

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
TINCIÓN DE 4 MUESTRAS DE ESPUTO EN SIMULTÁNEO**

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

**Freddy Raúl Lazo Cárdenas**

**ASESOR: Mg. Willy Carrera Soria**

**Lima, Julio del 2018**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Raúl y María, por la confianza y apoyo brindado a lo largo de mi continuo aprendizaje y por todo el esfuerzo que hicieron para mantenerme estudiando.

A mi hermana Wendy, por ser mi fiel consejera de vida y motivarme a seguir superándome.

Al Mg. Willy Carrera, por su apoyo incondicional en la culminación de este proyecto.

## RESUMEN

La tuberculosis (TBC) es una enfermedad que posee un gran índice de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, especialmente en países con economías en vías de desarrollo como el Perú. Se estima que un tercio de la población de nuestro país es portadora de esta bacteria.

El método de diagnóstico usado en el presente trabajo es la baciloscopía de una muestra de esputo usando la técnica de tinción de Ziehl Neelsen. Este método requiere de un trabajo agotador por parte de los laboratoristas quienes se exponen a un posible contagio y realizan un diagnóstico con amplia variabilidad los cuales pueden generar diagnósticos errados. Es por ello que surge la preocupación por el desarrollo de equipos automatizados que disminuyan el tiempo de contacto del laboratorista con la muestra y brinden un diagnóstico estandarizado.

Es por tal motivo que la Sección de Electricidad y Electrónica de la Pontificia Universidad Católica del Perú ha desarrollado un sistema de preparación automático de muestras de esputo en simultáneo para el diagnóstico de TBC (PAME) con el objetivo de estandarizar el proceso de tinción. La presente tesis tiene como objetivo realizar el diseño e implementación del equipo, ofreciendo una descripción del funcionamiento de las partes que lo conforman y su funcionamiento en conjunto. Los resultados más importantes por lo tanto serán obtener errores menores a  $2^{\circ}\text{C}$  en las pruebas de calentamiento de muestras y lograr precisiones en los actuadores menores del 5% para el desplazamiento de muestras y del 4% para la dosificación de reactivos.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un sistema automático de tinción de 4 muestras de esputo en simultáneo

Área : Circuitos y Sistemas Electrónicos # 1334

Asesor : Mg. Willy Carrera Soria - Dr. Benjamín Castañeda

Alumno : Freddy Raúl Lazo Cárdenas

Código : 2011.1496

Fecha : 15/11/16



### Descripción y Objetivos

La tuberculosis (TBC) es una infección bacteriana contagiosa causada por la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* la cual es transmitida por medio del aire y afecta principalmente a los pulmones; sin duda, se trata de una de las enfermedades que más ha preocupado a los médicos durante toda la historia. Se conoce que un tercio de la población mundial está infectada por el bacilo de la tuberculosis; sin embargo, debido al estado del sistema inmunológico de cada persona solo una pequeña proporción de los infectados enfermará de tuberculosis. Se estima que un gran porcentaje de la población de nuestro país es portadora de esta enfermedad y la posibilidad de contagio es relativamente alta, principalmente en personas que comparten lugares cerrados como aulas, buses de transporte público, hospitales y bares. Estos altos índices de TBC incentiva a buscar formas más rápidas y sensibles de diagnóstico que permitan detectar la enfermedad en fases iniciales. La PUCP ha desarrollado una tesis denominada Diseño y Desarrollo de un Prototipo Preparador de Siete Muestras Biológicas basado en la Tinción de Ziehl-Neelsen para Baciloscopia, el cual es muy grande, pesado y tiene mucha capacidad para que sea un equipo portátil de diagnóstico de TB.

**Objetivo General:** Diseñar e implementar un sistema automatizado de tinción en simultáneo de 4 muestras de esputo para el diagnóstico de tuberculosis, basado en el método de tinción de Ziehl-Neelsen.

### Objetivo Específico

- Colaborar con el diseño de la estructura mecánica del prototipo funcional.
- Diseñar e implementar el hardware electrónico.
- Diseñar e implementar el software.
- Automatizar el calentamiento de muestra de esputo con un error menor a 2°C.
- Lograr una precisión de  $\pm 4\%$  en el desplazamiento de muestras de esputo.
- Lograr una precisión de  $\pm 5\%$  en la dosificación de reactivos y evitar pérdidas por goteo.



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un sistema automático de tinción de 4 muestras de esputo en simultáneo

### Índice

Introducción

1. Estudio Bacteriológico: Baciloscopía
2. Problemática de las máquinas de tinción
3. Descripción y diseño a nivel del equipo
4. Ensayos en el equipo

Conclusiones

Recomendaciones

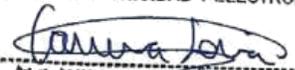
Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

  
Ing. WILLY CARRERA SORIA  
PROFESOR ASOCIADO

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
---------------------------	---

### **CAPÍTULO 1: ESTUDIO BACTERIOLÓGICO: BACILOSCOPIA**

1.1 Introducción.....	2
1.2 Bacteriología y baciloscopia: definiciones generales.....	2
1.3 Baciloscopia de la tuberculosis (TBC).....	3
1.4 Formas de tuberculosis.....	8
1.5 Coinfección Tuberculosis / VIH-SIDA.....	9
1.6 TBC en Perú.....	10
1.7 La Tuberculosis como enfermedad ocupacional.....	10

### **CAPÍTULO 2: PROBLEMÁTICA EN LAS MÁQUINAS DE TINCIÓN**

2.1 Introducción.....	13
2.2 Equipos automatizados que cubren parcial o totalmente con el diagnóstico.....	13
2.3 Problemas en la realización del método de tinción.....	15
2.4 Análisis del funcionamiento del Preparador Automático de Muestras de Esputo de la PUCP .....	15
2.5 Declaración del Marco Problemático .....	17
2.6 Objetivos.....	18

### **CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN Y DISEÑO A NIVEL DEL EQUIPO**

3.1 Introducción.....	19
3.2 Alcance.....	19
3.3 Descripción general del equipo .....	19
3.4 Diagrama de bloques .....	20
3.5 Estructura Mecánica.....	21
3.6 Hardware.....	25
3.7 Software.....	51
3.8 Costo del prototipo funcional.....	65

## **CAPÍTULO 4: ENSAYOS EN EL EQUIPO**

4.1 Introducción.....	66
4.2 Ensayos de los circuitos electrónicos y resultados .....	67
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS (Ver CD adjunto)</b>	



## INTRODUCCIÓN

La tuberculosis (TBC) es una infección bacteriana que se contagia por el aire, es la segunda causa mundial de mortalidad y morbilidad después del sida, afecta principalmente a los pulmones. Se conoce que un tercio de la población mundial está infectada por el bacilo de la tuberculosis; sin embargo, debido al estado del sistema inmunológico de cada persona solo una pequeña proporción de los infectados enfermará de tuberculosis. Estos altos índices de TBC incentivan a buscar formas más rápidas y sensibles de diagnóstico que permitan detectar la enfermedad en fases iniciales.

Actualmente la baciloscopía, es la principal técnica en toda investigación bacteriológica de la tuberculosis debido a que es recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Instituto Nacional de Salud (INS). Este método consiste en una prueba donde se toma una muestra de esputo para ver qué bacteria se encuentra presente y poder brindar un diagnóstico. La Organización Mundial de la Salud recomienda que en los países con economías en vías de desarrollo el diagnóstico de la tuberculosis se base en la tinción de Ziehl Neelsen, por ser más eficaz, requerir de menor tiempo y ser económica. Sin embargo esta técnica debe ser realizada de manera manual por personal médico, quienes además de exponerse a un posible contagio introducen un diagnóstico no estandarizado. Es en medio de este problema que surge la necesidad de contar con un equipo portátil que permita de manera automática realizar la tinción de muestras de esputo en simultáneo. Se determinó que el número de muestras en simultáneo por proceso de tinción sea de cuatro debido a la frecuencia de muestras por hora que se atiende en un hospital regional promedio.

La presente tesis se divide en cuatro capítulos. En el primero se da una vista panorámica sobre conceptos relacionados a bacteriología y baciloscopía. En el segundo se muestra la problemática de las máquinas de tinción existentes y se presenta los objetivos de la tesis. En el tercero se realiza descripción, diseño y elección de componentes del prototipo funcional, además se muestra el software utilizado y se calcula el costo del equipo. En el cuarto capítulo se realizarán los ensayos en el equipo y se mostrarán los resultados obtenidos para comprobar si se cumplieron con los objetivos propuestos.

# CAPITULO 1

## Estudio Bacteriológico: Baciloscopia

### 1.1 Introducción

Este primer capítulo pretende dar a conocer aspectos importantes de la bacteriología, específicamente al análisis de la baciloscopia. Por tal motivo, se dará a conocer (expondrá) ambas definiciones así como los tipos de bacterias, el método de tinción de Ziehl Neelsen, co-infección VIH-TBC, por último se dará una mirada al estado de la TBC en el Perú.

### 1.2 Bacteriología y baciloscopia: definiciones generales

La bacteriología es una rama de la microbiología encargada del estudio de las bacterias, las cuales son microorganismos unicelulares que mantienen los procesos fisiológicos y genéticos básicos de los otros tipos de vida y pueden vivir como organismos independientes. La bacteriología cumple un rol muy importante en prevención o cura de enfermedades ya que nos provee de conocimientos microbiológicos avanzados que nos permiten saber el comportamiento del microorganismo <sup>[1]</sup>.

Para clasificar a las bacterias existen diferentes formas; tales como, fenotípica, analítica y genotípica. El principal criterio de diferenciación de bacterias es de acuerdo a la forma de células, dentro de este criterio se encuentran los bacilos, bacterias con formas de barras, los cocos, bacterias con forma de esferas y los espirilos, bacterias con formas espirales <sup>[1]</sup>. De esta clasificación nos vamos a enfocar en los bacilos, que son bacterias en forma de bastoncillo o filamento más o menos largo, recto o encorvado según las especies <sup>[2]</sup>.

Una herramienta fundamental para el diagnóstico bacteriológico es la baciloscopia ya que es simple, económica y eficiente para detectar los casos infecciosos por ende es la técnica de elección para el diagnóstico rápido <sup>[3]</sup>. Esta técnica consiste en la búsqueda minuciosa de bacilos en la muestra obtenida del organismo mediante un estudio microscópico. La lectura de la baciloscopia debe ser hecha de manera sistemática, leyendo de izquierda a derecha el extendido <sup>[4]</sup>. En una baciloscopia, existen diferentes tipos de muestras para analizar, siendo las más comunes: sangre y esputo. Además de

la *Mycobacterium tuberculosis*, bacteria causante de la enfermedad de tuberculosis, existen diferentes tipos de bacterias, en su mayoría bacilos, los cuales producen algún tipo de enfermedad. Dada la gran cantidad de los mismos, en la tabla 1.2.1 se muestran algunos casos:

Tabla 1.2.1: Tipos de bacterias, muestra clínica y enfermedad que produce

Bacteria	Enfermedad	Muestra Clínica
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> (bacilo de Koch)	Tuberculosis	Espuito
<i>Corynebacterium diphtheriae</i> (bacilo de Klebs-Löffler)	Difteria	Exudado faríngeo
<i>Escherichia coli</i>	Diarrea	Heces Fecales
<i>Mycobacterium leprae</i>	Lepra	Dermis
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Bronconeumonía	Lavado Bronquial
<i>Bacillus anthracis</i>	Ántrax	Espuito
<i>Salmonella typhi</i> (bacilo de Eberth)	Salmonella	Heces fecales

Fuente: Elaboración personal basado principalmente en <sup>[4]</sup>

### 1.3 Baciloscopía de la tuberculosis (TBC)

Para diagnosticar la TBC existen diferentes técnicas, los cuales se muestran en la tabla 1.3.1:

Tabla 1.3.1: Técnicas de diagnóstico de Tuberculosis

CONVENCIONALES	NUEVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ziehl Neelsen (ZN)</li> <li>➤ Prueba de la tuberculina (PPD)</li> <li>➤ Ensayo de liberación de interferón gamma (IGRA)</li> <li>➤ Cultivo de Lowestein Jensen</li> <li>➤ Estudio histopatológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Xpert MTB/Rif®</li> <li>➤ Tinción fluorescente (AR)</li> <li>➤ Prueba de reacción en cadena de la polimerasa (TB-PCR)</li> <li>➤ Serológicas, ADA</li> <li>➤ Cultivos líquido</li> </ul>

Fuente: Elaboración personal basado principalmente en <sup>[11]</sup>

De estas técnicas, una de las más utilizadas para la baciloscopía de TBC es la de Ziehl Neelsen, por ser efectiva, simple, económica y relativamente rápida; además de ser la recomendada por la OMS en los países con economías en vías de desarrollo como el Perú. La tinción se basa en colocar carbol-fucsina y calentar la preparación ligeramente para solubilizar las ceras, lípidos y otros ácidos grasos de la pared celular para que

permita el paso libre del colorante, el cual tiene una enorme afinidad por los ácidos micólicos presentes en la pared. Al enfriar con agua, los componentes de la pared vuelven a solidificar, resistiendo la acción abrasiva del alcohol-ácido, después se cubre la muestra con azul de metileno para lograr contra tinción. Esto permite identificar los bacilos que se verán como bastoncillos de color fucsia sobre una coloración de fondo de color azul pálido <sup>[5]</sup>.

Para realizar la tinción de Ziehl Neelsen, se necesitan seguir los siguientes pasos:

## COLORACIÓN

1. Cubrir totalmente la superficie del extendido con fucsina básica fenicada recién filtrada. Dispensar el colorante con suavidad, sin salpicar y sin tocar con el gotero o con el embudo los extendidos <sup>[3]</sup> (Ver Figura 1.3.1).



Figura 1.3.1 Coloración con Fucsina <sup>[6]</sup>

2. Con la llama de un hisopo embebido en alcohol calentar suavemente por debajo de los extendidos, con movimientos de vaivén, hasta que observe que se desprenden los primeros vapores blancos. No calentar con mechero. En caso de derrame del colorante reponer la fucsina, no dejar secar el preparado. En el término de aproximadamente cinco minutos calentar tres veces hasta emisión de vapores; esto es suficiente para que la fucsina penetre adecuadamente en el bacilo y se fije a sus lípidos. No hervir la fucsina porque la pared de los bacilos puede destruirse y colorearse mal <sup>[3]</sup> (Ver Figura 1.3.2).

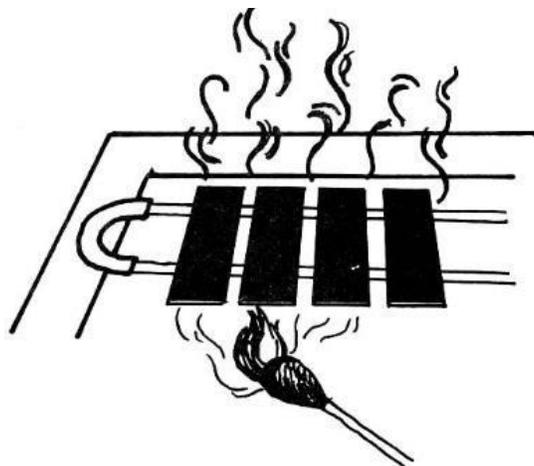


Figura 1.3.2 Calentamiento <sup>[6]</sup>

3. Enjuagar con abundante agua a baja presión, con un frasco o un grifo. Lavar muy suave y cuidadosamente la superficie eliminando totalmente la solución de fucsina. Girar el extendido y lavar con cuidado también la parte posterior. Inclinar el portaobjetos para eliminar el exceso de agua y así evitar diluir los reactivos que se utilizarán a continuación <sup>[3]</sup> (Ver Figura 1.3.3).

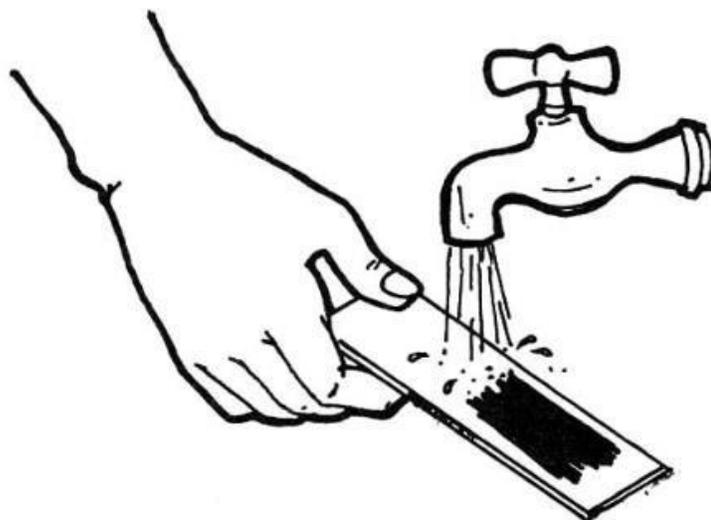


Figura 1.3.3 Primer Lavado <sup>[6]</sup>

## DECOLORACIÓN

4. Cubrir la totalidad del extendido con solución decolorante y dejar actuar aproximadamente 3 minutos (Ver Figura 1.3.4). Enjuagar con abundante agua a baja presión. Verificar que el extendido se ha decolorado (las partes más gruesas del extendido a lo sumo conservan un leve tinte rosado). Si se observan cúmulos rojos o coloración rosada intensa, volver a cubrir con solución decolorante, dejarla actuar entre uno y tres minutos y enjuagar nuevamente. Eliminar el exceso de agua inclinando el portaobjetos <sup>[3]</sup> (Ver Figura 1.3.5).

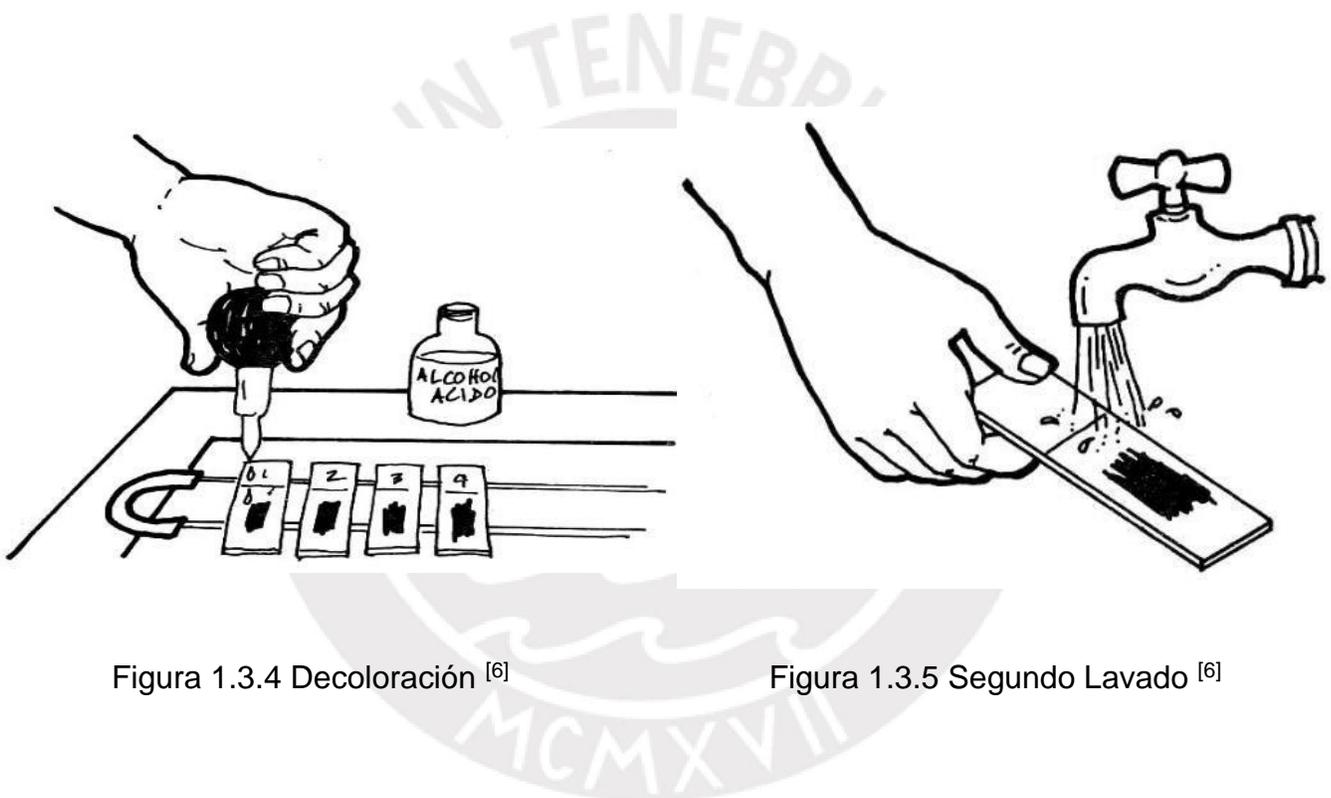


Figura 1.3.4 Decoloración <sup>[6]</sup>

Figura 1.3.5 Segundo Lavado <sup>[6]</sup>

## COLORACIÓN DE FONDO

5. Cubrir todo el extendido con solución de azul de metileno previamente filtrado. Dejar actuar durante un minuto <sup>[3]</sup> (Ver Figura 1.3.6).

