades como las siguientes:

- Dos temporizadores para cuentas simples y uno que sea configurado en modo de PWM.

- Interrupciones internas y externas.
- Voltaje de alimentación de 5V.

Al examinar todos los requerimientos y buscar en el catálogo de la familia Atmel se eligió el Atmega16 que posee las siguientes características técnicas:

- Treinta y dos puertos programables que pueden ser usados como entrada o salida.
- Cuatro canales para PWM.
- Ocho canales para la conversión analógica digital de 10bits.
- Dos temporizadores / contadores de 8 bits y uno de 16 bits.
- Voltaje de operación: 4.5v - 5.5v.

Cabe señalar que el Atmega16 no solamente cumple con estas características, sino que sus instrucciones para programar en lenguaje ensamblador son muy similares a las del Atmega8 del cual se tiene conocimientos previos, los cuales han sido brindados en un curso anterior [23].

Una vez seleccionado el micro-controlador se diseñó su tarjeta, para ello se determinó qué pines estarían conectados a las tarjetas y los distintos elementos del agitador (ver figura 3.11):

- En el puerto A: los dos primeros pines están destinados para la conversión analógica digital y los tres últimos para el control de la pantalla LCD.
- En el puerto B: todos sus pines son destinados para la transmisión de datos en la pantalla LCD.
- En el puerto C: todos sus pines son asignados para el teclado matricial.
- En el puerto D: el primer pin es destinado para la habilitación del motor, tercero para la recepción de la señal proveniente del encoder, el cuarto para la habilitación de los ventiladores, el quinto para la habilitación de las resistencias calefactoras y el octavo para la PWM.
- Los pines del programador son habilitados para que desde la misma tarjeta se pueda grabar el programa realizado.

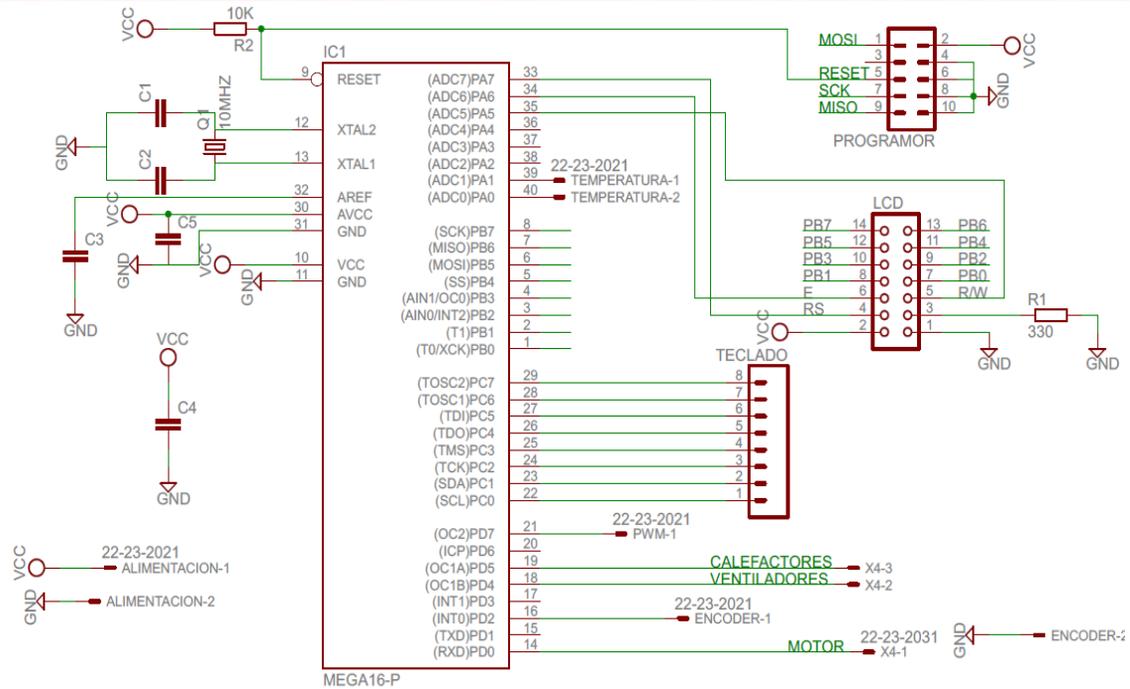


Figura 3.11.- Esquemático de las Tarjeta del Atmega16

3.3 Programación

Al elegir el Atmega16 como nuevo micro-controlador se tuvo que desarrollar un nuevo programa en lenguaje ensamblador.

El primer paso para realizar el programa es el de elaborar el diagrama de flujo, ya que nos indicará la secuencia de las rutinas a seguir. A continuación, se muestra el diagrama de flujo compuesto por tres partes:

- Cuerpo del programa.
- Interrupción por timer 1.
- Medición de la velocidad.