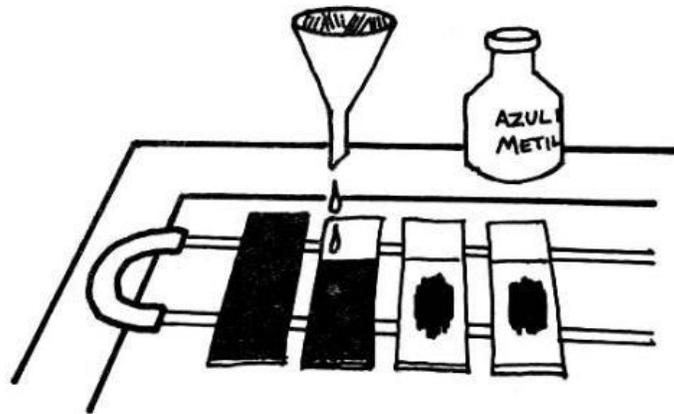


Figura 1.3.6 Decoloración [6]

6. Enjuagar las láminas en ambas cara con agua a baja presión y limpiar la parte inferior con un algodón si ha quedado coloreada [3] (Ver Figura 1.3.7).

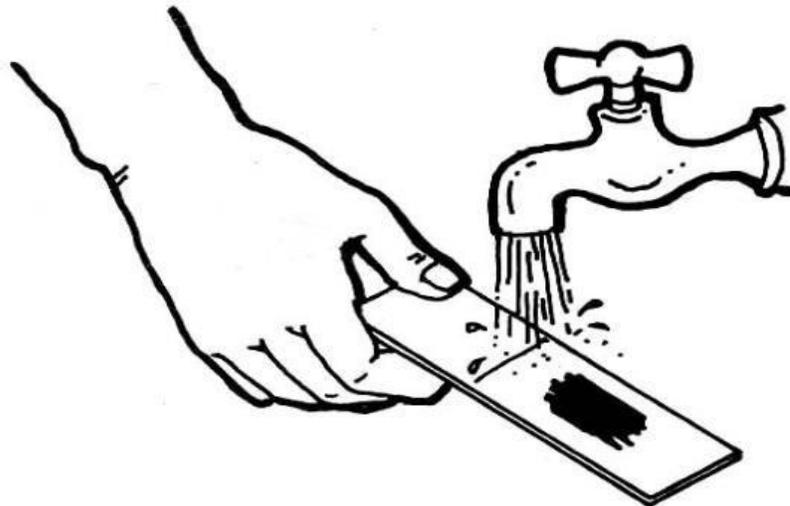


Figura 1.3.7 Tercer Lavado [6]

7. Dejar secar las láminas a temperatura de ambiente apoyándolas en posición vertical en un soporte sobre un papel absorbente. No apoyar papel absorbente sobre el extendido [3] (Ver Figura 1.3.8).

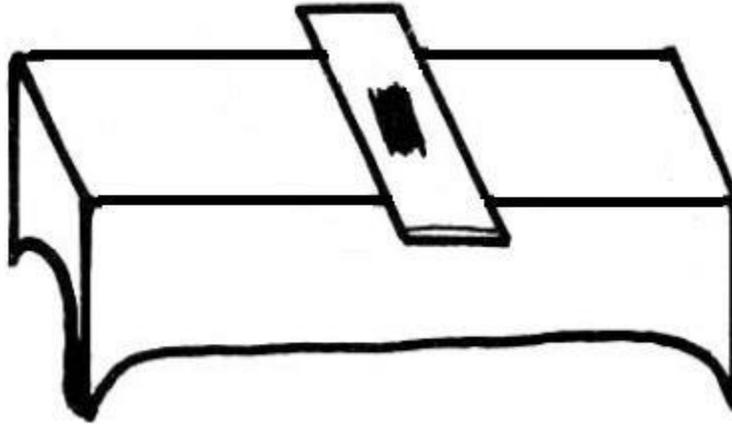


Figura 1.3.8 Secado de la muestra [6]

#### 1.4 Formas de tuberculosis

Existen dos formas de tuberculosis:

□ La infección de tuberculosis latente

Se da cuando las bacterias de la tuberculosis pueden vivir en el cuerpo de una persona sin que ella se enferme, presente síntomas o pueda transmitir las bacterias de la tuberculosis a otras personas [7].

□ La enfermedad de tuberculosis

Se da cuando las personas con la enfermedad de tuberculosis pueden contagiar las bacterias a los demás, sentirse enfermas y tener síntomas como fiebre, sudores nocturnos, tos con sangre o esputo, pérdida de peso, fatiga y dolor en el pecho [7].

En el mundo hay 2000 millones de personas con infección latente por el bacilo de la tuberculosis (TB). En condiciones normales, sólo un 10% de ellas, aproximadamente, acaban padeciendo TB activa a lo largo de su vida, la mayoría en los dos años siguientes a la infección [8].

## 1.5 Coinfección Tuberculosis / VIH-SIDA

La tuberculosis es una de las principales causas de muerte en personas infectadas por VIH y la infección por VIH es la principal causa de muerte en personas con TB [9].

La infección por VIH es actualmente el factor que genera mayor riesgo de padecer tuberculosis. Mientras que en la población general infectada con el bacilo de Koch el riesgo de desarrollar TB activa es de 5% en los primeros 2 años y luego menor al 5% el resto de la vida, en las personas con infección por VIH ese riesgo es de 3% a 13% por año, aumentando a más del 30% para el resto de la vida [10] (Ver Figura 1.5.1).

Muchas personas infectadas por el VIH en los países en desarrollo presentan TB como primera manifestación del SIDA. Las dos enfermedades constituyen una combinación mortal, dado que juntas tienen consecuencias mucho más graves que cualquiera de ellas por separado [8].

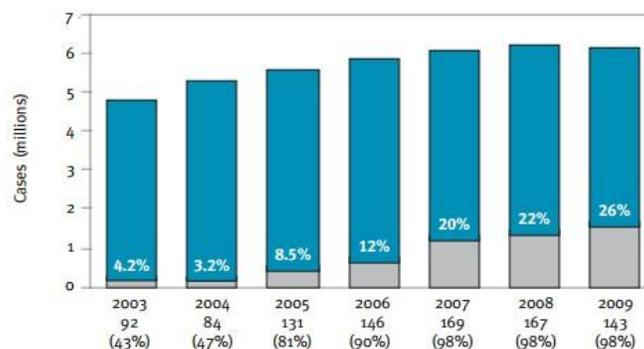


Figura 1.5.1: Coinfección TBC – VIH [12]

El número de nuevos casos notificados está mostrado en azul and el número de casos de los cuales la prueba de VIH fue positiva en el registro de pacientes con tuberculosis esta mostrado en gris. Los números debajo de cada año representan el número de países en los que se están haciendo exámenes de VIH seguido del porcentaje estimado de casos positivos [12].

## 1.6 TBC en Perú

Las cifras de tuberculosis en el Perú no disminuyen de manera deseada pese a los múltiples esfuerzos realizados por el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) que redujeron la tasa de mortalidad de 105.2 a 101.3 casos por cada 100 mil habitantes<sup>[13]</sup>. Perú se encuentra en el quinto lugar en incidencia de TB en América, luego de Haití, Surinám, Bolivia y Guyana <sup>[14]</sup>.

Lima y Callao presentan el 54% de casos de TB, 82% de TB Multi-Drogo Resistente (MDR) y 89% de TB Extremadamente Drogo Resistente (XDR) <sup>[14]</sup> (Ver Figura 1.6.1).

Según la estadística del Ministerio de Salud en la capital la mayor cantidad de casos de TB se concentra en los distritos de San Juan de Lurigancho, precisamente el que alberga la mayor cantidad de población de Lima. Le siguen en la estadística El Agustino, Santa Anita, Ate Vitarte y el Rímac <sup>[13]</sup>.

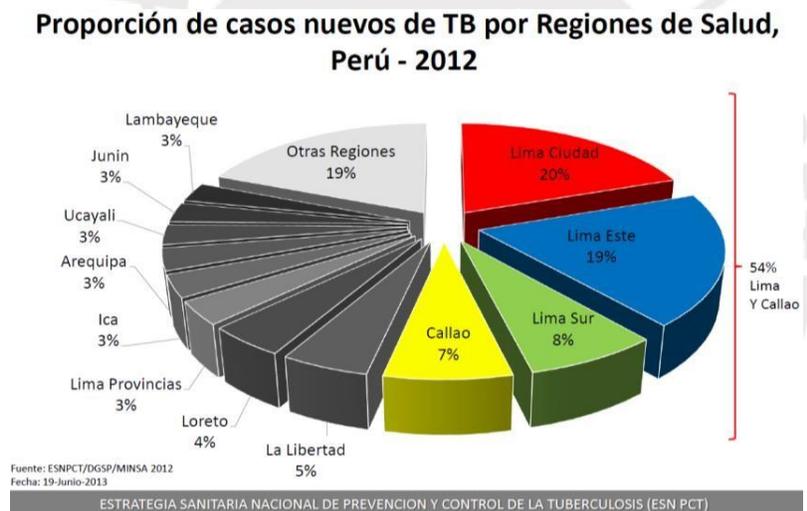


Figura 1.6.1: Estadísticas de TBC en Perú <sup>[14]</sup>

## 1.7 La Tuberculosis como enfermedad ocupacional

### a) En laboratorios de microscopia

La transmisión de *Mycobacterium tuberculosis* se produce especialmente por medio del aire. En el Perú se estima que entre el 30 y 40% de la población está infectada por el bacilo de la TB siendo mayor la proporción entre trabajadores de salud (Ver Figura 1.7.1) (por su contacto estrecho con personas con enfermedad activa sin adecuadas medidas

de control de infecciones) y en trabajadores del transporte público (por su contacto directo y cotidiano con diversas personas durante su jornada laboral) [15].

Debe existir un control de la infección en los laboratorios por ello es necesario una buena ventilación del ambiente con presencia de ventanas y ventiladores, además los técnicos deben lavarse las manos cada vez que entran o salen del laboratorio. Durante su trabajo, el personal debe usar ropa protectora como blusas o delantales de laboratorio, que deben ser guardados en armarios antes de salir del laboratorio. El acceso al laboratorio debe estar restringido sólo al personal del laboratorio. Después de estar en contacto con la muestra se recomienda sumergir las manos en alcohol al 70% y enseguida lavarlas con una solución detergente, enjuagarlas con agua y secarlas con papel [16].

En Perú, la evidencia de infección tuberculosa del personal de salud se limita a informes de brotes en hospitales nacionales. Por ejemplo, el Hospital Dos de Mayo de Lima presenta una tasa anual de infección de 30%; es decir, que treinta de cada cien personas que trabajan en estas salas de emergencia se infectan por el bacilo a lo largo de un año de seguimiento [15].

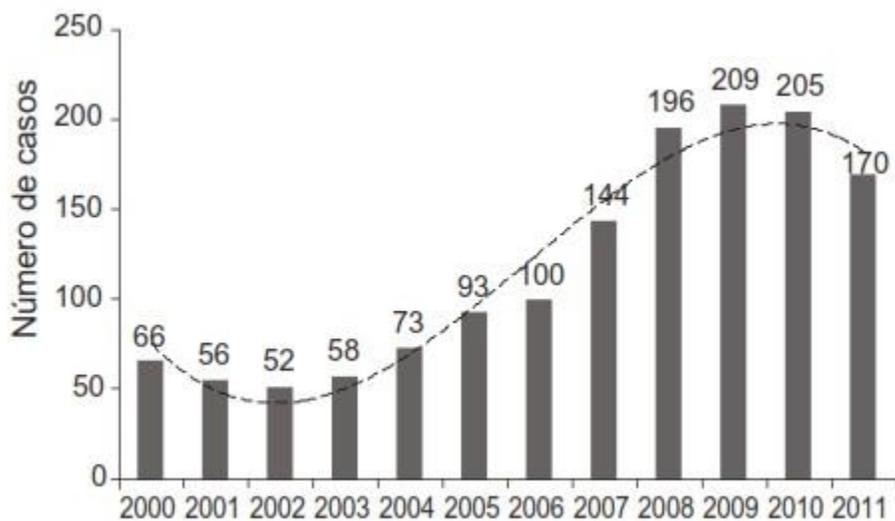


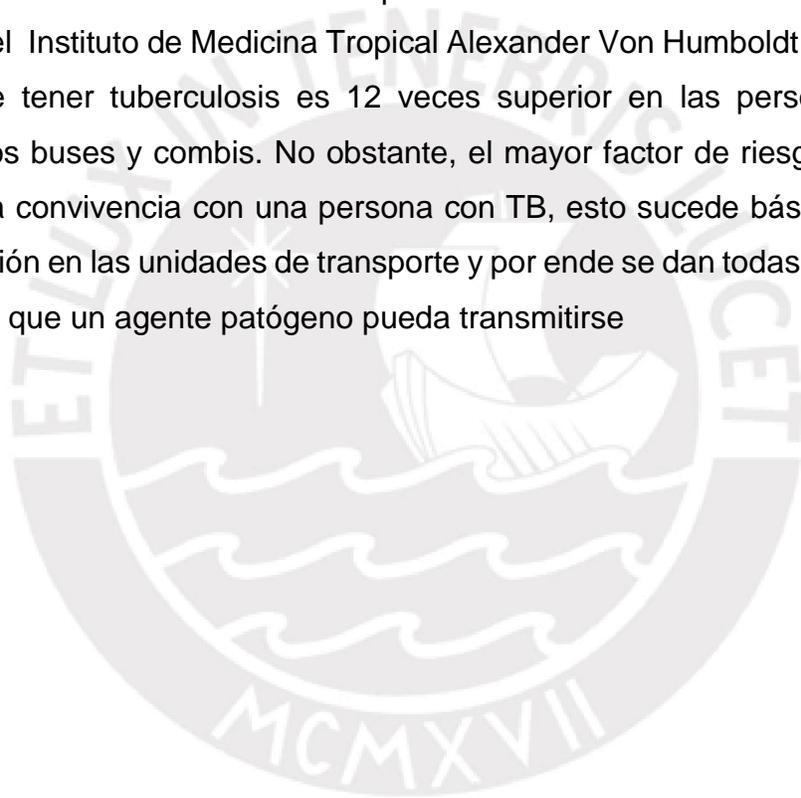
Figura 1.7.1: Casos de trabajadores de salud infectados con TBC 2000-2011 [15]

## **b) Servicio de transporte público**

Los medios de transporte público en los que los peruanos se transportan a diario son también lugares que reúnen factores de riesgo. Así, no sólo los pasajeros, sino principalmente los trabajadores del transporte público, es decir, los choferes y cobradores están expuestos a contraer la bacteria de la enfermedad con mayor facilidad.

Un estudio de la Universidad Autónoma de Barcelona, realizado a trabajadores del transporte público del distrito de Ate da a conocer que tres de cada cuatro choferes y cobradores de transporte público están propensos a adquirir tuberculosis, esto debido al tiempo que permanecen en vehículos con poca ventilación interior <sup>[17]</sup>. Además estudios realizados por el Instituto de Medicina Tropical Alexander Von Humboldt afirman que la probabilidad de tener tuberculosis es 12 veces superior en las personas que usan regularmente los buses y combis. No obstante, el mayor factor de riesgo siempre está asociado con la convivencia con una persona con TB, esto sucede básicamente por la falta de ventilación en las unidades de transporte y por ende se dan todas las condiciones favorables para que un agente patógeno pueda transmitirse

[18].



## CAPÍTULO 2

### Problemática en las máquinas de tinción

#### 2.1 Introducción

En este segundo capítulo se presentan equipos tecnológicos cuya principal función es la de cubrir totalmente el procedimiento de diagnóstico de TBC. Además, en este capítulo se pretende encontrar y señalar los problemas dentro del método de tinción de Ziehl Neelsen en el sistema automatizado desarrollado por el grupo PAME de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Finalmente, declararemos el marco problemático y en base a ello fijaremos el objetivo general y los objetivos específicos de la Tesis.

#### 2.2 Equipos automatizados que cubren totalmente el diagnóstico

El primer paso a dar para tratar la tuberculosis de manera adecuada es diagnosticarla a tiempo, por esta razón en el capítulo anterior se investigó acerca de las técnicas más utilizadas en los laboratorios de microbiología del mundo. Por otro lado, diversas empresas privadas, universidades y centros de investigación científica se encuentran en la búsqueda de innovadoras soluciones para dar apoyo tecnológico de primera mano a profesionales en la salud. En este subcapítulo se presentan dos equipos tecnológicos desarrollados tanto en el campo comercial como académico a fin de brindar una mirada más amplia entorno a las soluciones de laboratorio disponibles actualmente. Ambos equipos utilizan técnicas diferentes a las mencionadas en el apartado 1.3 y realizan el diagnóstico completo de la enfermedad.

El equipo mundialmente recomendado por la OMS es el Xpert® MTB/RIF desarrollado por Cepheid Inc. en los Estados Unidos de América <sup>[19]</sup> (Ver Figura 2.2.1).



### Xpert® MTB/RIF



Recomendado desde el 2011 por la OMS debido a que provee un resultado en menos 2 horas con una sensibilidad de 98% . Este equipo esta basado en contenedores de muestras biologicas que son introducidos para detectar la presencia de Tuberculosis por ADN y su resistencia a la rifampicina (RIF) por medio de técnicas de ampliación del ácido nucleico .Por otro lado requiere mínima bioseguridad debido a que todo el proceso esta automatizado.

#### Características

Diagnostica hasta 10 muestras por proceso  
Precio por unidad \$17,000 USD.

Figura 2.2.1: Xpert® MTB/RIF [19]

En los Estados Unidos de América se cuenta con un detector rápido de Tuberculosis (o Rapid TB Detector en inglés) desarrollado en el ámbito académico por Ralph Weissleder, director del Centro para la Biología de Sistemas y el Centro de Investigación de Imágenes Moleculares de la escuela de medicina de la Universidad de Harvard. Ésta tecnología usa etiquetas magnéticas en nano partículas y un detector que funciona con los mismos principios que la resonancia magnética [20]. (Ver Figura 2.2.2)

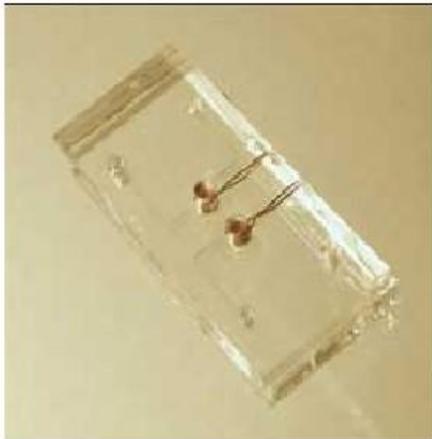


THE  
**HARVARD**  
MEDICAL SCHOOL

### Rapid TB Detector

Tecnología desarrollada por la Universidad de Harvard en el año 2009.

Este equipo está basado en el uso de ondas electromagnéticas de alta frecuencia que permiten detectar la presencia de bacilos de Koch por medio de técnicas de imagenología y un detector que funciona con los mismos principios que la resonancia magnética.



### Características

Dependiente de máquina de resonancia magnética  
Analiza solo 1 muestra por proceso

Figura 2.2.2: Rapid TB Detector [20]

## 2.3 Problemas en la realización del método de tinción

El método de tinción de muestras de esputo de Ziehl Neelsen, mostrado en el primer capítulo define algunos parámetros importantes para la correcta realización del mismo; tales como: Cubrir toda la superficie del extendido, detectar los primeros humos, lavar con agua a baja presión, cumplir con tiempos específicos para cada proceso y/o reactivo, etc. Algunos de estos parámetros son muy ambiguos y subjetivos; ya que por ejemplo, en el caso de detectar los primeros vapores blancos, depende del estado de la visión de cada laboratorista.

## 2.4 Análisis del funcionamiento del Preparador Automático de Muestras de Esputo de la PUCP

En la figura 2.4.1 se presenta un diagrama de flujo del funcionamiento del PAME señalando los problemas hallados en éste. En la Tabla 2.4.1 se coloca un resumen de los mismos indicando sus causas y características.

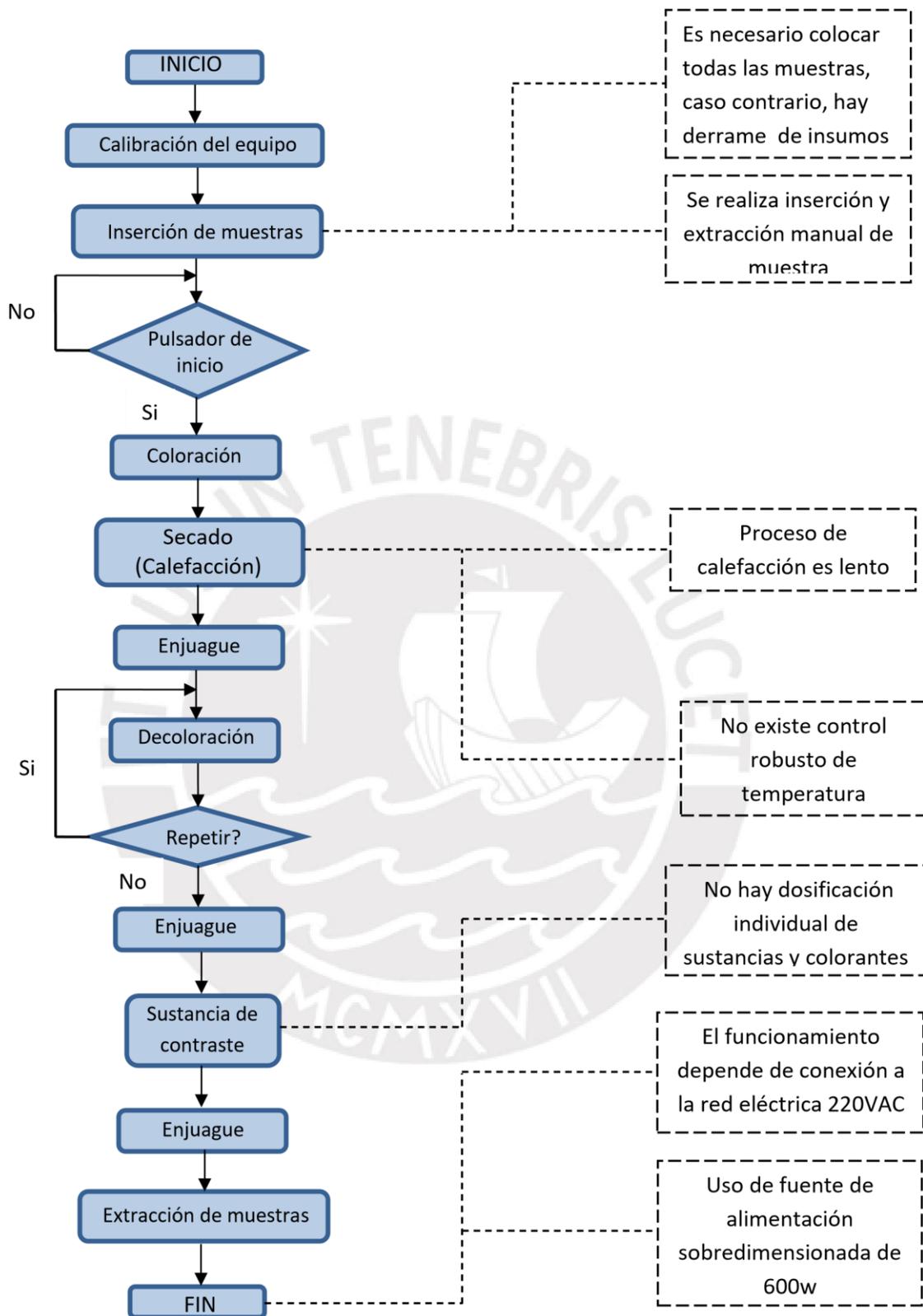


Figura 2.4.1 - Diagrama de flujo del funcionamiento del equipo PAME  
Elaboración Propia

Tabla 2.4.1: Problemas, Causas y características

Problemas	Causas y Características
Es necesario colocar todas las muestras, caso contrario, hay derrame de insumos.	Si bien se puede teñir hasta 7 muestras .La ausencia de algunas de ellas ocasiona derrame de insumos para la tinción
Se realiza inserción y extracción manual de muestra	El insertar y retirar manualmente las muestras no permite la automatización secuencial del proceso
Proceso de calefacción es lento	El uso de resistencia calefactora ocasiona que el proceso de la calefacción sea lento y por ende el proceso de tinción también.
No existe control robusto de temperatura	La temperatura de calefacción es regulada mediante un sistema de control proporcional. Sin embargo el tiempo de establecimiento de este proceso es alto (alrededor de 60s).
No hay dosificación individual de sustancias y colorantes	Existe solo un canal por donde transcurren todas las sustancias del proceso de tinción
Uso de fuente de alimentación sobredimensionada de 600w	El PAME actual usa una fuente comprada que otorga más potencia que la necesaria lo que se traduce en pérdidas.
El funcionamiento depende de conexión a la red eléctrica de 220VAC	Para su funcionamiento es necesario que el equipo se encuentre conectado a una red eléctrica, lo cual dificulta su uso en regiones que no cuenten con este recurso.

Elaboración propia

## 2.5 Declaración del Marco Problemático

El proceso de preparación de muestras de esputo en el Perú es realizado de manera manual por los técnicos de laboratorio, los mismos que realizan una ardua labor; sin embargo, no se puede evitar obtener una tinción no estandarizada debido a cansancio de la vista, estados de ánimo, etc. Asimismo, el riesgo de contagio por parte del personal de salud aumenta debido a la manipulación de la muestra. Motivos por los cuales, se ha desarrollado un sistema de preparación automático de muestras de esputo (PAME) para

el diagnóstico de TBC con el objetivo de estandarizar el proceso de tinción y dejar listas las muestras para su posterior análisis en el microscopio.

En el análisis del equipo estacionario PAME, se encuentra que procesa siete muestras por todo el procedimiento. Durante la etapa de tinción, se detecta que el calentamiento se hace por medio de una resistencia calefactora y se controla mediante un temporizador a 60 segundos, dando lugar a posibles fallos en la preparación y arruinar la muestra biológica. Por otro lado, se observa que tampoco existe un control en el uso de las soluciones de carbolfucsina, etanol y azul de metileno, su uso carece de un control en el dispensado. Asimismo, el funcionamiento del sistema está sujeto a disponibilidad de energía eléctrica para su funcionamiento; además, la inserción y extracción de muestras se realizan de forma manual por el operario para su posterior manipulación en la etapa de análisis por microscopio.

## **2.6 Objetivos**

### **Objetivo general:**

Diseñar e implementar un sistema automatizado de tinción en simultáneo de 4 muestras de esputo para el diagnóstico de tuberculosis, basado en el método de tinción de Ziehl-Neelsen.

### **Objetivos específicos:**

- Colaborar con el diseño de la estructura mecánica del prototipo funcional.
- Diseñar e implementar el hardware electrónico.
- Diseñar e implementar el software.
- Automatizar el calentamiento de muestra de esputo con un error menor a 2°C.
- Lograr una precisión de  $\pm 4\%$  en el desplazamiento de muestras de esputo.
- Lograr una precisión de  $\pm 5\%$  en la dosificación de reactivos y evitar pérdidas por goteo.

## **CAPITULO 3**

### **Descripción y diseño a nivel del equipo**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se dará a conocer el alcance de la Tesis, se mostrará el diagrama de bloques y posteriormente se realizará la descripción, diseño y elección de componentes del prototipo funcional de tinción de 4 muestras en simultáneo. Además se mostrará la estructura mecánica, hardware y software del sistema. Para ello se establecen los requerimientos, alternativas y selección.

#### **3.2 Alcance**

Se diseñará el software y hardware electrónico que permita controlar el prototipo funcional, éste sistema preparará cuatro muestras en simultáneo por proceso y optimizará los tiempos involucrados en el proceso sin afectar la confiabilidad del sistema automático con la finalidad de reemplazar el método convencional. Éste proyecto de tinción automatizada forma parte de un sistema aún más grande cuyo objetivo es automatizar todo el diagnóstico de TBC.

#### **3.3 Descripción general del equipo**

El Preparador Automático de Muestras de Esputo (PAME) que se validará en la presente tesis preparará cuatro muestras en simultáneo basándose en el procedimiento de Ziehl Neelsen para realizar la tinción de muestras de esputo. En el proceso de tinción se usan cantidades específicas de agua y reactivos, así como de tiempos definidos para cada etapa del proceso. Existen tres estaciones en el PAME las cuales son diagnóstico e inserción de muestras, tinción y calentamiento las cuales serán descritas a continuación. En primer lugar, en la estación de diagnóstico e inserción de muestras al inicio del proceso se colocarán las 4 muestras y al final del proceso se dejarán las muestras preparadas para ser analizadas por un microscopio y posteriormente dar un diagnóstico según el conteo de bacterias presentes en la muestra. En segundo lugar, en la estación de tinción las muestras serán teñidas y lavadas siguiendo el método de ZN descrito en el capítulo 1. Finalmente, en la estación de calentamiento las muestras serán sometidas

a altas temperaturas después de dispensar la fucsina, de esta manera se asegura la penetración del reactivo en la muestra. Es importante considerar que se está trabajando con reactivos corrosivos, por ello el sistema de tinción automatizado deberá ser resistente a la corrosión provocada por los químicos.

### 3.4 Diagrama de bloques

Para automatizar el proceso de preparación de muestras de esputo usando el procedimiento de ZN se debe conocer los requerimientos del mismo; estos han sido establecidos en el capítulo uno. Luego se procede a realizar el diseño del sistema mecánico y electrónico que permitirá automatizar este proceso. En la figura 3.4.1, se muestra el diagrama general del sistema automático; por un lado, el sistema mecánico (Soporte principal del sistema, Estructura para la sujeción del actuador de desplazamiento y Estructura para la sujeción de muestras) engloba a todo lo relacionado con el bloque planta en donde se realizará todo el proceso. Por otro lado, en el sistema electrónico se tienen diversos bloques como sensores, acondicionadores de señal, excitadores, actuadores, pulsadores, pantalla, fuente de alimentación y controlador, es en este último donde se guarda el software encargado de hacer funcionar todo el sistema en conjunto.

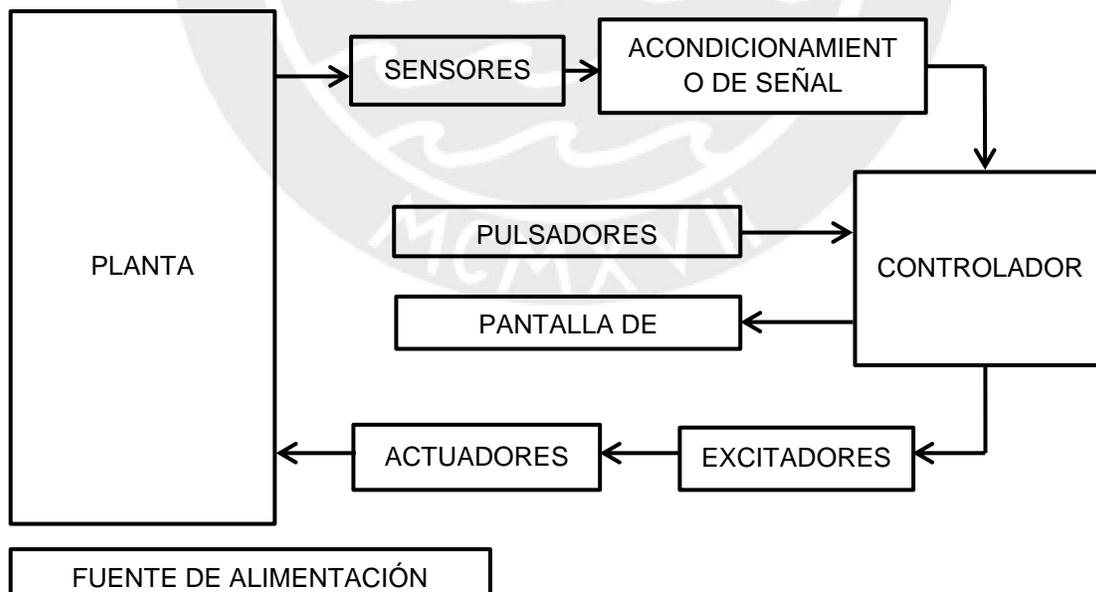


Figura 3.4.1 Diagrama de bloques Elaboración propia.

## 3.5 Estructura Mecánica

### 3.5.1 Estructura Principal

El prototipo funcional que se muestra en la figura 3.5.1.1 tiene una estructura realizada en acero y en abs (impresión 3D), esta fue diseñada por la diseñadora industrial Alejandra Arámbulo, basándose en la estructura de las impresoras 3d RepRap. Sus dimensiones son:

- Altura: 37 cm.
- Largo: 30 cm.
- Ancho: 35 cm.

En esta estructura se ubicará la tarjeta de control, fuente de alimentación y actuadores. Además, la base de esta estructura que se muestra en la figura 3.5.1.2 cuenta con una estructura de acero inoxidable a cual sirve para el desagüe de reactivos.



Fig. 3.5.1.1: Estructura Principal

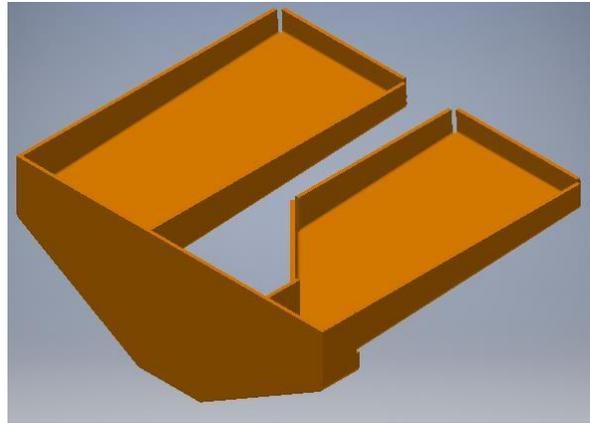


Fig. 3.5.1.2: Estructura de desagüe de reactivos

### 3.5.2 Estructura para el actuador encargado del desplazamiento lineal de muestras

En la figura 3.5.1.2 se muestra la estructura del motor a pasos la cual permitirá la sujeción del actuador y el eje del mismo para poder realizar el desplazamiento lineal de las 4 muestras del prototipo funcional. El diseño fue realizado por Alejandra Arámbulo y el material usado es abs.

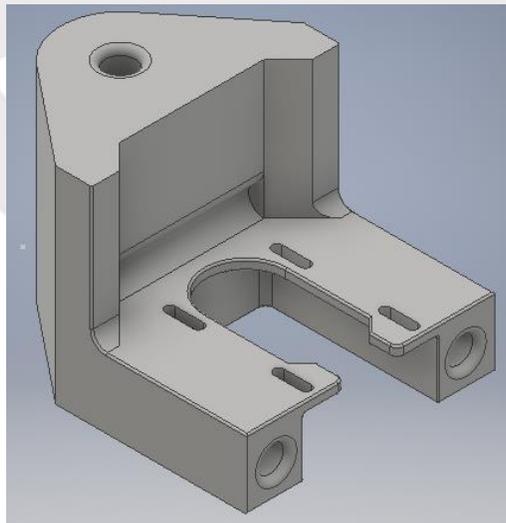


Fig. 3.5.2.1: Estructura del motor a pasos

### 3.5.3 Estructura para la sujeción de muestras

Esta estructura que se muestra en la figura 3.5.3.1 sujetará las 4 muestras de esputo .El desplazamiento de la estructura se da gracias a la presencia de una faja conectada al eje del actuador de desplazamiento lineal. Además, la estructura presenta orificios para las mangueras que dispensarán los reactivos a las muestras. El diseño fue realizado por Alejandra Arámbulo y el material usado es abs.

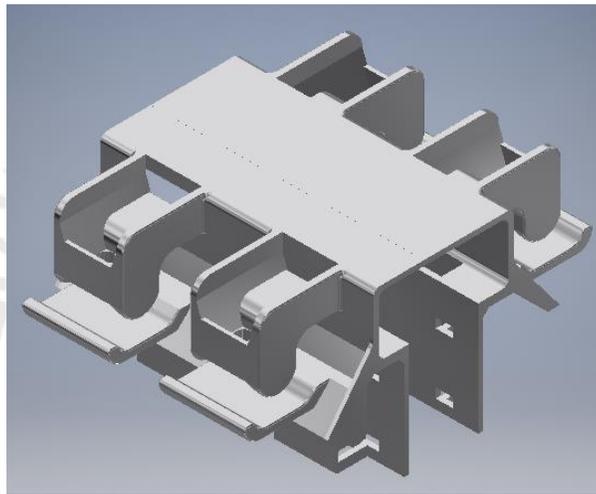


Fig. 3.5.3.1: Estructura de sujeción de muestras

### 3.5.4 Estructura de calentamiento de muestras

Esta estructura que se muestra en la figura 3.5.4.1 alojará la lámpara tipo bi pin encargada del calentamiento de las muestras. Además se cuenta con un conector mostrado en la figura 3.5.4.2 el cual sirve de base al actuador. Los diseños fueron realizados por Alejandra Arámbulo y los materiales usados son latón y ultem (impresión 3D)

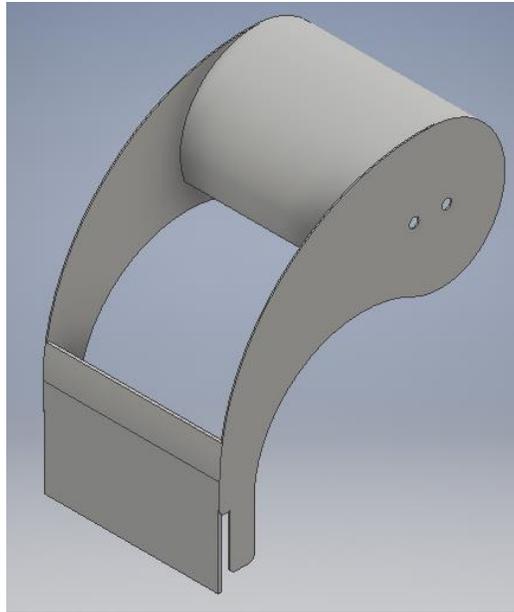


Fig. 3.5.4.1: Estructura calentamiento de muestras

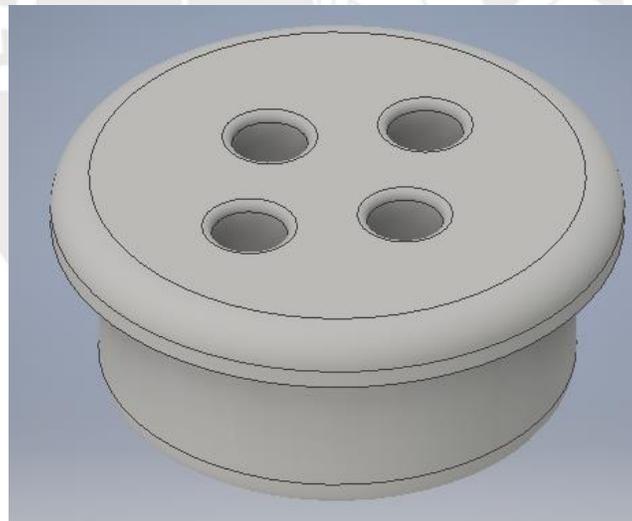


Fig. 3.5.4.2: Estructura de sujeción de actuador

## 3.6 Hardware

### 3.6.1 Actuador

#### 3.6.1.1 Actuador de desplazamiento Lineal de Muestras

Este motor será el encargado de realizar el desplazamiento lineal de las muestras, a través de la estructura mecánica diseñada en la figura 3.5.2.1 por las distintas estaciones presentes en el sistema las cuales son tinción, calentamiento y diagnóstico.