Cuerpo del programa: (Ver figura 3.12)

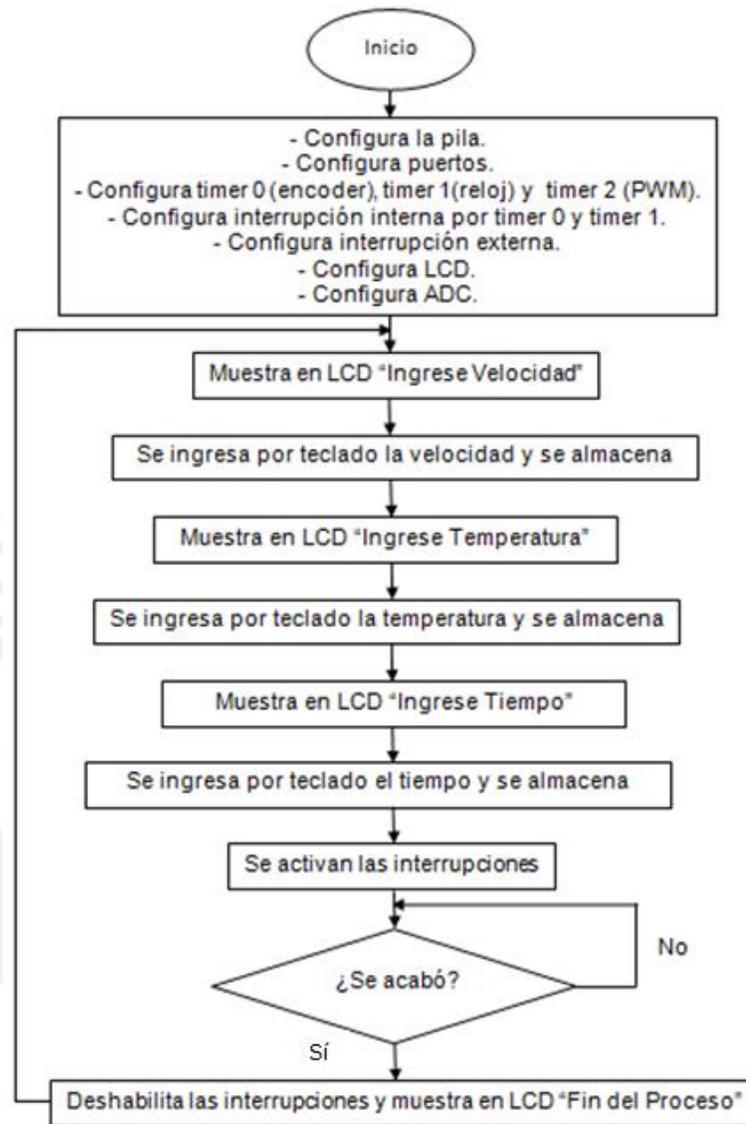


Figura 3.12.- Diagrama de flujo del cuerpo del programa

Esta sección se encarga de configurar los puertos, timer's, ADC, LCD y las interrupciones tanto internas como externas mediante el uso de subrutinas. Luego, se pasa al ingreso y almacenamiento de los parámetros que necesite la experiencia por intermedio del teclado matricial y la pantalla LCD. Después, de saber cuáles son los datos ingresados, se procede a la activación de las interrupciones. Luego, entra en un lazo, esperando que el tiempo culmine para poder mostrar en la pantalla el mensaje

“Fin del proceso” y finalmente el agitador se encuentra listo para un nuevo experimento.

Interrupción por timer 1: Cada segundo (Ver figura 3.13)

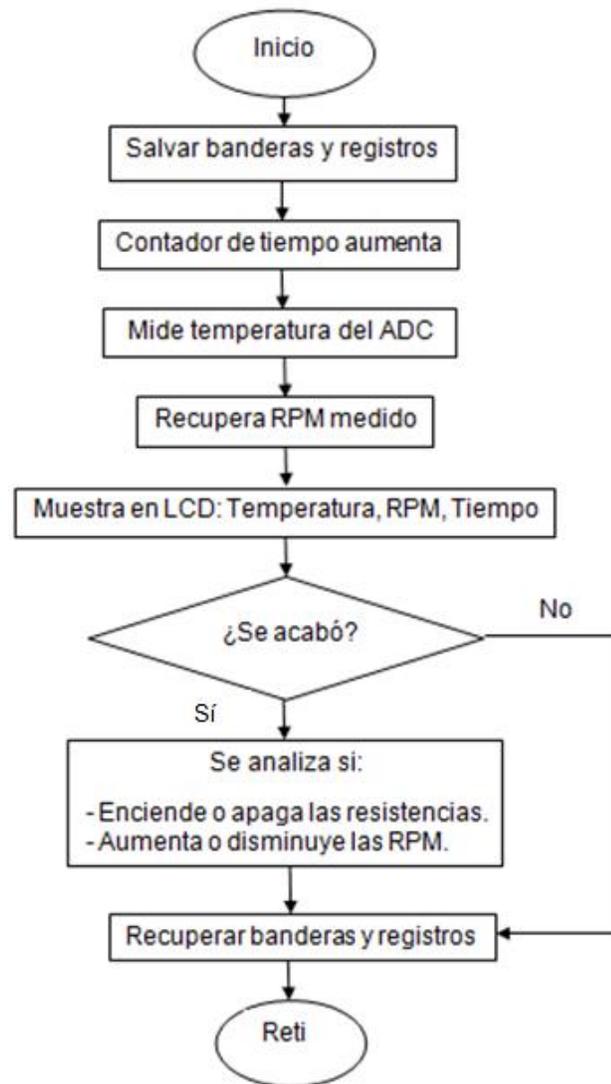


Figura 3.13.- Diagrama de flujo de la interrupción por cada segundo

En todo momento, tanto los dos sensores de temperatura y el encoder se encontrarán midiendo sus respectivos parámetros; por ello, que cada segundo se activará esta interrupción y se tomarán los valores calculados para mostrarlos en la pantalla LCD, cabe mencionar que el tiempo se mide por programa al incrementar en uno cada vez

que se llega a esta interrupción, lo que conllevará a que el proceso siempre finalice en el momento deseado. Y de esa forma se subsana el error que presentaba el prototipo al momento de su recepción.