#### Requerimientos

- ✓ Exactitud en la posición
- ✓ Variar el sentido de giro
- ✓ Buen funcionamiento a bajas velocidades.
- ✓ Libertad de dar una vuelta completa

Considerando esto requerimientos, se proponen tres opciones

- ✚ Motor DC
- ✚ Servomotor
- ✚ Motor de pasos

A continuación, la tabla 3.6.1.1.1 muestra los requerimientos y las características de cada uno de los actuadores propuestos a fin de elegir el actuador idóneo.

Tabla 3.6.1.1.1: Comparación de Motores

Requerimientos	Motor DC	Servomotor	Motor de pasos
Exactitud en la posición	No	Si	Si
Variar sentido de giro	Si	Si	Si
Buen funcionamiento a bajas velocidades	No	Si	Si
Libertad de dar una vuelta completa	Si	No	Si

Fuente: Elaboración personal basado principalmente en <sup>[21]</sup>

Dada la anterior comparación, se determina que el actuador que cumple todos los requerimientos es el Motor de pasos; sin embargo existen dos tipos de motor de pasos los cuales son Motores Bipolares y Motores Unipolares. A continuación la tabla 3.6.1.1.2 muestra las comparaciones más significativas entre un motor a pasos unipolar y uno bipolar.

Tabla 3.6.1.1.2: Comparación de Motores de Pasos

<b>Motores Bipolares</b>	<b>Motores Unipolares</b>
- Mayor torque	- Menor torque
- Más pequeño	- Tiene mayor volumen
- Más barato	- Más caro

Fuente: Elaboración personal basado principalmente en <sup>[22]</sup>

En la tabla 3.6.1.1.2, se observa que los Motores de pasos bipolares poseen un mayor torque, son más pequeños y más baratos, estas características son favorables para el desplazamiento lineal de las muestras ya que un mayor torque me garantiza que las muestras se moverán con normalidad y no habrá fallas por pérdidas de pasos; por otro lado, al ser más pequeño reduce costos en el diseño de la estructura y por último es más barato lo cual es favorable, pues lo conveniente es reducir los costos.

Dentro de los motores bipolares se encuentran diversos tipos, estos motores se diferencian principalmente de acuerdo al número de pasos por revolución, el torque en el eje y el rango de velocidades en los que funcionan adecuadamente. Por lo tanto, se debe calcular los requerimientos del motor a partir de las características de la carga a desplazar, el piñón acoplado al eje del motor y la longitud lineal. En primer lugar, la velocidad mínima, la cual se establecerá a partir del tiempo máximo que le toma a las muestras desplazarse a lo largo de las estaciones del sistema. Por lo tanto, los parámetros que se requieren para calcular la velocidad mínima son los siguientes:

- Radio del piñón acoplado al motor: 0.25 cm.
- Longitud lineal del desplazamiento: 0.22 m.
- Tiempo máximo: 15 s.

A continuación se procede a realizar los cálculos:

$$\text{Velocidad mín (m/s)} = \frac{\text{longitud lineal}}{\text{tiempo}} = \frac{0.22 \text{ m}}{15 \text{ s}} = 0.0147 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad mín (rad/s)} = \frac{\text{Velocidad mín(m/s)}}{\text{radio}} = \frac{0.0147 \text{ m/s}}{0.0025 \text{ m}} = 5.88 \text{ rad/s}$$

$$\text{Velocidad mín (rpm)} = \text{Velocidad mín (rad/s)} * \frac{30}{\pi}$$

$$\text{Velocidad mín (rpm)} = 5.88 \text{ rad/s} * \frac{30}{\pi} = 56.15 \text{ rpm}$$

En segundo lugar, se debe calcular el torque necesario para poder desplazar la estructura de sujeción de muestras; por lo tanto el parámetro que se requiere para calcular el torque del motor es el siguiente:

- Peso de la estructura de sujeción de muestras: 0.8Kg
- Radio del piñón acoplado al motor: 0.25 cm.

$$\text{Fuerza} = \text{Peso} * \text{Gravedad} = 0.8 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7.85 \text{ N}$$

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} * \text{Radio} = 7.85 \text{ N} * 0.0025 = 19.63 \text{ mN.m}$$

Considerando estos requerimientos, se presentan los siguientes actuadores Motor a pasos Nema17 (Ver Fig. 3.6.1.1.1) y Motor a pasos Nema23 (Ver Fig. 3.6.1.1.2).



Fig. 3.6.1.1.1: Motor Nema17



Fig. 3.6.1.1.2: Motor Nema23

A continuación la tabla 3.6.1.1.3 muestra los requerimientos y las características del actuador de cada uno de los actuadores a fin de elegir el más adecuado.

Tabla 3.6.1.1.3: Comparación de Motores a Pasos

Requerimientos	Motor Nema17		Motor Nema23	
	Característica	¿Cumple?	Característica	¿Cumple?
Torque ( mayor a 19.63 mN.m)	[480 mN.m]	Si	[1500 mN.m]	Sí
Correcto funcionamiento a 56.15 rpm	[50 - 1200 r.p.m.]	Si	[50 - 1200 r.p.m.]	Si
Tensión de alimentación (12 V)	[12 - 36 V]	Sí	[24 – 72 V]	No

Fuente: Elaboración propia con referencia de [25].

Dada la anterior comparación se determina que el actuador idóneo para el desplazamiento lineal de muestras es el Motor a Pasos Bipolar Nema17 (Ver Anexo 7) el cual adicionalmente presenta las siguientes características:

- Fases: 2
- Pasos/Revolución: 200
- Exactitud : 5%
- Corriente por fase 1 A

### 3.6.1.2 Actuador de dispensado de agua y reactivos

Este motor será el encargado de dispensar el agua y los distintos reactivos los cuales son: Azul de metileno, Fucsina y Ácido alcohol. Por lo tanto, deben estar hecho de un material anticorrosivo; además, debe ser capaz de controlar el flujo de dispensado a fin de evitar romper la tensión superficial de la muestra; asimismo, este actuador debe tener capacidad de bombeo para que los líquidos puedan ser desplazados hacia la muestra; también, debe evitar el goteo de agua y reactivos con el fin de evitar el desperdicio de los mismos. Por último debe este actuador debe tener una tensión de alimentación de 12 V. Los requerimientos para elegir este actuador son los siguientes:

## Requerimientos

- Anticorrosivo
- Control de Flujo
- Capacidad de bombeo
- Evitar el goteo de líquidos
- Tensión de alimentación de 12 V

Considerando estos requerimientos, se proponen los dos siguientes actuadores de flujo: Minibomba SZF280 (Ver Fig. 3.6.1.2.1) y Bomba peristáltica (Ver Fig. 3.6.1.2.2)



Fig. 3.6.1.2.1: Minibomba



Fig. 3.6.1.2.2: Bomba Peristáltica

A continuación, la tabla 3.6.1.2.1 muestra los requerimientos y las características de cada uno de estos actuadores a fin de elegir el más idóneo para el sistema automatizado.

Tabla 3.6.1.2.1: Comparación entre los actuadores de flujo.

Requerimientos	Minibomba		Bomba Peristáltica	
	Característica	¿Cumple?	Característica	¿Cumple?
Anticorrosivo	Polietileno de alta densidad anticorrosivo	Sí	Polietileno de alta densidad anticorrosivo	Sí
Control de flujo	Controla el flujo a través de PWM	Sí	Controla flujo según velocidad	Sí
Capacidad de bombeo	Minibomba	Sí	Bomba	Sí
Evitar goteo de líquidos	Estructura rotatoria acoplada a eje de motor	No	Comprensión y relajación de manguera	Sí
Tensión de alimentación (12v)	[3 a 12 V]	Sí	12 V	Sí

Fuente: Elaboración propia con referencia en [26] y [27]

Dada la anterior comparación, se observa que el actuador de flujo que cumple todos los requerimientos es la Bomba peristáltica; razón por la cual, se opta por escoger este actuador. Debido a que la bomba usa un motor a pasos bipolar el circuito de control y el diagrama de conexiones del motor será el mismo que el elegido en el actuador del desplazamiento lineal de muestras.

### 3.6.1.3 Actuador del Calentamiento de Muestras

Como se mencionó en el capítulo uno se requiere de un calentador para calentar las muestras de esputo después de dispensar los reactivos por tal motivo se eligió una lámpara halógena tipo bi pin (Ver Fig. 3.6.1.3.1). Este actuador es una carga monofásica que presenta las siguientes especificaciones:

- Se energiza con 220 Vac
- Potencia eléctrica de 300 W
- Dimensiones 2x2 cm



Fig. 3.6.1.3.1: Lámpara halógena tipo bi pin.

## 3.6.2 Excitador

### 3.6.2.1 Excitador de Motores de pasos

Una vez elegido el motor a pasos bipolar para el desplazamiento lineal y para el dispensado de agua y reactivos se procede a buscar un circuito de excitación que brinde al motor el voltaje positivo  $V+$  y el voltaje negativo  $V-$  a las bobinas en la secuencia apropiada para realizar el movimiento.

#### Requerimientos

- ✓ Debe ser pequeño

- ✓ Soportar corrientes de 1A
- ✓ Control preciso de pasos

Considerando estos requerimientos, se presentan dos opciones para el control del motor a pasos bipolar: Puente H L298 (Ver Fig. 3.6.2.1.1) y el circuito integrado A4988 (Ver Fig. 3.6.2.1.2).

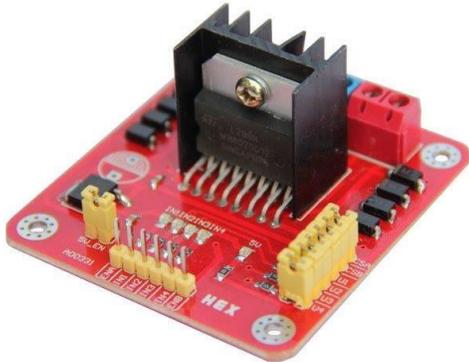


Fig. 3.6.2.1.1: Puente H L298



Fig. 3.6.2.1.2: C.I. A4988

A continuación, la tabla 3.6.2.1.1 muestra los requerimientos y las características de cada uno de estos controladores de control a fin de elegir el más eficiente.

Tabla 3.6.2.1.1: Comparación de Controladores

Requerimientos	Puente H L298		A4988	
	Característica	¿Cumple?	Característica	¿Cumple?
Debe ser pequeño	43x43 mm	No	20x15 mm	Sí
Soportar corrientes de 1A	Hasta 2A	Si	Regulable hasta 2A	Si
Control preciso de pasos	Pasos Normales	No	Micropasos	Sí

Fuente: Elaboración propia con referencia en <sup>[23]</sup> <sup>[24]</sup>.

Dada la anterior comparación se determina que el controlador para el motor de pasos bipolar que cumple todos los requerimientos es el circuito integrado A4988

(Ver Anexo 5); razón por la cual, se opta por escoger este controlador. A continuación, la figura 3.6.2.1.3 muestra el diagrama de conexiones del controlador A4988 y el motor de pasos bipolar.

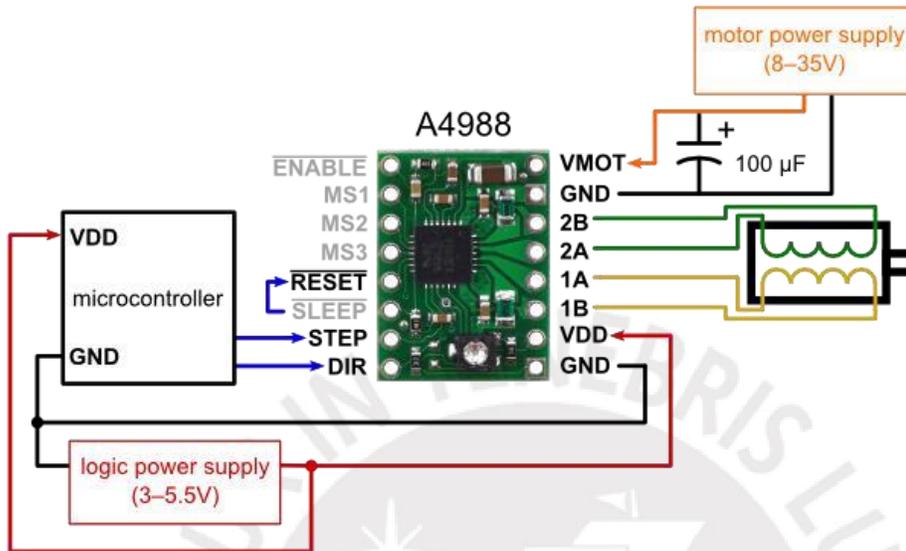


Fig. 3.6.2.1.3: Diagrama de conexiones A4988 [23]

### 3.6.2.2 Excitador de lámpara halógena bi pin

El control de cargas monofásicas se realiza mediante un TRIAC, el cual es un dispositivo electrónico que permite manipular la tensión alterna que se entrega a la carga y con ello se realiza un control de potencia pues se varía la corriente promedio que se entrega a la carga. Por lo tanto, se empleará este semiconductor para manipular el actuador de temperatura. Este dispositivo recibirá un pulso de activación de 5 µs por el pin GATE a un determinado tiempo pasado el cruce por cero, esto me determina un ángulo de disparo. Debido a esto, se diseñará un circuito que detecte el instante en que la señal de la red eléctrica de 220 V<sub>RMS</sub> y frecuencia de 60Hz cruza por cero.

A continuación, la figura 3.6.2.2.1 muestra el diagrama esquemático del circuito detector de cruce por cero propuesto.

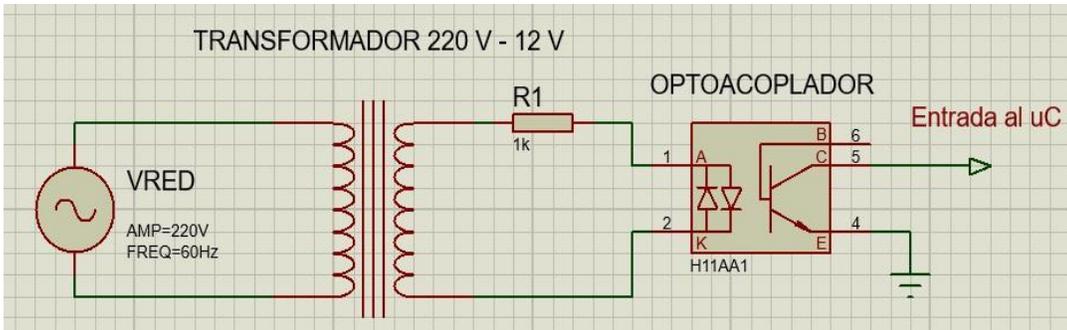


Fig. 3.6.2.2.1: Diagrama esquemático detector de cruce por cero.

En primer lugar, se usa un transformador reductor 220V/12V @ 0.5 A, ya que es conveniente trabajar con voltajes bajos para que la caída de voltaje en la resistencia no sea grande y por ende no se desperdicie potencia innecesaria; la corriente máxima que entrega este transformador es de 0.5 A, la cual es suficiente para encender el diodo LED del OPTOACOPLADOR. Se coloca una resistencia R1 en serie para regular la corriente que se entrega al LED del OPTOACOPLADOR, el cual se enciende cuando hay una diferencia de potencial positiva entre sus terminales ánodo y cátodo. Estos componentes definirán el ancho de pulso de la señal de salida.

Para hallar el valor de la resistencia R1, se debe definir el OPTOACOPLADOR a emplear; por ello, se opta por escoger el circuito integrado H11AA1M. Este CI presenta dos diodos en anti-paralelo los cuales permiten que no se necesite un circuito de rectificación, una corriente mínima de LED ( $I_{f\text{mín}}$ ) de 1 mA y una corriente máxima de LED ( $I_{f\text{máx}}$ ) de 60 mA; además, cuenta con un tiempo de encendido y apagado de 2  $\mu\text{s}$ . A continuación, la figura 3.6.2.2.2 muestra la relación entre voltaje ( $V_f$ ) y corriente ( $I_f$ ) del diodo LED.

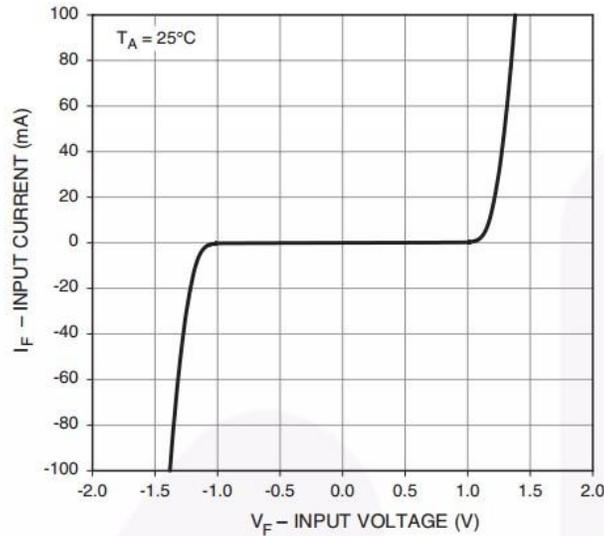


Fig. 3.6.2.2.2: Gráfica  $V_f$  vs  $I_f$  del OPTOACOPLADOR H11AA1M.

En primer lugar, el valor mínimo de la resistencia  $R_1$  se define a partir de la corriente máxima que soporta el diodo LED ( $I_{f\text{máx}}$ ) que es de 60 mA. Según la figura 3.6.2.2.2, se observa que a una temperatura ambiente ( $T_A$ ) de 25°C, se tiene un voltaje de LED máximo ( $V_{f\text{máx}}$ ) de 1.35 V para una corriente de LED máxima ( $I_{f\text{máx}}$ ) de 60 mA. Asimismo, esta condición se dará en el instante que se obtiene un voltaje de la señal máximo ( $V_{1\text{máx}}$ ) de 17 V. El valor de la resistencia  $R_1$  mínima ( $R_{1\text{mín}}$ ) queda definido por la siguiente ecuación:

$$R_{1\text{mín}} = \frac{V_{1\text{máx}} - V_{f\text{máx}}}{I_{f\text{máx}}} = \frac{17 \text{ V} - 1.35 \text{ V}}{60 \text{ mA}} = 260.83 \Omega$$

Considerando este valor de  $R_{1\text{mín}}$ , se define un valor de  $R_1$  de manera que se obtenga una corriente de diodo LED máxima establecida ( $I_{f\text{mest}}$ ) de 15 mA, la cual se obtiene a un voltaje de diodo LED de máximo establecido ( $V_{f\text{mest}}$ ) de 1.25 V según la figura 3.6.2.2.2. Así mismo, el valor de  $R_1$  está definido por la siguiente ecuación:

$$R_1 = \frac{V_{1\text{máx}} - V_{f\text{mest}}}{I_{f\text{mest}}} = \frac{17 \text{ V} - 1.25 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 1050 \Omega$$

Por lo tanto, se define un valor R1 de 1 KΩ ya que este es el valor comercial más cercano al valor deseado.

$$R1 = 1 \text{ K}\Omega$$

Para obtener un adecuado control de ángulo de disparo, el ancho de pulso de la señal de salida debe ser despreciable con respecto al periodo de la señal. Por ello se debe verificar que el valor de R1 genere un ancho de pulso corto. Según la hoja de datos (Ver Anexo 2), se observa que la corriente de LED mínima (Ifmín) es de 1mA y el voltaje de LED mínimo (Vfmín) es de 1.17 V.

El valor de V1mín queda definido por la siguiente ecuación:

$$V1mín = Ifmín * R + Vfmín = 1 \text{ mA} * 1 \text{ K}\Omega + 1.17 \text{ V} = 2.17 \text{ V}$$

Por último, se verifica si este valor permitirá un ancho de pulso de salida aceptable, el valor del ancho de pulso de salida (Tps) se encuentra definido por la siguiente fórmula:

$$Tps = \frac{2 * \sin^{-1}(V1mín/V1máx)}{2 * \pi * 60 \text{ Hz}} = \frac{2 * \sin^{-1}(2.17 \text{ V}/17 \text{ V})}{2 * \pi * 60 \text{ Hz}} = 0.68 \text{ ms}$$

Este valor de Tps es aceptable ya que es corto en comparación con el periodo de la señal; por lo tanto, el valor de R1 queda definido por el valor de R1 asumido anteriormente.

$$R1 = 1 \text{ K}\Omega$$

Esta señal de cruce por cero será recibida por un pin digital del microcontrolador a fin de que al detectar un flanco de subida y bajada en la señal, se define un punto medio de este instante como el punto de referencia para el ángulo de disparo y de esta manera se llegue controlar la potencia suministrada al calefactor.

A continuación, se realiza el diseño del circuito que permitirá que el microcontrolador manipule la corriente que energizará al actuador de temperatura. A continuación, la figura 3.6.2.2.3 muestra el diagrama esquemático del circuito de control de ángulo de disparo propuesto.

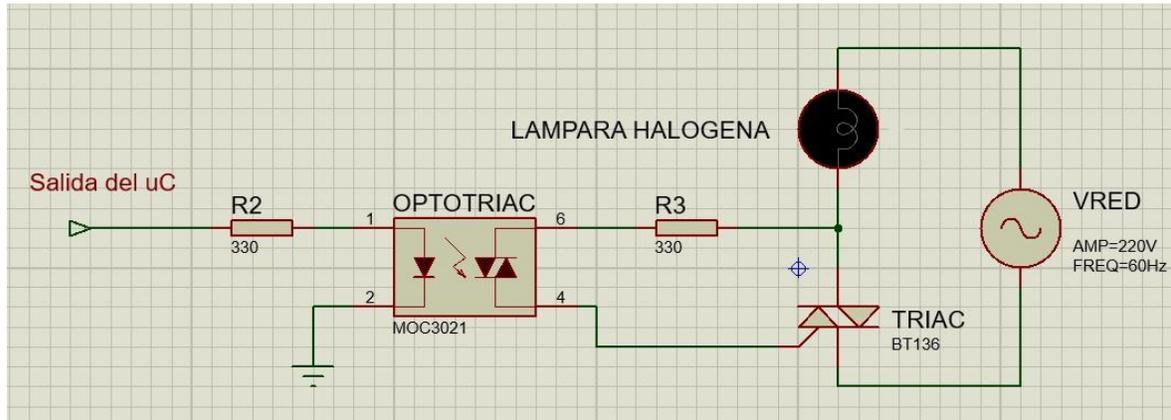


Fig. 3.6.2.2.3: Diagrama esquemático del circuito de control de ángulo de disparo.

En primer lugar, la señal de salida ( $V_{out}$ ) del microcontrolador es un pulso, el cual presenta un valor mínimo de 4.2V (Ver Anexo 6) con una alimentación ( $V_{cc}$ ) del microcontrolador de 5V; además, este pulso presenta un ancho definido por el tiempo de disparo de compuerta ( $T_{gt}$ ) del TRIAC a escoger.

Para hallar el valor de la resistencia  $R_2$  se debe conocer en primer lugar el valor del voltaje de salida  $V_{out}$ .

$$V_{cc} = 5 \text{ V}$$

$$V_{out} = 4.2 \text{ V}$$

En segundo lugar, se debe definir el OPTOTRIAC a utilizar; por lo tanto, se opta por escoger el MOC3021M. Este CI presenta una tensión típica de diodo LED ( $V_f$ ) y una corriente típica del diodo LED ( $I_f$ ) de 10 mA @ 1.15 V. (Ver Anexo 1) Considerando estos parámetros, se puede calcular el valor de la resistencia  $R_2$  que se encuentra definido por la siguiente ecuación:

$$R2 = \frac{V_{out} - V_f}{I_f} = \frac{4.2 \text{ V} - 1.15 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 305 \ \Omega$$

Por consiguiente, se define un valor R2 de 330  $\Omega$  ya que es el valor comercial más cercano al valor deseado.

$$R2 = 330 \ \Omega$$

Por otro lado, en la hoja de datos del MOC3021M se recomienda un valor de la resistencia R3 para activar el TRIAC cuando se trabaja con una carga @ 240 Vac.

$$R3 = 360 \ \Omega$$

Por consiguiente, se define un valor R3 de 330  $\Omega$  ya que es el valor comercial más cercano al valor recomendado.

Por último, se debe definir el dispositivo TRIAC a emplear; por lo tanto, se debe calcular la corriente nominal de la lámpara halógena ( $I_{carga}$ ). De acuerdo a las características del actuador escogido la carga presenta una potencia nominal ( $P_{nom}$ ) de 300 W y una tensión nominal ( $V_{nom}$ ) de 220  $V_{RMS}$ . Considerando estos parámetros, se halla el valor de la corriente a través de la siguiente ecuación:

$$I_{carga} = \frac{P_{nom}}{V_{nom}} = \frac{300 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 1.36 \text{ A}$$

Por lo tanto, se requiere un TRIAC que soporte como mínimo una corriente de 1.36 A. Por otro lado, este semiconductor debe presentar un bajo tiempo de disparo de compuerta ( $T_{gt}$ ) con respecto al semiperiodo de la señal de la red eléctrica de 60 Hz, esto con la finalidad de obtener un mejor control de ángulo de disparo. Además, se debe calcular el disipador a usar para evitar sobrecalentamiento del semiconductor. Considerando estos parámetros, se opta por escoger el TRIAC BT136 (Ver Anexo 3) que soporta una corriente ( $I_{T(RMS)m\acute{a}x}$ ) de 4 A; además, presenta un tiempo de disparo de compuerta ( $T_{gt}$ ) de 2  $\mu s$  el cual es despreciable

comparado con los 8333  $\mu$ s del semiperiodo de la señal de la red eléctrica. Finalmente, se realiza el cálculo de la temperatura de unión del TRIAC ( $T_j$ ) y se compara con la temperatura de unión máxima ( $T_{j\text{máx}}$ ). Según su hoja de datos, este dispositivo presenta una tensión típica de conducción ( $V_{on}$ ) de 1.4 V, una resistencia de conducción ( $R_s$ ) de 0.28  $\Omega$ , una resistencia térmica en aire libre ( $R_{thja}$ ) de 60  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , una resistencia térmica de unión base de montaje ( $R_{thj-mb}$ ) de 3  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , una  $T_{j\text{máx}}$  de 125  $^{\circ}\text{C}$  y una temperatura ambiente ( $T_a$ ) de 25  $^{\circ}\text{C}$ . Con estos parámetros, se halla el valor de  $T_j$  a partir de las siguientes ecuaciones:

$$I_{\text{rms}} = I_{\text{carga}} = 1.36 \text{ A}$$

$$I_{\text{tave}} = \frac{2 * \sqrt{2} * I_{\text{rms}}}{\pi} = \frac{2 * \sqrt{2} * 1.36 \text{ A}}{\pi} = 1.22 \text{ A}$$

$$P = V_o * I_{\text{tave}} + R_s * I_{\text{rms}}^2 = 1.4 \text{ V} * 1.22 \text{ A} + 0.28 \Omega * (1.36 \text{ A})^2$$

$$T_j = T_a + P * R_{thja} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} + 2.23 \text{ W} * 60 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} = 158.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Debido a que  $T_j$  es mayor a  $T_{j\text{máx}}$ , se requiere de un disipador que evite el sobrecalentamiento del TRIAC y así este conductor pueda conducir la corriente de la carga sin ningún problema. Este se escoge de acuerdo al valor de resistencia térmica ( $R_{thmba}$ ) el cual se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$R_{thja}' = \frac{T_{j\text{máx}} - T_a}{P} = \frac{125 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2.23 \text{ W}} = 44.84 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{thmba} = R_{thja}' - R_{thjmb} = 44.84 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} - 3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} = 41.84 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Por lo tanto, se debe escoger un disipador con resistencia térmica menor a 41.84  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ . A continuación la figura 3.6.2.2.4 muestra el disipador que se usará se presenta el disipador que se usará el cual tiene una resistencia térmica de 13.4  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$  y es de fácil disponibilidad en el mercado local. (Ver Anexo 4)

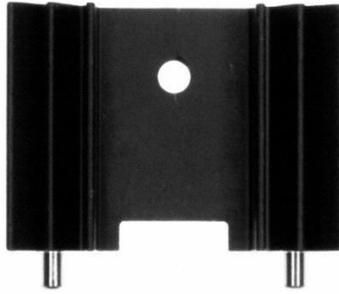


Fig. 3.6.2.2.4: Disipador para el Triac BT136.

### 3.6.3 Sensores y Acondicionamiento de señal

#### 3.6.3.1 Sensor de temperatura LM35

El sensor de temperatura LM35 (Ver Fig. 3.6.3.1.1) es un circuito integrado de salida de voltaje analógica que varía de acuerdo a la temperatura sensada. Debido a su amplio rango de medición se utilizará para realizar las mediciones en la estación de calentamiento de muestras. En la Fig. 3.6.3.1.2 se muestra el diagrama esquemático del sensor LM35.

#### Especificaciones:

- ✓ Configurado para ser leído en Celsius
- ✓ Rango de trabajo entre -55 °C a 150 °C
- ✓ Precisión +/- 0.5 °C
- ✓ Factor de escala lineal +10mV / °C
- ✓ Opera con tensiones de 4V a 30V
- ✓ Menos de 60 uA de consumo





Fig. 3.6.3.2.1: Fototransistor L14G1

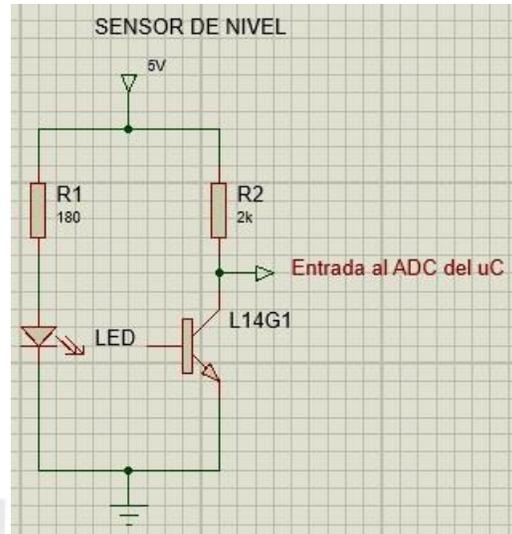


Fig. 3.6.3.2.2: Diagrama esquemático del circuito detector de nivel.



Fig. 3.6.3.2.3: Ubicación Fototransistor - LED

### 3.6.3.3 Detector de nivel de agua

El sensor de nivel de agua a emplear será un switch magnético (Ver Fig. 3.6.3.3.1), el cual se cierra cuando el flotador llega a tocar la base y se mantiene abierto cuando este se encuentra flotando. En la Fig. 3.6.3.3.2 se muestra el diagrama esquemático del sensor de nivel de agua.

### Características:

- ✓ Resistencia circuito cerrado 0.4  $\Omega$
- ✓ Rango de trabajo entre -10 °C a 85 °C
- ✓ Dimensiones : 5.8 cm largo 1.8 cm ancho



Fig. 3.6.4.3.1: Detector de nivel de agua



Fig. 3.6.4.2.2: Diagrama esquemático del circuito detector de nivel de agua.

### 3.6.3.4 Sensor Fin de Carrera

El sensor fin de carrera (Ver Fig. 3.6.3.4.1) será usado para la calibración de la posición del desplazamiento lineal, de esta manera se asegura empezar siempre en la misma posición y por ende no habrá errores al momento de desplazar las muestras por las diversa estaciones del sistema automatizado.



Fig. 3.6.3.4.1: Interruptor Fin de Carrera



### 3.6.4.2 Pulsador de arranque y parada

Se usará pulsadores de arranque y parada para encender el sistema y apagarlo en caso de una emergencia. A continuación, la figura 3.6.4.2.1 muestra los pulsadores descritos previamente.



Figura 3.6.5.2.1: Pulsador de arranque y parada.

### 3.6.5 Controlador

El controlador será el encargado de realizar la toma de decisiones del sistema automatizado, para ello de acuerdo a los valores presentes en los sensores enviara una señal a los excitadores y se activen los actuadores. Para definir el microcontrolador a usarse se definirán en primer lugar los requerimientos que debe cumplir el controlador:

#### Requerimientos del Controlador

- 1 interrupción externa para sensar la posición de referencia y de esta manera realizar el frenado instantáneo del motor a pasos
- 1 interrupción externa para detectar el cruce por cero y de esta manera controlar el ángulo de disparo eficientemente.
- 1 entrada ADC para el sensor de temperatura.
- 3 entradas ADC para los sensores de nivel.
- 1 entrada digital para el sensor de nivel de agua.
- 1 salida digital para generar el disparo del TRIAC.
- 15 salidas digitales para control de las 4 bombas y del motor de pasos □  
Comunicación I2C (pines SCL y SDA) para el control de pantalla LCD.

De lo visto anteriormente se requiere de un controlador con 2 interrupciones externas, 19 pines E/S, 4 entradas ADC y que cuente con el protocolo de comunicación I2C (pines SCL y SDA). Considerando estos requerimientos se presentan los dos microcontroladores : ATmega32U4 (Ver Fig. 3.6.5.1) y ATmega2560 (Ver Fig. 3.6.5.2).

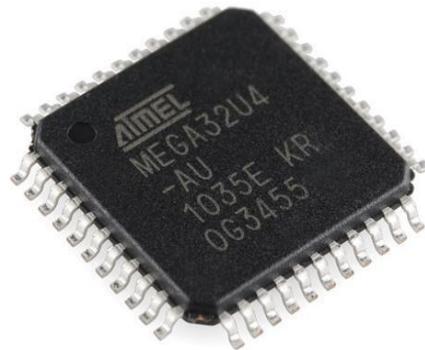


Figura 3.6.5.1: ATmega 32U4



Figura 3.6.5.2: ATmega 2560

La tabla 3.6.5.1 muestra los requerimientos y las características de cada uno de estos elementos de control a fin de seleccionar el micro-controlador.

Tabla 3.6.5.1: Comparación entre microcontroladores.

Requerimientos	ATmega32U4		ATmega2560	
	Característica	¿Cumple?	Característica	¿Cumple?
2 interrupciones externas	5 interrupciones externas (forman parte de E/S digitales)	Sí	6 interrupciones externas (forman parte de E/S digitales)	Sí
19 pines E/S	14 pines E/S	No	54 pines E/S	Sí
4 entradas ADC	6 entradas ADC	Sí	16 entradas ADC	Sí
Protocolo I2C	SCL y SDA	Sí	SCL y SDA	Sí

Fuente: Elaboración propia

Dada la anterior comparación, se observa que el microcontrolador ATmega2560 es el único que cumple con todos los requerimientos; razón por la cual, se opta por escoger este controlador. La figura 3.6.5.3 muestra la configuración de pines del empaquetado SMD del ATmega2560. Por otro lado, se conoce que este microcontrolador es el que está presente en el Arduino Mega2560, es por ello que se utilizará esta tarjeta fabricada; además, debido a que se usará 5 controladores A4988 se usará un “Shield” para Arduino Mega (Ver Figura 3.6.5.4), donde se coloquen estos controladores y así ganar espacio (Ver Anexo 8).

### Características SHIELD para Arduino Mega

- Hardware preparado para sensores de fin de carrera
- Hardware preparado para selección de micropasos
- Condensadores de desacoplo incorporados
- Soporta hasta 5 Drivers A4988
- Entradas de 12v y 5v
- I2C e ISP disponibles
- Diseño compacto

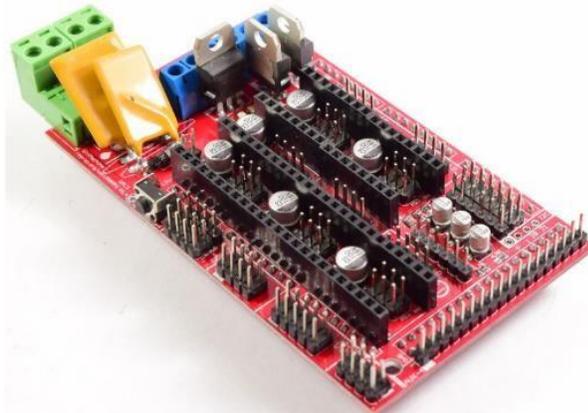


Figura 3.6.5.4: "Shield" Arduino Mega - A4988

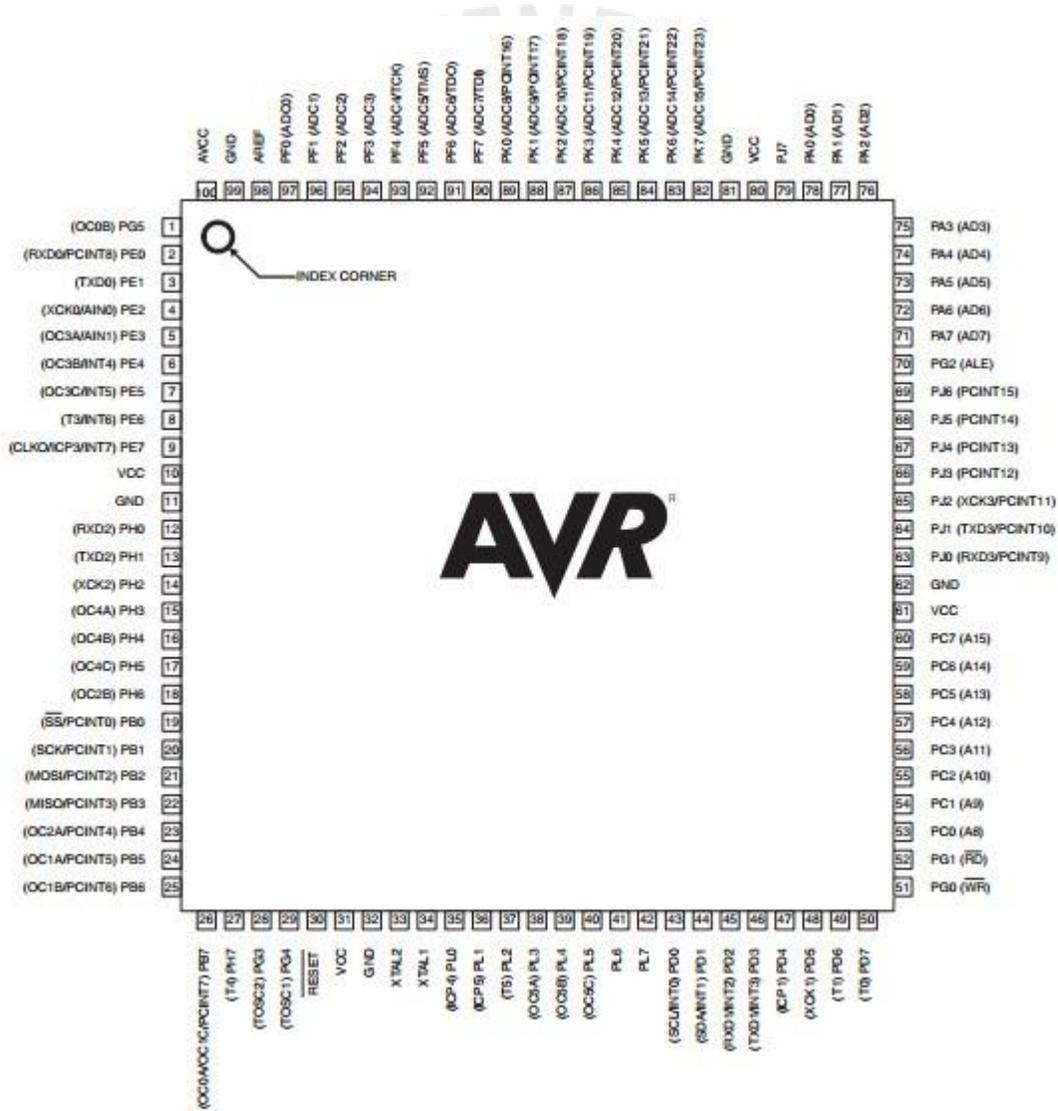


Figura 3.6.5.3.3: Configuración Pines Atmega2560 en SMD

Así mismo, se realiza la distribución de terminales (Ver Tabla 3.6.5.2) donde se establece la conexión entre sensores, actuadores, pulsadores y pantalla con el micro-controlador ATmega2560.