Es en esta sección en donde se realiza tanto el control de la temperatura como el de la velocidad de giro del motor. En el primer caso, se mantuvo el control ON/OFF que presentaba el equipo desde un comienzo, el cual se lleva a cabo comparando la temperatura actual medida, con la temperatura ingresada, y dependiendo de este cotejo se procede a encender o apagar las resistencias calefactoras.

En el segundo caso, el control de la velocidad de giro se realiza con el valor de la RPM medida por la interrupción externa y con este valor se compara con las RPM ingresadas. Dependiendo de esta constatación, se aumenta o disminuye el tamaño de la onda PWM, lo cual generará que varíe la velocidad de giro del motor DC.

Medición de la velocidad: para la medición de las rpm del motor se hace uso de dos interrupciones.

Interrupción por timer 0: cada 2.4ms (ver figura 3.14)

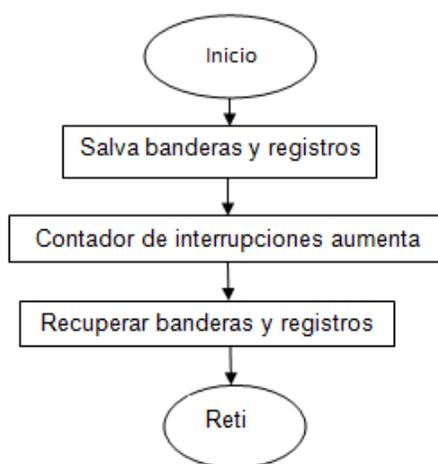


Figura 3.14.- Diagrama de flujo de la interrupción cada 2.4ms

Esta interrupción interna tiene la única tarea de contar cuántos flancos de bajada se generan al pasar el disco con un agujero por el encoder, mediante esta acción se podrá calcular las RPM con la ayuda de la interrupción externa.

Interrupción Externa: (Ver figura 3.15)

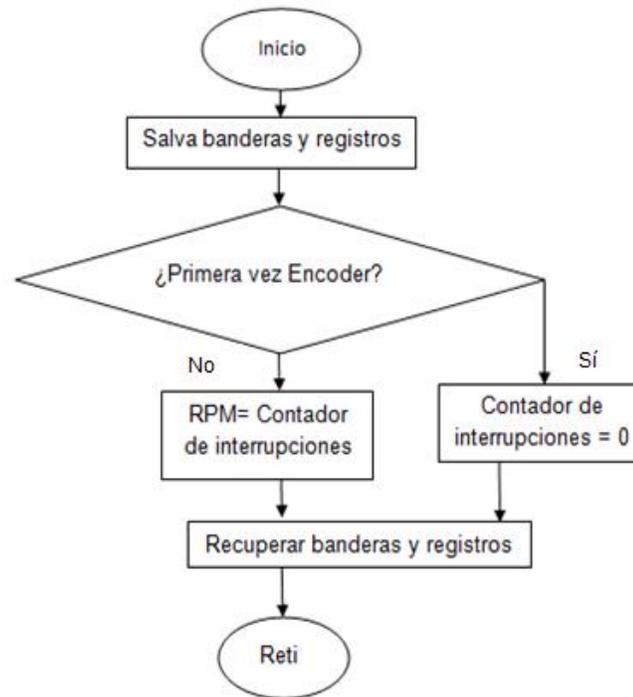


Figura 3.15.- Diagrama de flujo de la interrupción externa

Con esta interrupción se consigue el cálculo de las RPM del motor, al extraer del contador de interrupciones la cantidad de flancos de bajada generados en el encoder. Este valor será guardado en la variable RPM actuales.

Una vez culminado el proceso de la elaboración del diagrama de flujo, se pasó a programar en lenguaje ensamblador, y posteriormente el de simular el programa en el entorno del VMLAB para verificar si el programa cumplía con su diagrama de flujo.

CAPÍTULO 4: ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO

Terminadas las simulaciones, se procede a realizar pruebas al equipo. Estas verificarán si controla la temperatura, velocidad de giro del motor y el tiempo de los ensayos.

Las pruebas constan de tres partes: la primera, solo se verifica que el agitador se apague cuando se cumple con el tiempo ingresado. La segunda comprueba el funcionamiento del control de la velocidad del giro del plato y que el agitador se apague cuando se vence el tiempo seleccionado. Finalmente, la tercera verifica el control de los tres parámetros; es decir, el tiempo, la temperatura y las revoluciones por minuto del motor.

Al final del capítulo se realiza un presupuesto del prototipo, pues se busca que esté al alcance de los laboratorios peruanos y centros de estudios que necesiten de este tipo de equipos.

Antes de realizar las pruebas del control del tiempo, se pasará a mostrar los mensajes en la pantalla LCD, los cuales nos piden el ingreso de la velocidad del giro del motor, temperatura y tiempo. En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran dichos mensajes:

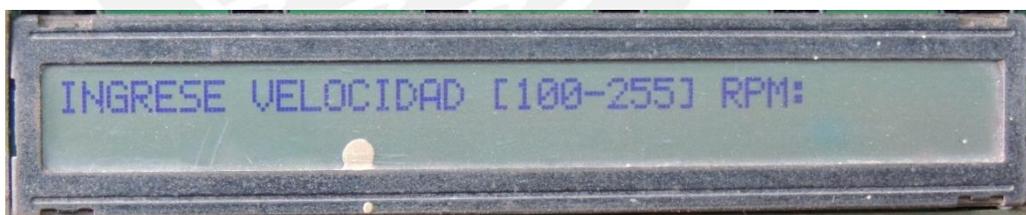


Figura 4.1.- Ingreso de Velocidad del motor



Figura 4.2.- Ingreso de la Temperatura

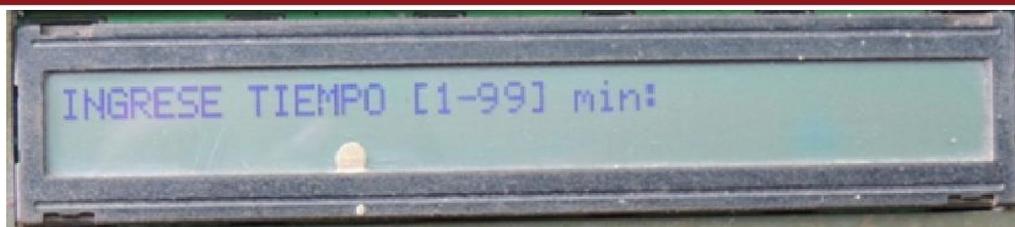


Figura 4.3.- Ingreso del tiempo

Los datos son ingresados por un teclado matricial de 4x4. Siempre que se ingresa un dato se espera la validación de este con el botón “Enter” para poder pasar al siguiente parámetro.

4.1 Pruebas del control del tiempo

Para esta prueba se realizan distintos ensayos asignándoles a cada uno de ellos un tiempo diferente. La finalidad es corroborar que el prototipo se apague cuando este se cumpla, ver tabla 4.1.

Tabla 4.1 Pruebas del control del tiempo

Tiempo deseado (min)	Tiempo en que se apaga el agitador (min)	Tiempo medido por cronómetro (min)
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
9	9	9
11	11	11
15	15	15
18	18	18
20	20	20

Elaboración propia

Se puede observar que cada ensayo tiene la misma duración que el del tiempo deseado. Debido a que es calculado por el Atmega16 mediante interrupciones de un segundo. Lo cual hace que el error en el tiempo de duración sea cero.

4.2 Pruebas del control de la velocidad del motor

Para estos ensayos se utilizó el tacómetro de la marca Shimpco modelo DT-207B y una cinta refractante que se adhiere al eje del motor.

Los ensayos efectuados se llevaron a cabo retirando la tapa del agitador, pues se necesitaba colocar el tacómetro cerca del prototipo, ver figura 4.7.

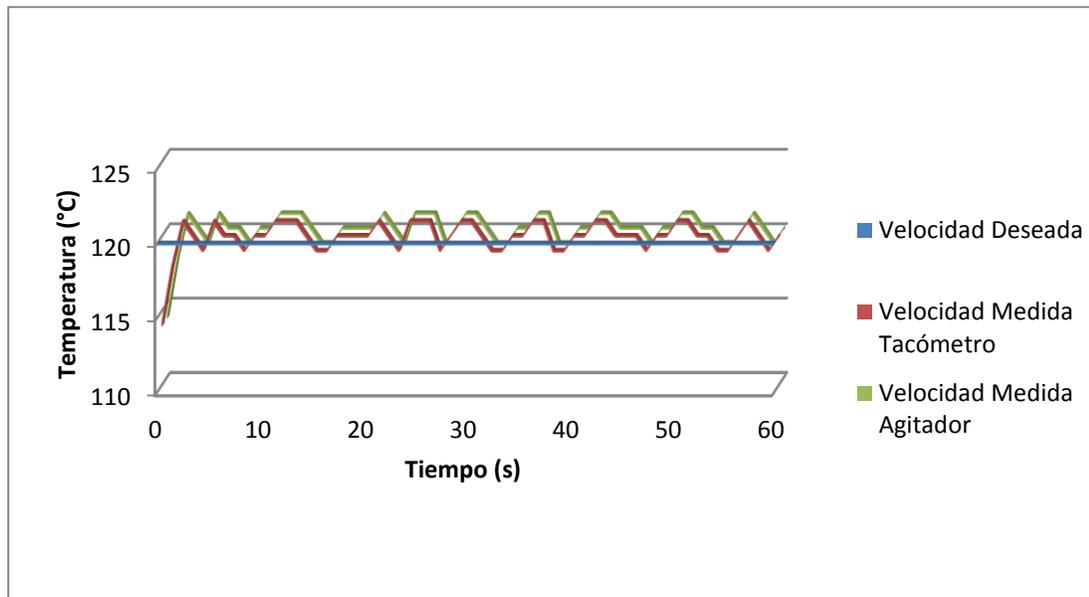


Figura 4.4.- Prueba de velocidad

Los datos mostrados en las tablas 4.2 y 4.3 son calculados a partir del instante en el que la velocidad medida por el agitador alcanza por primera vez la velocidad deseada. Además para poder apreciar mejor las gráficas 4.5 y 4.6 se utiliza el modo 3D.