Tabla 3.6.5.2: Distribución de terminales del micro-controlador.

Terminales	Función
PE4	Control de dirección controlador Motor Lineal
PE5	Control de pasos controlador Motor Lineal
PG5	Control de reset controlador Motor Lineal
PE3	Control de dirección controlador Bomba Agua
PH3	Control de pasos controlador Bomba Agua
PH4	Control de reset controlador Bomba Agua
PH5	Control de dirección controlador Bomba Fucsina
PH6	Control de pasos controlador Bomba Fucsina
PB4	Control de reset controlador Bomba Fucsina
PB5	Control de dirección controlador Bomba Alcohol
PB6	Control de pasos controlador Bomba Alcohol
PB7	Control de reset controlador Bomba Alcohol
PJ1	Control de dirección controlador Bomba Azul Metileno
PJ0	Control de pasos controlador Bomba Azul Metileno
PH1	Control de reset controlador Bomba Azul Metileno
PH0	Salida de control de ángulo de disparo
PD3	Entrada sensor fin de carrera (Interrupción)
PD2	Entrada de cruce por cero(Interrupción)
PA0	Entrada sensor de nivel de agua
PF0	Entrada ADC para el sensor de temperatura
PF1	Entrada ADC para el nivel de Fucsina
PF2	Entrada ADC para el nivel de alcohol ácido
PF3	Entrada ADC para el nivel de azul metileno
PD1	Terminal SDA para la comunicación I2C
PD0	Terminal SCL para la comunicación I2C

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.6 Fuentes de Alimentación

Las fuentes de alimentación requeridas para automatizar el sistema deben brindar una tensión de 5 V y 12 V. Para su selección se debe saber la corriente que deben suministrar a partir de las corrientes requeridas por cada componente presente en el diseño. La tabla 3.6.6.1 muestra la corriente requerida por cada dispositivo según su tensión de funcionamiento.

Tabla 3.6.6.1: Requerimientos de las fuentes de alimentación.

<b>Dispositivos de 5 V</b>	<b>Corriente</b>	<b>Dispositivos de 12 V</b>	<b>Corriente</b>
Micro-controlador	500 mA	Motor de pasos	1000 mA
Sensor de temperatura LM35	0.05 mA	Bomba Peristáltica	1000 mA
Pantalla LCD 16x2 + I2C	20 mA		
Optoacoplador	10 mA		
Optotriac	10 mA		
3 sensores de nivel de fucsina, azul metileno y alcohol ácido	45 mA		
1 sensor de nivel de agua	0.5 mA		
5 controladores A4988	50 mA		
<b>Total</b>	<b>635.55 mA</b>	<b>Total</b>	<b>2000 mA</b>

Fuente: Elaboración propia.

Dada la tabla anterior, se observa que los dispositivos de sensado y control necesitan una fuente de 5v a 625.55 mA. Mientras que los actuadores requieren una fuente de 12v a 2 A.

Considerando estos parámetros se opta por escoger una fuente conmutada fabricada, debido a su alta eficiencia, de 12v a 3 A para energizar los actuadores; además, esta fuente a su vez energizará a la fuente lineal de 5V requerida por los dispositivos de sensado y control del sistema. La figura 3.6.6.1 muestra la fuente conmutada que recibe

una señal de 220 VAC y entrega una señal de 12 VDC - 3A, la cual energizará los actuadores y la fuente regulada de 5 VDC. Esta fuente se encuentra disponible en el mercado por un precio de S/. 32. Por otro lado, la figura 3.6.6.2 muestra la fuente lineal (AMS1117) que recibe una señal de 12v y entrega una señal de 5 V DC - 800 mA. , la cual energizará a los sensores y el microcontrolador. Ésta fuente se encuentra disponible en el mercado por un precio de S/. 8. Para la selección de ambas fuentes, por factores de seguridad, se tomó en cuenta un margen de 30% de corriente superior a los requerimientos.



Figura 3.6.6.1: Fuente conmutada 12 VDC @ 3 A.



Figura 3.6.6.2: Fuente regulada AMS1117 5 VDC @ 800 mA.

## **3.7 Software**

### **3.7.1 Introducción**

Luego de presentar el diseño mecánico y el hardware electrónico del sistema, se procede a realizar el diseño del software electrónico que permitirá el control y monitoreo de las variables involucradas en el proceso. A continuación, se presenta el diagrama de flujo del programa principal y de las subrutinas que este invoca para que se logre la automatización del proceso de tinción en simultáneo de 4 muestras de esputo.

### **3.7.2 Programa Principal**

En el programa principal se definen las constantes como la velocidad máxima y mínima en RPM del motor a pasos y de las Bombas peristálticas, la cantidad de pasos, los ángulos de disparo para el control la lámpara halógena, el tiempo necesario para activar el Triac, el tiempo establecido para el calentamiento y dispensado de cada reactivo, los tiempos de espera entre cada rutina y los pines del microcontrolador que se asignarán a los diversos dispositivos. Asimismo, se configurarán los puertos de E/S, la comunicación I2C y las interrupciones del sensor fin de carrera y del detector de cruce por cero. Por último, se llaman las subrutinas que realizan la calibración, el desplazamiento de muestras, el dispensado de reactivos y el calentamiento de muestras. A continuación, la figura 3.7.2.1 muestra el diagrama de flujo del programa principal del sistema.

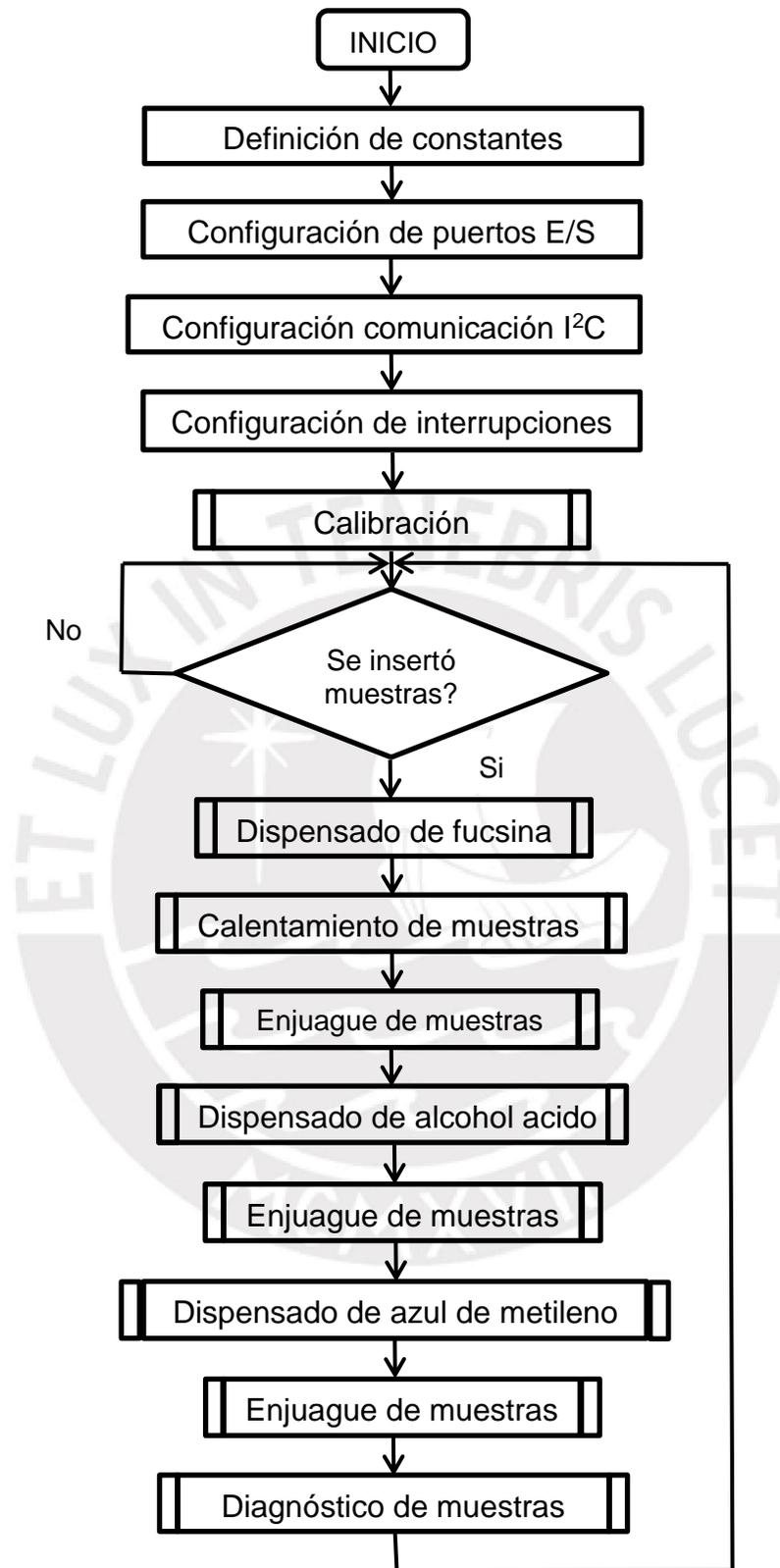


Figura 3.7.2.1: Diagrama de flujo del programa principal.

### 3.7.3 Subrutinas

#### 3.7.3.1 Subrutina de Calibración

Esta subrutina permite ubicar en una posición deseada el motor de pasos encargado del desplazamiento lineal, de esta manera fijamos una posición inicial y a partir de ésta nos desplazaremos a las distintas estaciones del sistema automatizado. Primero, se hace girar el motor en sentido anti horario hasta que se detecte el sensor fin de carrera y mediante una interrupción se pare el motor, después se hará girar el motor en sentido horario una cantidad conocida de pasos para obtener la posición inicial deseada ; por último , se mostrará en la pantalla un mensaje de confirmación. A continuación, la figura 3.7.3.1.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina de Calibración.

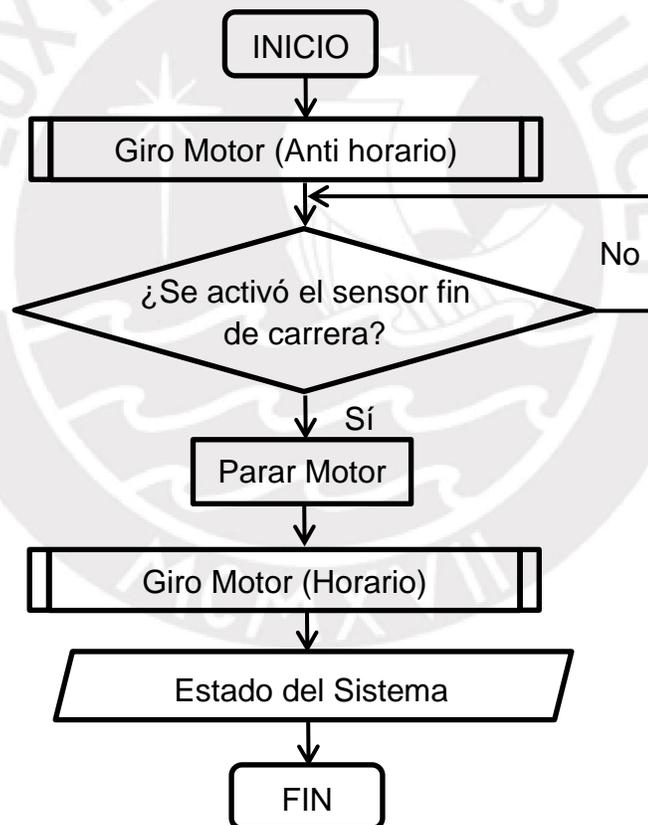


Figura 3.7.3.1.1: Diagrama de flujo de la subrutina de Calibración

### 3.7.3.2 Subrutina de Dispensado de Fucsina

Después de validar si se insertaron las muestras mediante el pulsador de arranque el programa se va a la subrutina de dispensado de fucsina en donde se realiza el dispensado de fucsina filtrada. En primer lugar, las muestras se desplazan a la estación de tinción, para ello se invoca la subrutina Girar Motor Arranque, donde se le pasan los parámetros de velocidad inicial, velocidad final y sentido de giro; y después a la subrutina Girar Motor, donde se le pasa los parámetros de distancia, velocidad de giro y sentido de giro, luego se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Finalmente, se invoca la subrutina Inyecta Líquido cuyos parámetros son tipo de líquido y tiempo de dispensado. A continuación, la figura 3.7.3.2.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de Fucsina.

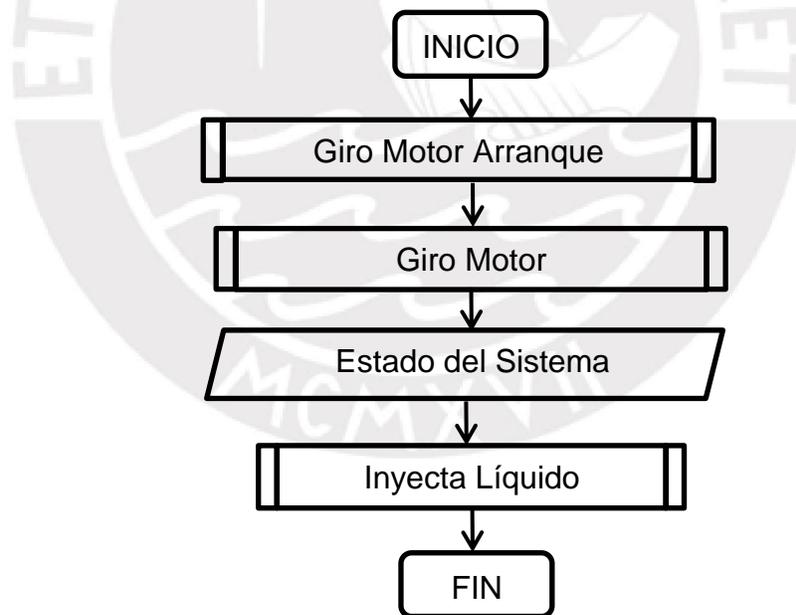


Figura 3.7.3.2.1: Diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de fucsina.

### 3.7.3.3 Subrutina Calentamiento de muestras

Esta subrutina realiza el calentamiento de las muestras. En primer lugar, se invoca a la subrutina Giro Motor Arranque, luego se invoca la subrutina Giro Motor. Luego, se activa la interrupción de detección de cruce por cero para enseguida invocar a la subrutina Control de temperatura que calienta las muestras a una temperatura deseada por un determinado tiempo definido en el programa principal, después se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Por último, se desactiva la interrupción detector de cruce por cero y se espera 3 minutos que son necesarios para la fijación de la fucsina en las paredes de la bacteria. A continuación, la figura 3.7.3.3.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Calentamiento de muestras.

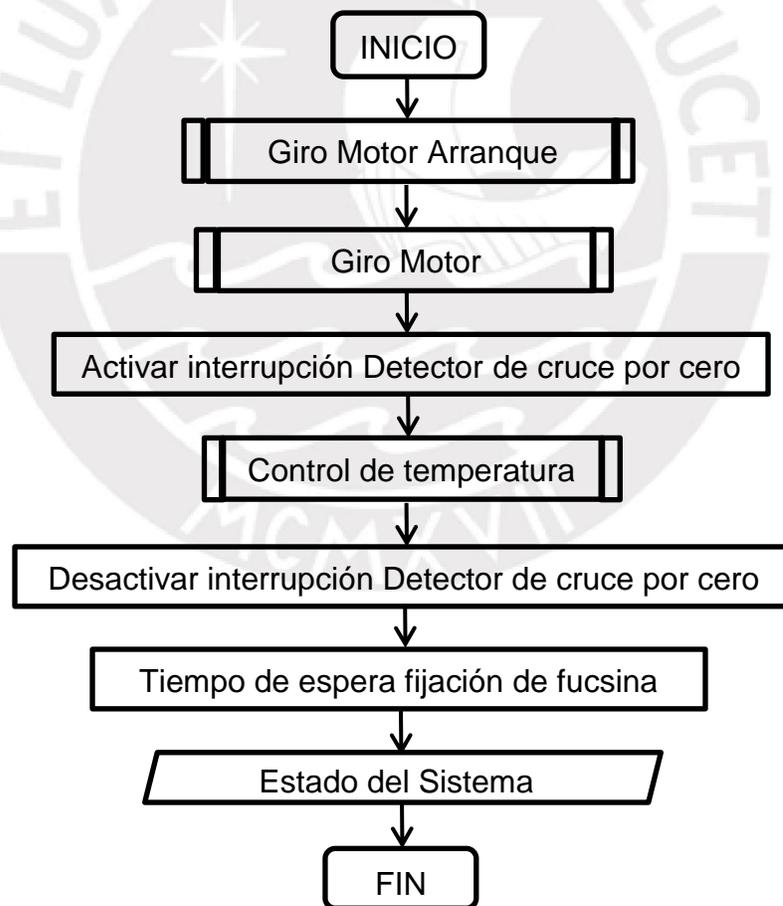


Figura 3.7.3.3.1: Diagrama de flujo de la subrutina Calentamiento de muestras.

#### 3.7.3.4 Subrutina Enjuague de Muestras

Esta subrutina realiza el lavado de las muestras con agua filtrada. En primer lugar, se invoca a la subrutina Giro Motor Arranque, luego se invoca la subrutina Giro Motor después se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Finalmente, se invoca la subrutina Enjuague a la cual se le pasa el parámetro de tiempo de dispensado de agua. A continuación, la figura 3.7.3.4.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Lavado de muestras.