Ensayo para 1 minuto y 120 Rpm

Figura 4.5.- Ensayo para 1 minuto y 120 Rpm



Elaboración propia

Tabla 4.2 Margen de error en la medición

% Error de medición respecto al tacómetro	Desviación Estándar (RPM)	Velocidad Promedio (RPM)	Velocidad Deseada (RPM)	% Error
0	0.74	120.05	120	0.04

Elaboración propia

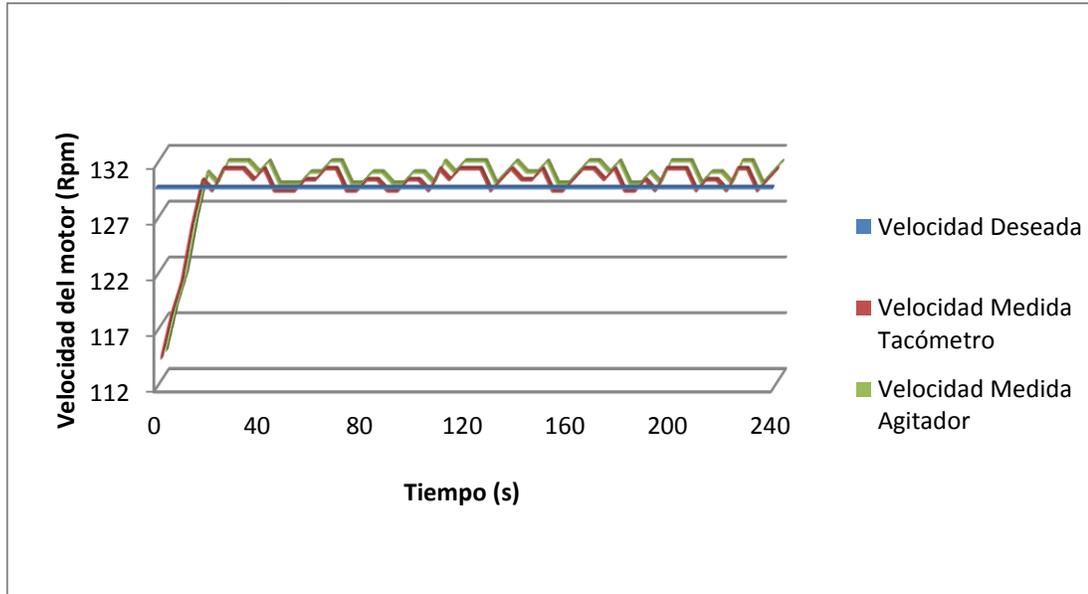
% Error de medición respecto al tacómetro

$$= \frac{(Velocidad Medida Agitador - Velocidad Medida tacómetro)}{Velocidad Medida Tacómetro} \times 100\%$$

$$\% Error = \frac{(Velocidad Medida Agitador - Velocidad Deseada)}{Velocidad Deseada} \times 100\%$$

Ensayo para 4 minutos y 130 Rpm

Figura 4.6.- Ensayo para 4 minutos y 130 Rpm



Elaboración propia

Tabla 4.3 Margen de error en la medición

% Error de medición respecto al tacómetro	Desviación Estándar (RPM)	Velocidad Promedio (RPM)	Velocidad Deseada (RPM)	% Error
0	0.83	130.05	130	0.04

Elaboración propia

4.3 Pruebas del control de la temperatura

Se llevaron a cabo distintos ensayos para comprobar que la temperatura sea la deseada.

Para medir la temperatura en el agitador se hizo uso de los siguientes instrumentos:

- Termocupla tipo k modelo 80PK-2A.
- Módulo Adaptador Fluke 80TK cuya precisión es de (% de lectura $\pm 2^{\circ}\text{C}$)
- Fluke 175 True RMS.

Al sensar la temperatura se toma como punto de referencia la parte central del plato y allí se coloca la termocupla. Se obtendrá la temperatura media, ya que en los extremos se encuentran las resistencias calefactoras, ver figura 4.4.