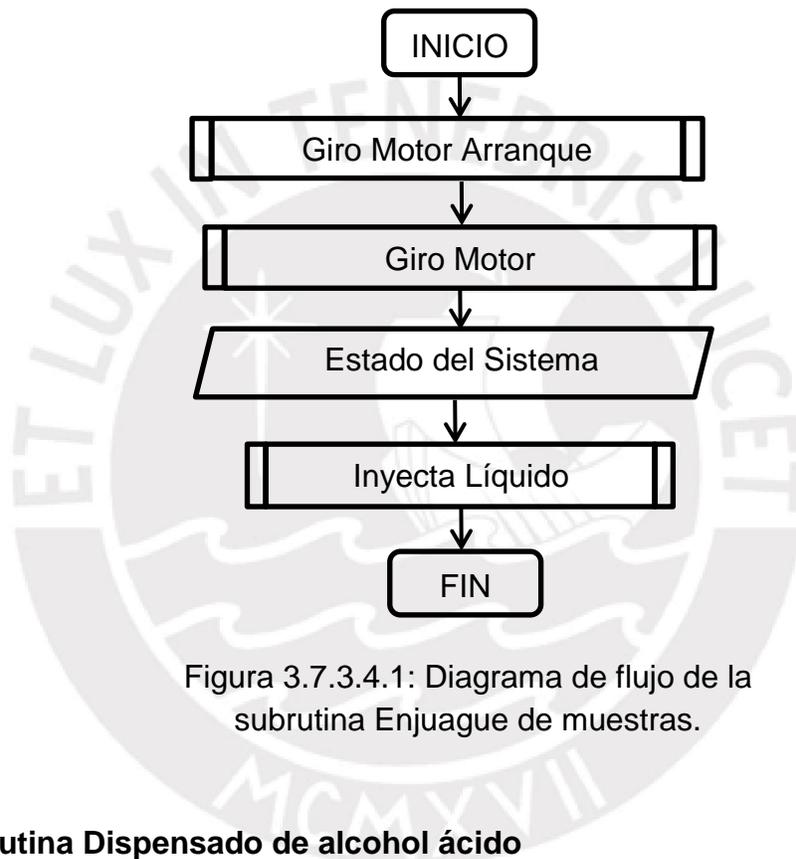


Figura 3.7.3.4.1: Diagrama de flujo de la subrutina Enjuague de muestras.

#### 3.7.3.5 Subrutina Dispensado de alcohol ácido

Esta subrutina realiza la dispensación de alcohol ácido; para ello se invoca a la subrutina Girar Motor Arranque, donde se le pasan los parámetros de velocidad inicial, velocidad final y sentido de giro; y después a la subrutina Girar Motor, donde se le pasa los parámetros de distancia velocidad de giro y sentido de giro, luego se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Luego, se invoca la subrutina Inyecta Líquido cuyos parámetros son tipo de líquido y tiempo de dispensado y por último se espera 2 minutos para que el

alcohol actúe de decolorante. La figura 3.7.3.5.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de alcohol ácido.

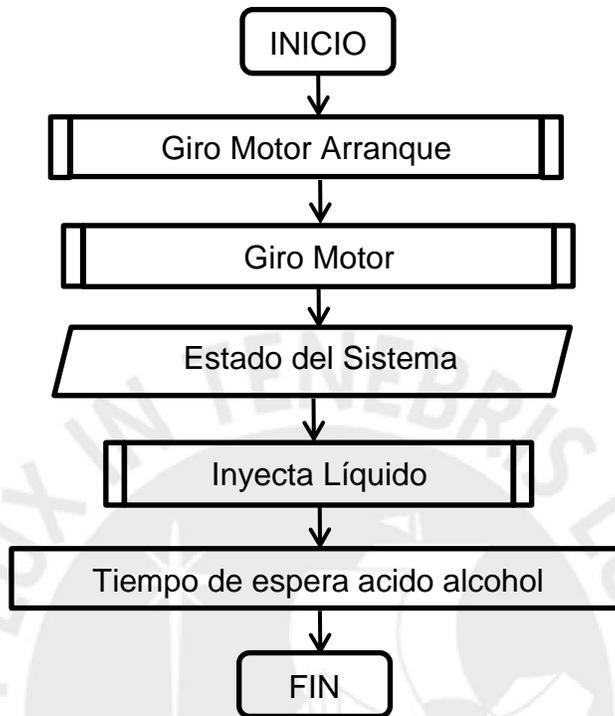


Figura 3.7.3.5.1: Diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de alcohol ácido.

### 3.7.3.6 Subrutina Dispensado de azul de metileno

Esta subrutina realiza la dispensación de azul de metileno; para ello se invoca a la subrutina Girar Motor Arranque, donde se le pasan los parámetros de velocidad inicial, velocidad final y sentido de giro; y después a la subrutina Girar Motor, donde se le pasa los parámetros de distancia velocidad de giro y sentido de giro, luego se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Luego, se invoca la subrutina Inyecta Liquido cuyos parámetros son tipo de líquido y tiempo de dispensado y finalmente se espera 1 minuto para que el azul de metileno actúe como contraste y se pueda apreciar de mejor manera los bacilos causantes de la tuberculosis. A continuación, la figura 3.7.3.6.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de Azul de Metileno.

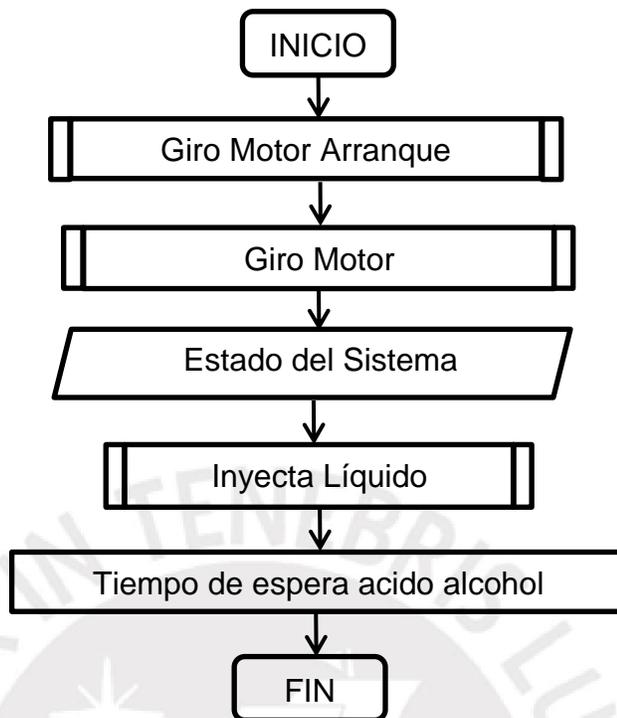


Figura 3.7.3.6.1: Diagrama de flujo de la subrutina Dispensado de azul de metileno.

### 3.7.3.7 Subrutina Diagnóstico de muestras

Esta subrutina permite ubicar las muestras en la estación de Diagnóstico de muestras para que mediante un microscópico se haga un conteo de bacterias y se pueda dar un diagnóstico de la enfermedad; para realizar esta tarea primero se invoca a la subrutina Girar Motor Arranque, donde se le pasan los parámetros de velocidad inicial, velocidad final y sentido de giro; y después a la subrutina Girar Motor, donde se le pasa los parámetros de distancia velocidad de giro y sentido de giro, luego se muestra el estado actual del sistema en pantalla. Por último, se esperará a que se presione el pulsador de arranque para desplazarse a la posición inicial y retirar las muestras. A continuación, la figura 3.7.3.7.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Diagnóstico de muestras.

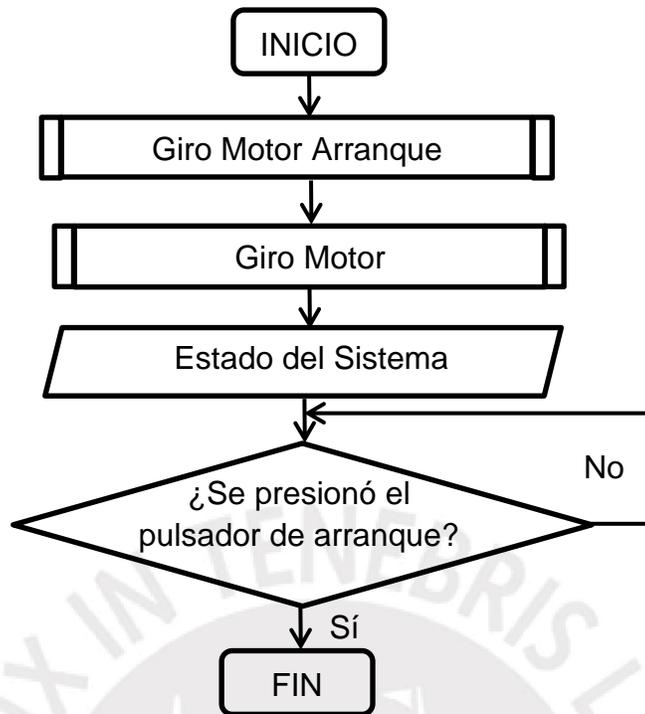


Figura 3.7.3.7.1: Diagrama de flujo de la subrutina Diagnóstico de muestras

### 3.7.3.8 Subrutina Giro Motor Arranque

Esta subrutina permite lograr un arranque lento del motor para evitar un pico de corriente y que se pierdan los pasos del motor; para ello en esta función se ingresan los siguientes parámetros: velocidad inicial, velocidad final y sentido de giro; con ello se logrará un aumento lineal de la velocidad del motor y se asegura que no se rompa la tensión superficial ya que el arranque del motor es suave. A continuación, la figura 3.7.3.8.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Giro Motor Arranque.

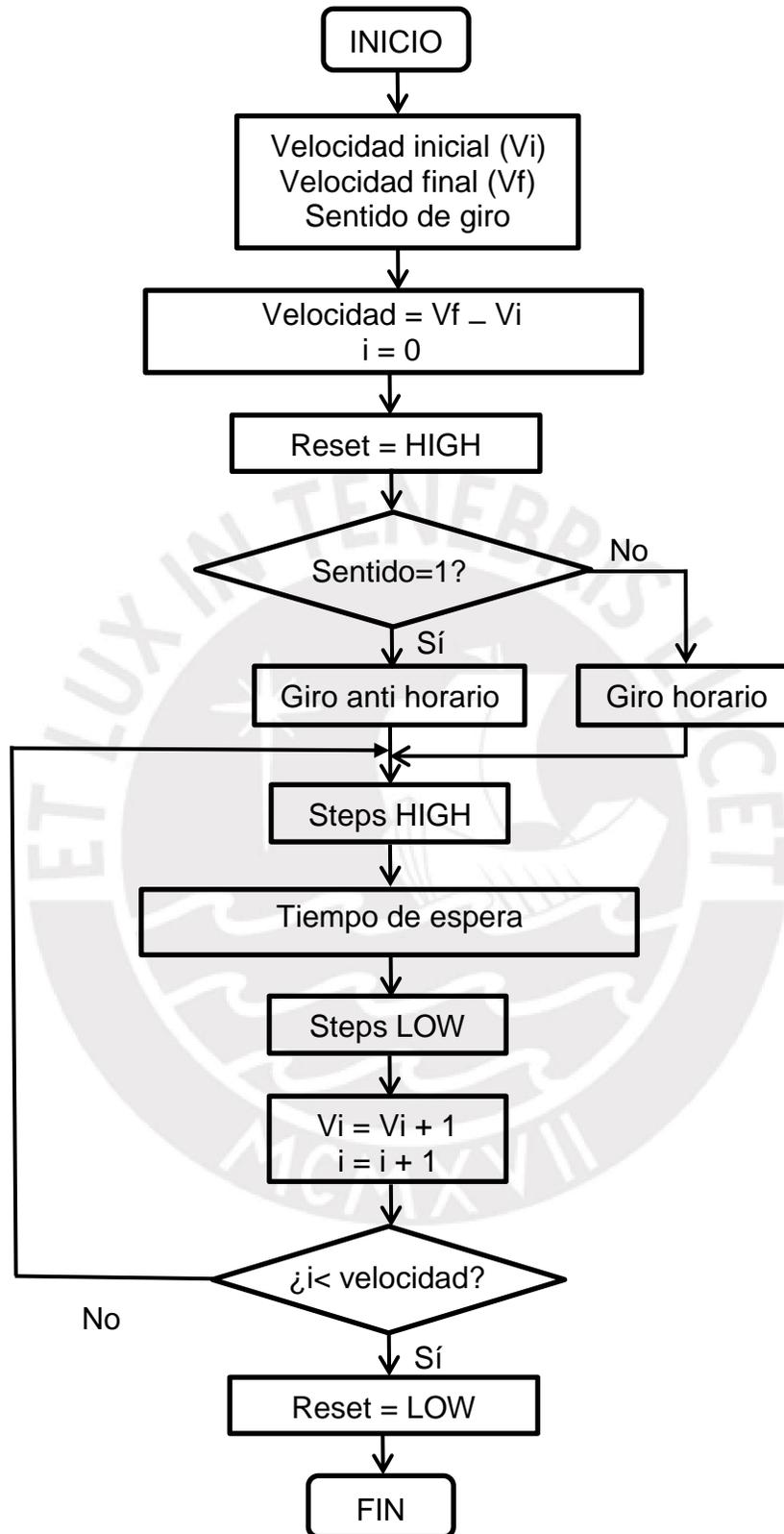


Figura 3.7.3.8.1: Diagrama de flujo de la subrutina Giro Motor Arranque.

### 3.7.3.9 Subrutina Inyecta Líquido

Esta subrutina permite realizar la dispensación de reactivos. En primer lugar, se recibe como parámetro el tipo de reactivo a dispensar y el número de pasos, luego se invoca a la subrutina Giro Motor que permite activar la bomba peristáltica para que se dispense el agua o reactivo sobre las muestras y finalmente se muestra el estado actual del sistema en pantalla. A continuación, la figura 3.7.3.9.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Inyecta Líquido.

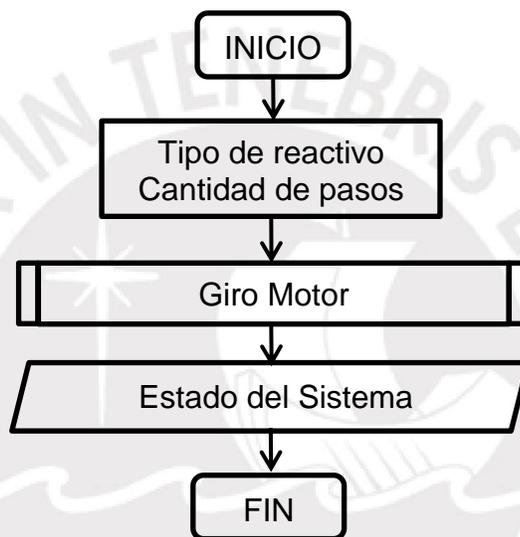


Figura 3.7.3.9.1: Diagrama de flujo de la subrutina Inyecta Líquido.

### 3.7.3.10 Subrutina Giro Motor

Esta subrutina permite lograr el giro del motor después de lograr el arranque suave descrito en la subrutina Giro Motor Arranque; para ello se ingresan los siguientes parámetros: cantidad de pasos, velocidad de giro y sentido de giro. La velocidad de giro definida será igual a la velocidad final de la subrutina Giro Motor Arranque. A continuación, la figura 3.7.3.9.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Giro Motor.

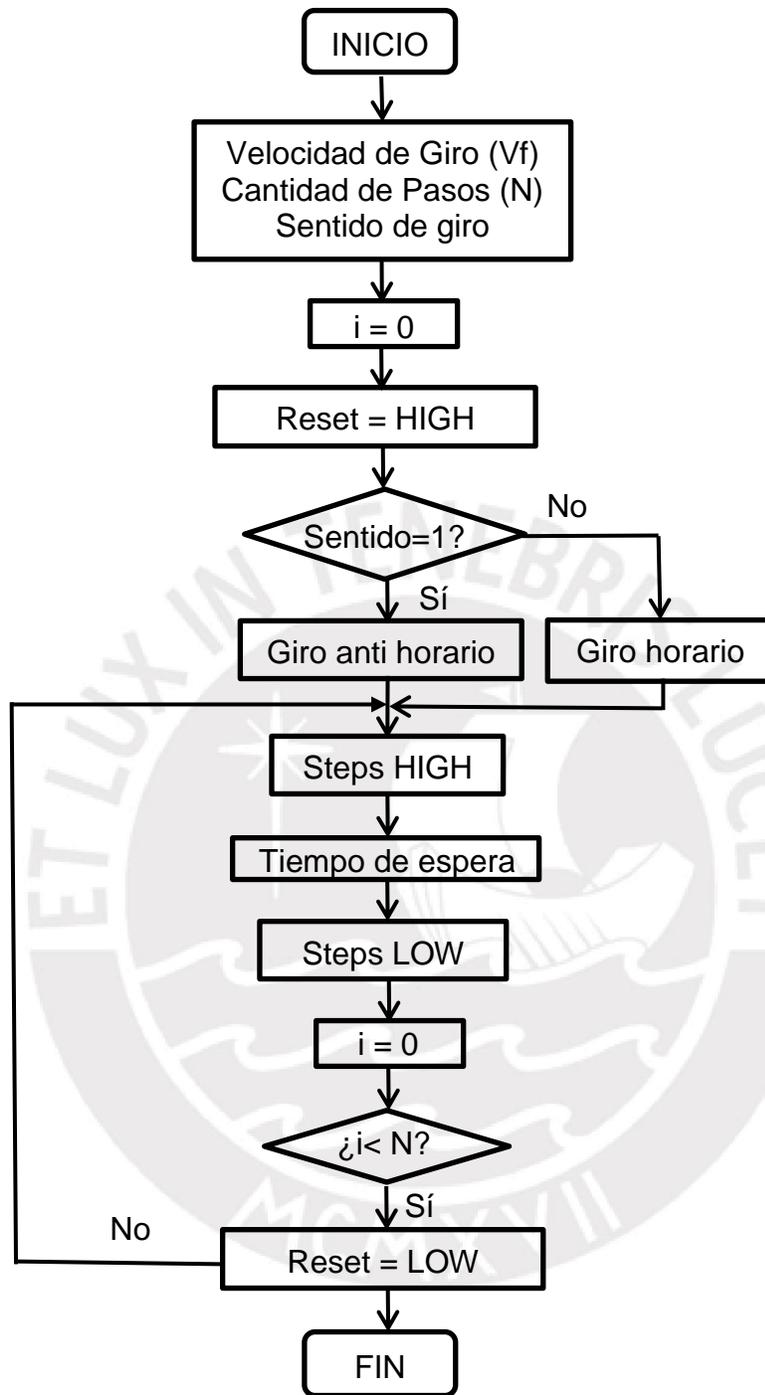


Figura 3.7.3.10.1: Diagrama de flujo de la subrutina Giro Motor.

### 3.7.3.11 Subrutina Control de Temperatura

Esta subrutina establece la lógica de control definida para calentar las muestras. En primer lugar, se lee la temperatura del sensor de temperatura, después se calcula el error que resulta de la diferencia entre la temperatura deseada ( $S_p$ ) y la temperatura actual ( $P_v$ ), luego, si el error es mayor a  $2\text{ }^\circ\text{C}$  se establece un ángulo de disparo mínimo definido como constante en el programa principal; de lo contrario, se realiza un control PID ( $k_p * \text{error} + k_i * \text{errSum} + k_d * d\text{Err}$ ) y finalmente se muestra la temperatura del sistema. A continuación, la figura 3.6.3.11.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Control de temperatura.