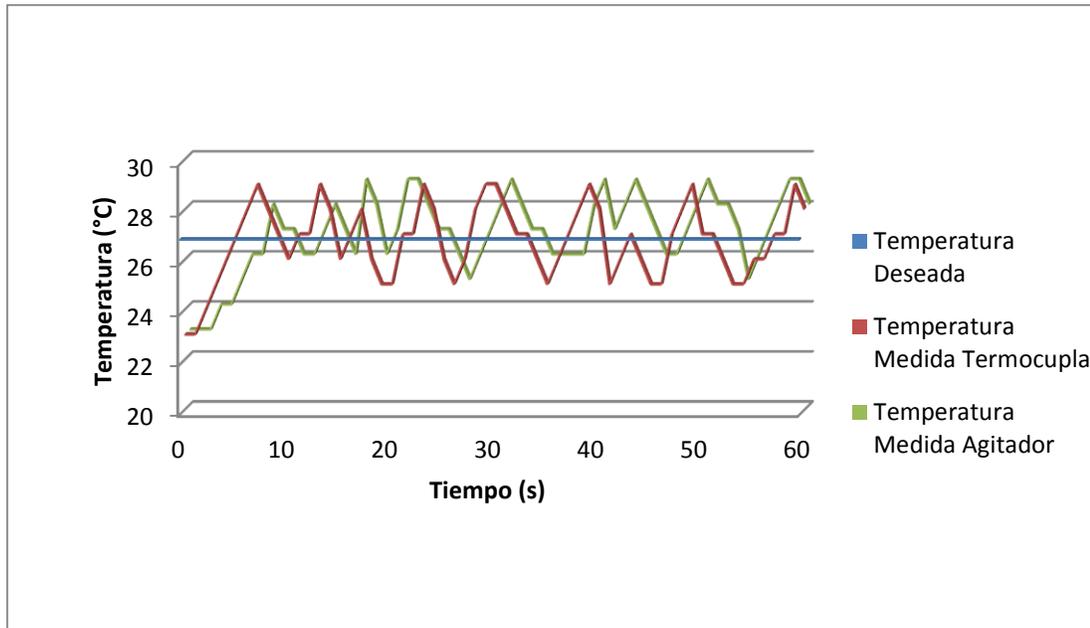


Figura 4.7.- Prueba de temperatura

Los datos mostrados en las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 son calculados a partir del instante en el que la temperatura medida por el agitador alcanza por primera vez la velocidad deseada.

Ensayo para 1 minuto y 27°C

Figura 4.8.- Ensayo para 1 minuto y 27°C



Elaboración propia

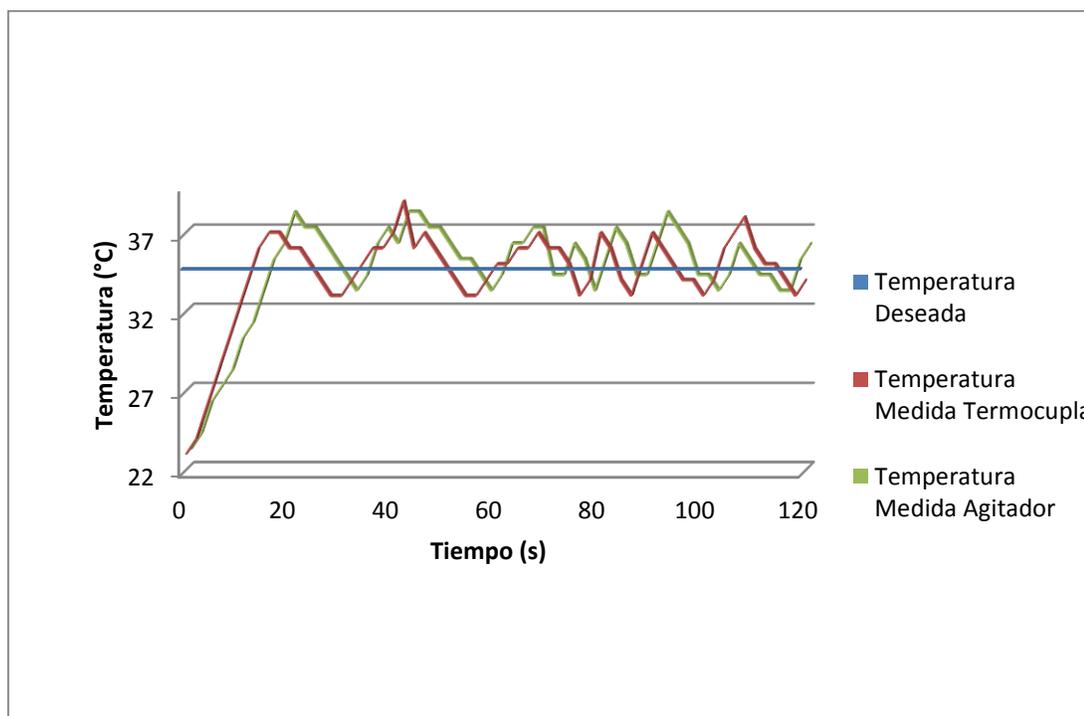
Tabla 4.4 Margen de error en la medición

% Error del agitador respecto a la termocupla	Desviación Estándar sobre las medidas del agitador (°C)	Temperatura Promedio medida por el agitador (°C)	% Error promedio del agitador respecto a la temperatura deseada
4.4	1.17	27.3	3.7

Elaboración propia

Ensayo para 2 minutos y 35°C

Figura 4.9.- Ensayo para 2 minutos y 35°C



Elaboración propia

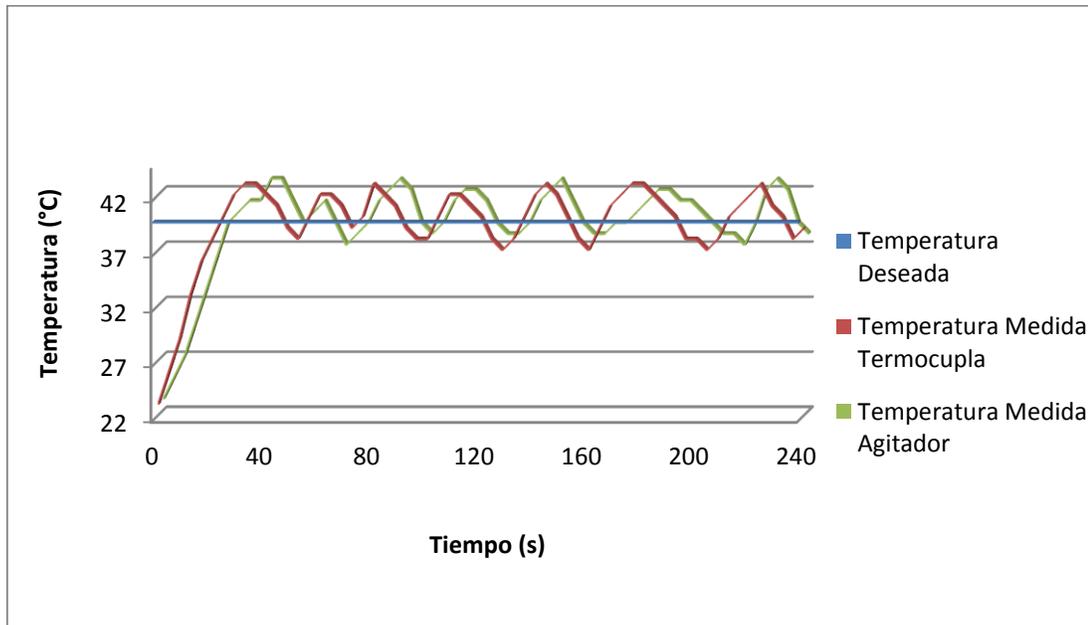
Tabla 4.5 Margen de error en la medición

% Error del agitador respecto a la termocupla	Desviación Estándar (°C)	Temperatura Promedio (°C)	% Error del agitador respecto a la temperatura deseada
3.66	1.49	35.34	3.76

Elaboración propia

Ensayo para 4 minutos y 40°C

Figura 4.10.- Ensayo para 4 minutos y 40°C



Elaboración propia

Tabla 4.6 Margen de error en la medición

% Error del agitador respecto a la termocupla	Desviación Estándar (°C)	Temperatura Promedio (°C)	% Error del agitador respecto a la temperatura deseada
3.87	1.72	40.13	3.59

Elaboración propia

4.4 Costo aproximado para la realización del agitador electro-mecánico

Es de gran utilidad realizar una tabla donde se muestre la inversión realizada, ya que el Grupo de Desarrollo de Equipos para Laboratorios Biológicos (Equi-Lab) busca obtener una herramienta que pueda ser producida y comercializada. Por este motivo, se busca que la producción del agitador sea económica

En la siguiente tabla 4.7 se detalla los gastos incurridos en el equipo para su puesta en funcionamiento.

Tabla 4.7 Costo del equipo

	Precio (Soles)
Materiales	1000
Investigación y Diseño	16400
Fabricación	2200
Total	19600

Elaboración propia

Si bien el costo total resulta 6320 dólares americanos. Esto se debe a que solo una vez se va realizar la inversión por la investigación y el diseño, ya que si se planea construir otro equipo, solo se tendrían que cubrir los gastos de los materiales y de la fabricación. Además, el precio de los materiales y la fabricación que es tercerizada (elaboración de las tarjetas, integración de todos los componentes y pruebas) son calculados en base a los costos del prototipo, pero si se fabricara más de uno, el precio disminuiría. Por ello, obtenemos un equipo económico y funcional con las mismas características que sus similares en el extranjero y cuyos precios oscilan desde los \$2000 hasta los \$10000.

Más adelante, se podría seguir invirtiendo en el equipo para que pueda mejorar en sus capacidades o desempeñar nuevas funciones, para lo cual se necesitaría del aporte de nuevos tesisistas o alumnos de ingeniería electrónica o mecánica.

CONCLUSIONES

- No hay diferencia entre el tiempo de operación y el tiempo deseado, pues este es controlado desde el Atmega16 por interrupciones en cada segundo producidas por el timer 1.
- Para el control de la temperatura, entre el rango [20 – 65] °C, se utiliza el control ON/OFF y mediante la programación se pudo obtener un error respecto a la termocupla menor al 4% y una desviación estándar menor a 1.8. Por ello, se concluye que se alcanza un control de temperatura aceptable.
- En los ensayos del control de la velocidad del plato del agitador y en el rango [100 - 255] rpm, no presentan error con respecto a la velocidad deseada y una desviación estándar menor a 1. Se concluye que el control de velocidad es adecuado.
- Al realizar la inversión total en el equipo, se concluye que se tiene un equipo económico, funcional y con características muy similares a sus pares del extranjero. Si bien en el prototipo se invierte \$6320 y sus similares en el mercado oscilan entre \$2000 y \$10000, este costo inicial descenderá a \$1030, si se considera la inversión en los materiales y mano de obra para su fabricación, lo que demuestra que el equipo, desarrollado en este trabajo de tesis, es económico.

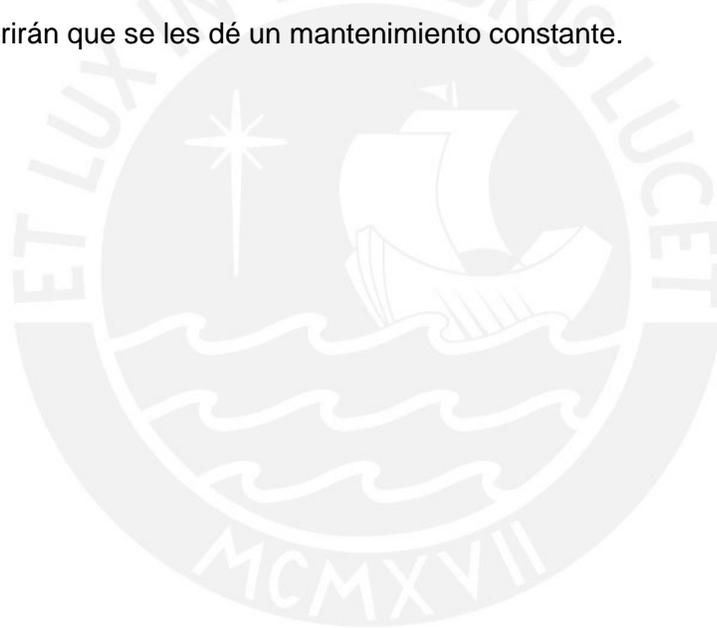
RECOMENDACIONES

Las mejoras efectuadas al prototipo y su puesta en funcionamiento permiten contar con información para futuros trabajos que se realicen con él.

Se sugiere probar con un control PID para reducir aún más el error en la temperatura.

Si bien el chasis está en buenas condiciones es preferible cambiarlo por uno más resistente.

Debido a que el prototipo cuenta con varios años, podrían cambiarse las tarjetas electrónicas que, en la presente tesis, se han reutilizado, ya que si se siguen usando requerirán que se les dé un mantenimiento constante.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARREIRO, José
Aleida, SANDOVAL
2006 *Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas*.
Caracas: Editorial Equinoccio, pág. 47.
- [2] *Laboratory Shakers* (en línea).
Global Spec. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.globalspec.com/learnmore/labware_scientific_instruments/sample_p_reparation_wet_chemical_analysis/laboratory_shakers)
- [3] DONDÉ, Mario
2005 *Transporte de momentum de calor: Teoría y aplicaciones a la ingeniería de proceso*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán, pág. 313.
- [4] BARRETT, Steven
PACK, Daniel
2008 *Atmel AVR Microcontroller Primer*. Texas: Mitchell A. Thornton.
- [5] *Agitación Mecánica* (en línea).
SBS. Consulta: 16 de agosto del 2011
(<http://es.websbs.com/pdf/M001-030.pdf>)
- [6] *Agitadores de Vibración* (en línea).
Labopolis. Consulta: 16 agosto del 2011
(<http://www.labopolis.com/productos-para-laboratorio/Agitadores-de-balanceo>)
- [7] *Aparatos: Agitadores* (en línea)
Anorsa. Consulta: 16 de agosto del 2011
(<http://www.anorsa.com/3036/imagenes/peques/aparatos.pdf>)
- [8] *Rotating Shaker* (en línea)
Human Engineering. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.humansci.co.kr/eng/index.php?var=Good&Good_no=319)
- [9] *Agitador de Movimiento Rodante* (en línea)
Twister Medical. Consulta: 16 de agosto del 2011
(<http://www.twistermedical.com/docs/agitador%20rotatorio.pdf>)
- [10] *Agitador Orbital Marca Vicking Modelo M-23 DIGITAL* (en línea)

- Científica de Schönfeld. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.cientificaschonfeld.com.ar/cienciaeducacion/index.php?option=com_content&task=view&id=162&Itemid=129)
- [11] JAÚREGUI, Juan
Norma, CHÁVEZ
2006 *Glosario de Biotecnología*. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes, pág. 17.
- [12] *Los Agentes Antimicrobianos Inmovilizados* (en línea)
ASTM Standardization News. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA10/e3515_spja10.html)
- [13] McCABEN, Warren
Julian, SMTIH
Perter, HARRIOT
1995 *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw -Hill, pág. 242.
- [14] FRENCH, Eduardo
Teddy, HERBERT
1980 *Métodos de Investigación Fitopatológica*. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, pág. 172.
- [15] NEMEROW, Nelson
Avijit, DASGUPTA
1998 *Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, pág. 164.
- [16] *Factores ambientales que afectan al crecimiento* (en línea)
Microbiología Industrial. Universidad Pública de Navarra.
Consulta: 13 de agosto de 2011
(<http://www.unavarra.es/genmic/micind-2-4.htm>)
- [17] *Laboratory Supplies-Orbital Shaker* (en línea)
Auxilab S.L. Consulta: 16 de agosto del 2011
(<http://www.auxilab.es/documentos/info/castellano/50685xxx.pdf>)
- [18] *3500 Orbital Shaker* (en línea)
Talboys Advanced. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.troemner.com/equip_talboys_shaker_orbital.php)

- [19] KS4000i (en línea)
IKA Mixing Shakers-Orbital. Consulta: 16 de agosto del 2011
(http://www.imlab.be/Imlab_EN/Ika/Mixing/Shakers_Orbital.html)
- [20] CARTER, Paul
2007 *Lenguaje Ensamblador*, pág 12.
- [21] GALETTO, Arnoldo “*Medición de Temperatura. Dispositivos de Control de Temperatura*” (en línea)
Web electrónica. Consulta: 17 de agosto del 2011
(<http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>)
- [22] CARDENAS, Ruben
Orozco, OSORIO
Pérez, CARDONA
Pineda, PALACIO
2009 *Diseño, Análisis y Simulación de un Prototipo de Péndulo Invertido su respectivo Sistema de Control para el Laboratorio de Control de la UAN Sede Manizales*. Norderstedt: Druck und Bindung, pág. 91.
- [23] CUCHO, Zenón
2003 *Laboratorio de sistemas digitales*. Lima: PUCP Facultad de Ciencias e Ingeniería.