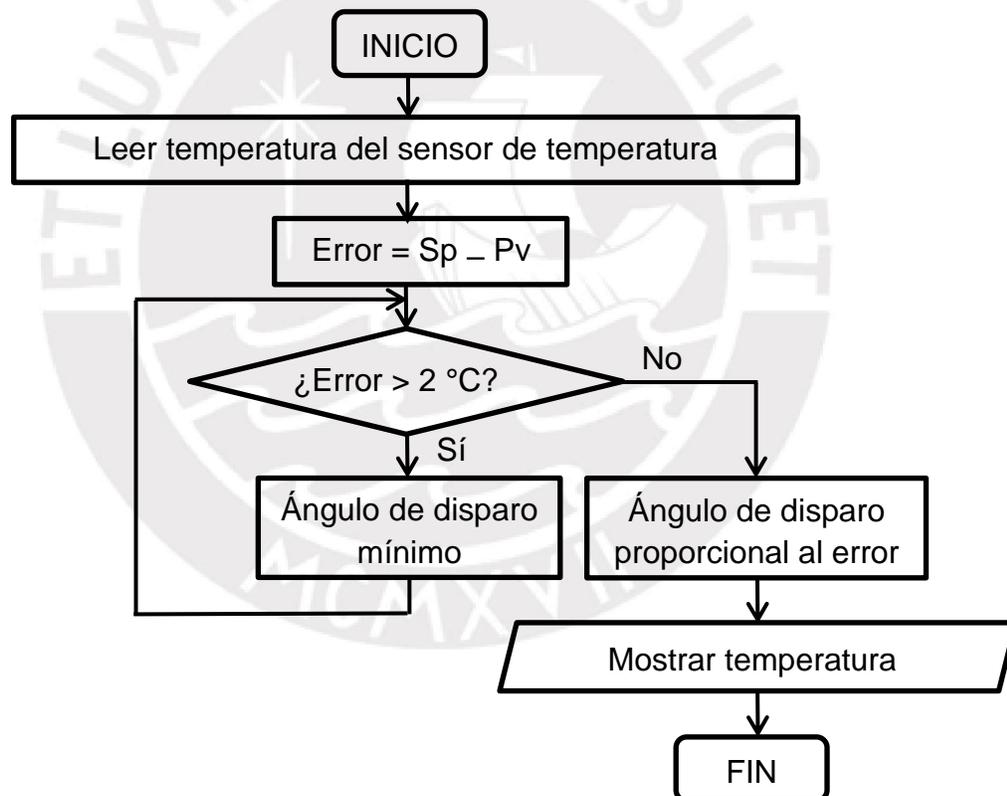


Figura 3.6.3.11.1: Diagrama de flujo de la subrutina Control de temperatura.

### 3.7.3.12 Subrutina de Interrupción Detector de cruce por cero

Esta subrutina de interrupción se ejecuta cuando se detecta un flanco de bajada de la señal de cruce por cero y a partir de ese momento espera que pase el tiempo del ángulo de disparo determinado en la subrutina Control de temperatura, después se manda un pulso de 5  $\mu$ s al “gate” del TRIAC para que entre a estado de conducción. A continuación, la figura 3.6.3.12.1 muestra el diagrama de flujo de la subrutina Detector de cruce por cero.

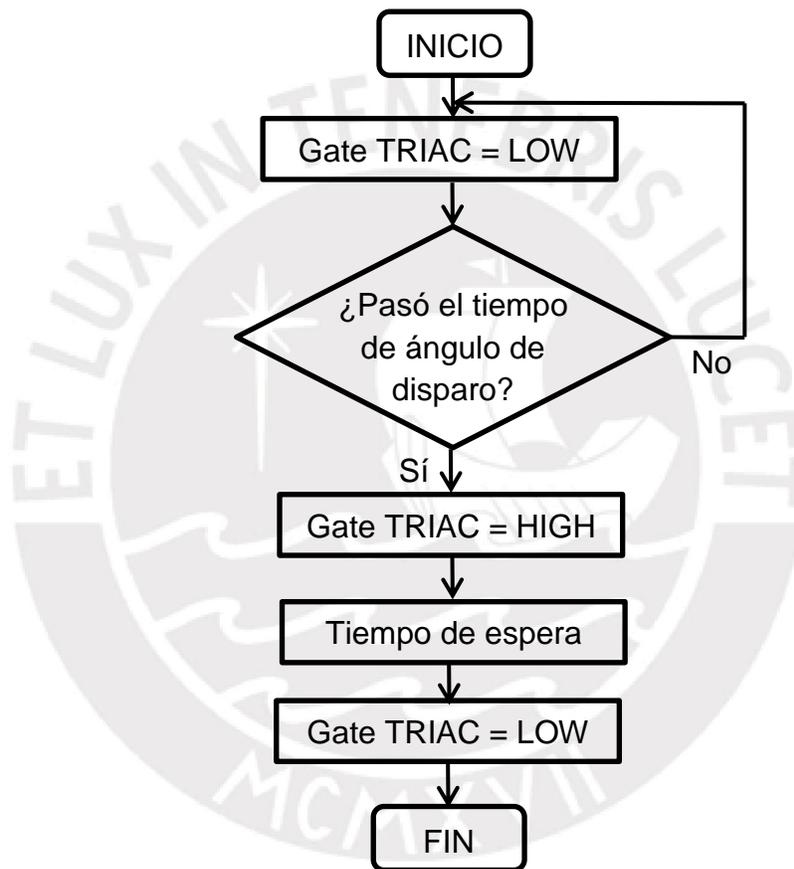


Figura 3.6.3.12.1: Diagrama de flujo de la subrutina Detector de cruce por cero.

## 3.8 Costo del prototipo Funcional

El costo del equipo diseñado es importante de manera que este pueda ser adquirido sin inconvenientes por los centros de salud del país. Por lo tanto, en

la tabla 3.8.1, se muestra el costo de desarrollo que tendría el sistema electrónico de este prototipo funcional.

Tabla 3.8.1: Costo del sistema electrónico del prototipo.

Concepto	Costo (S/.)
Diseño electrónico y desarrollo de software	S/. 1500.00
Sistema mecánico	S/. 500.00
Implementación del equipo automatizado	S/. 250.00
Tarjetas electrónicas	S/. 100.00
4 bombas peristálticas	S/. 120.00
1 lámpara halógena tipo bi pin	S/. 15.00
Fuente conmutada 12 VDC - 3 A	S/. 32.00
5 Controladores motor paso a paso	S/. 60.00
Motor paso a paso nema 17	S/. 30.00
1 Arduino Mega	S/. 80.00
Sensor de nivel de agua	S/. 15.00
Pantalla LCD 16x2	S/. 15.00
1 Shield controladores Motores de paso	S/. 40.00
Transformador 220Vrms - 12 Vrms 0.5 A	S/. 10.00
Pulsadores	S/. 10.00
Fuente regulada 5 VDC - 850 mA	S/. 8.00
3 fototransistores L14G1	S/. 9.00
Sensor de temperatura LM35	S/. 5.00
Triac BT136	S/. 5.00
Tarjeta I2C PCF8574	S/. 5.00
Resistencia y capacitores de diversos valores	S/. 10.00
1Triac BT136	S/. 5.00
Sensor fin de carrera	S/. 2.00
Optoacoplador H11AA1	S/. 3.00
Optotriac MOC3021M	S/. 3.00
1 Disipador	S/. 1.00
3 Diodos Led	S/. 3.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 2,836.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 4

### Ensayos en el equipo

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se verificará el funcionamiento del hardware y software electrónico del sistema. Para ello se realizarán ensayos de desplazamiento de muestras así como de ensayos en las estaciones de calentamiento de muestras y tinción de muestras. Por lo tanto, se realizará la medición de las señales eléctricas (tensión, corriente) de cada uno de los circuitos haciendo uso de instrumentos de medición; así mismo, se determinarán las señales físicas (velocidad, tiempo, temperatura) obtenidas al variar la señal de control. En resumen, se realizarán los siguientes ensayos:

##### **Desplazamiento lineal de muestras**

- Ensayos de velocidad del motor a pasos.
- Ensayos de desplazamiento de muestras.
- Ensayos de la interfaz de usuario

##### **Estación de calentamiento de muestras**

- Ensayos de temperatura con el sensor LM35.
- Ensayos del circuito detector de cruce por cero.
- Ensayos de distintos ángulos de disparo.
- Ensayos de la interfaz de usuario

##### **Estación de tinción de muestras**

- Ensayos de control de flujo de dispensado.
- Ensayos de dispensado de reactivos.
- Ensayos de la interfaz de usuario

## 4.2 Ensayos de los circuitos electrónicos y resultados

### 4.2.1 Ensayos Desplazamiento lineal de muestras

#### 4.2.1.1 Ensayos de velocidad del motor a pasos

En este ensayo se estudió el comportamiento del motor a pasos a diferentes velocidades y en diferentes modos con el fin de conocer el rango adecuado funcionamiento y evitar errores de precisión debido a las vibraciones del motor. Para realizar adecuadamente los ensayos se configuró en el controlador A4988 la corriente a la cual opera el motor a pasos Nema 17, la cual es 1 Amperio. A continuación se muestran las fórmulas de la hoja de datos del controlador y los cálculos realizados.

$$\text{Limite de corriente} = V_{\text{ref}} \times 2.5$$

$$\text{Limite de corriente} = \text{Corriente del motor} / 0.7$$

Debido a que la corriente de funcionamiento del motor a pasos Nema17 es 1 A.

$$\text{Limite de corriente} = 1.4 \text{ A}$$

$$1.4 = V_{\text{ref}} \times 2.5$$

$$V_{\text{ref}} = 0.56 \text{ V}$$

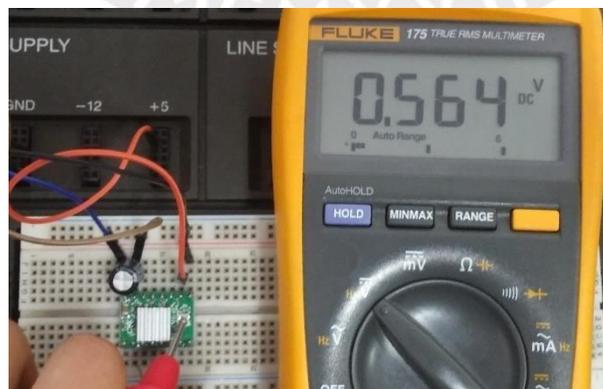


Figura 4.2.1.1.1: Configuración del Vref.

A continuación, la tabla 4.2.1.1.1 muestra las pruebas del motor en modo “full step”, en el cual 1 vuelta equivale a 200 pasos del motor.

Tabla 4.2.1.1.1: Pruebas de comportamiento del actuador en modo “full step”

<b>VELOCIDAD MOTOR (RPM)</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ACTUADOR</b>
56	Se mueve pero hay mucha vibración
100	Se mueve pero hay vibración
120	No hay problemas
160	No hay problemas
200	No hay problemas
250	Se mueve pero hay vibración
300	Se mueve pero hay mucha vibración

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la tabla 4.2.1.1.2 muestra las pruebas del motor en modo “1/16 step”, en el cual 1 vuelta equivale a 3200 pasos del motor.

Tabla 4.2.1.1.2: Pruebas de comportamiento del actuador en modo “1/16 step”

<b>VELOCIDAD MOTOR (RPM)</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ACTUADOR</b>
40	No se mueve (hay vibración)
56	Se mueve pero hay vibración
75	No hay problemas
100	No hay problemas
188	No hay problemas
220	Se mueve pero hay vibración
375	Se mueve pero hay mucha vibración

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos realizados se observó que hay un mejor comportamiento del motor a pasos cuando trabaja en modo 1/16 paso y además el rango de velocidades en los que no hay problemas es mayor, por ello se decide usar este modo para todas las pruebas del sistema automatizado.

#### 4.2.1.2 Ensayos de desplazamiento de muestras

En este ensayo se estudió el comportamiento del desplazamiento de muestras, prestando atención en evitar romper la tensión superficial de las muestras en movimiento y en controlar el tiempo de desplazamiento de las mismas. Los ensayos fueron realizados en modo 1/16 de paso.

A continuación, la tabla 4.2.1.2.1 muestra las pruebas de comportamiento de las muestras cuando son desplazadas a diferentes velocidades y el tiempo que toman en desplazarse a lo largo del eje de 22 cm.

Tabla 4.2.1.2.1: Pruebas de comportamiento de muestras

<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (S)</b>
80	No se rompe la tensión superficial	3.51
100	No se rompe la tensión superficial	2.80
120	No se rompe la tensión superficial	2.33
140	No se rompe la tensión superficial	2.00
160	No se rompe la tensión superficial	1.69
180	Se rompe la tensión superficial	1.56
200	Se rompe la tensión superficial	1.41

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos realizados se observó que a velocidades mayores de 180 RPM se rompe la tensión superficial, es por ello que se usará como velocidad del motor la máxima posible a la cual no ocurra este problema. Por ello se escoge la velocidad de 160 RPM debido a su buen comportamiento con las muestras en movimiento y a su rapidez.

Por otro lado, es necesario comprobar la precisión del desplazamiento lineal del motor a pasos por ello a partir de la velocidad definida la cual es 160 RPM se calculará los tiempos para realizar una determinada distancia de desplazamiento y así comprobar la precisión del sistema de desplazamiento

$$\text{Velocidad (rad/s)} = 160 \text{ rpm} * \pi/30 = 16.76 \text{ rad/s}$$

$$\text{Velocidad (m/s)} = \text{Velocidad (rad/s)} * \text{radio} = 16.76 * 0.0075 = 0.13 \text{ m/s}$$

$$tiempo_1 = \frac{\text{longitud lineal } 0.22 \text{ m}}{\text{Velocidad mín (m/s)} = 0.13 \text{ m/s}} = 1.70 \text{ s}$$

$$tiempo_2 = \frac{\text{longitud lineal } 0.15 \text{ m}}{\text{Velocidad mín (m/s)} = 0.13 \text{ m/s}} = 1.15 \text{ s}$$

$$tiempo_3 = \frac{\text{longitud lineal } 0.10 \text{ m}}{\text{Velocidad mín (m/s)} = 0.13 \text{ m/s}} = 0.77 \text{ s}$$

$$tiempo_4 = \frac{\text{longitud lineal } 0.04 \text{ m}}{\text{Velocidad mín (m/s)} = 0.13 \text{ m/s}} = 0.31 \text{ s}$$

A continuación la tabla 4.2.1.2.2 muestra las pruebas de precisión de desplazamiento lineal de muestras, por ello se midió la distancia recorrida con ayuda de un pie de rey después de que el motor a pasos esté funcionando durante los tiempos calculados anteriormente.

Tabla 4.2.1.2.1: Pruebas de precisión de desplazamiento de muestras

Distancia Definida (cm)	Cantidad Medida (cm)			Error máximo
22	22.1	22.02	22.05	0.45%
16	15.95	16	16	0.31 %
10	10	10.03	9.97	0.3%
4	3.98	4.1	4	2.5%

Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, se registró un error menor a +/- 4% para diversos valores de distancia definida. Por lo tanto, se verifica el correcto funcionamiento de este circuito.

### 4.2.1.3 Ensayos de interfaz de usuario

En este ensayo se verifica el correcto funcionamiento de la pantalla LCD y la tarjeta I2C. En primer lugar, la figura 4.2.1.3.1 indica al laboratorista que la máquina se encuentra calibrada. En segundo lugar, la figura 4.2.1.3.2 muestra el mensaje para que el laboratorista inserte las 4 muestras. Finalmente, la figura 4.2.1.3.3 recuerda al laboratorista que después de insertar las muestras debe presionar el pulsador para continuar con el proceso de tinción automatizada.



Fig. 4.2.1.3.1: Máquina Calibrada



Fig. 4.2.1.3.2: Inserción de muestras



Fig. 4.2.1.3.3: Continuar proceso

## 4.2.2 Ensayos de la Estación de calentamiento de muestras

### 4.2.2.1 Ensayos de temperatura con el sensor LM35

En este ensayo, se realizó la comparación entre la temperatura obtenida por el sensor de temperatura LM35 y el calibrador de temperatura TECHNE a fin de calibrar el sensor LM35. Previo a la adquisición de datos, se verificó la calibración del calibrador TECHNE el cual cuenta con una exactitud de  $\pm 0.1$  grados centígrados; por lo tanto, este indicará la temperatura real de manera que se pueda calibrar el sensor LM35. A continuación, se realizará la adquisición de datos del sensor de temperatura LM35 para diversas temperaturas.



Temperatura = 26.05  
Temperatura = 26.08

Figura 4.2.2.1.1: Medición a temperatura ambiente.



Temperatura = 35.03  
Temperatura = 35.03

Figura 4.2.2.1.2: Medición a 35 ° C.



Temperatura = 49.89  
Temperatura = 49.87

Figura 4.2.2.1.3: Medición a 50 ° C.



Temperatura = 64.73  
Temperatura = 64.70

Figura 4.2.2.1.4: Medición a 65 ° C.



Temperatura = 80.08  
 Temperatura = 80.07

Figura 4.2.2.1.5: Medición a 80 ° C.

A continuación la tabla 4.2.2.1.1 muestra el error máximo obtenido para cada una de las mediciones realizadas.

Tabla 4.2.2.1.1: Pruebas de precisión de sensor LM35

Temperatura calibrador(°C)	Temperatura sensor (°C)		Error máximo
25.98	26.05	26.08	0.38%
35.08	35.03	35.03	0.14 %
49.58	49.89	49.87	0.63%
64.69	64.73	64.70	0.06%
80.10	80.08	80.07	0.03%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2.2 Ensayo del circuito detector de cruce por cero

En este ensayo, se medirá en el osciloscopio las señales involucradas en el circuito de detección de cruce por cero. Este circuito permitirá establecer un punto de referencia para que a partir de este instante, se lleve a cabo el control de ángulo de disparo y se pueda regular la potencia en la carga.

A continuación la figura 4.2.2.2.1 muestra el voltaje a la salida del transformador 220Vrms / 12 Vrms .Esta señal tiene un Vrms de 12.8 V y una frecuencia de 60.1 Hz, los cuales están dentro de los parámetros permitidos de diseño y por ende se determina que el transformador se encuentra funcionando de manera adecuada.

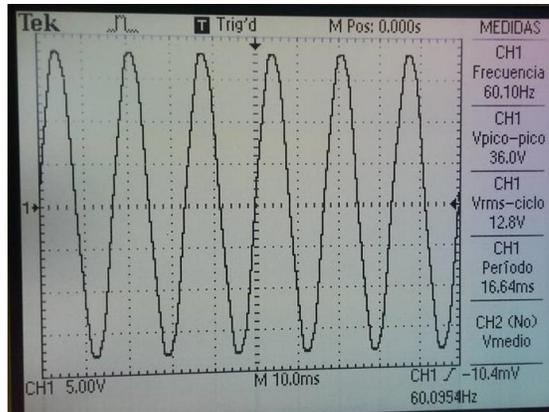
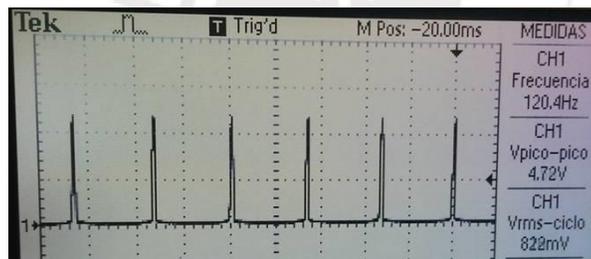


Figura 4.2.2.2.1: Voltaje secundario del transformador.

A continuación la figura 4.2.2.2.2 muestra la señal de cruce por cero, la cual presenta una frecuencia de 120.4 Hz y un Vpp de 4.72 V, además se comprobó vía software la detección del mismo. Por lo tanto, se verifica el correcto funcionamiento del circuito detector de cruce por cero.



Se detectó cruce por cero  
 Se detectó cruce por cero  
 Se detectó cruce por cero  
 Se detectó cruce por cero

Figura 4.2.2.2.2: Detección de cruce por cero y verificación.

### 4.2.2.3 Ensayo del circuito de control de ángulo de disparo

En este ensayo, se realizará las mediciones de las ondas de voltaje obtenida a partir de distintos ángulos de disparos a fin de verificar el correcto funcionamiento del circuito de control de ángulo de disparo.

A continuación, la figura 4.2.2.3.1 muestra la señal de salida y el pulso de activación de Triac para un ángulo de disparo de 150°.

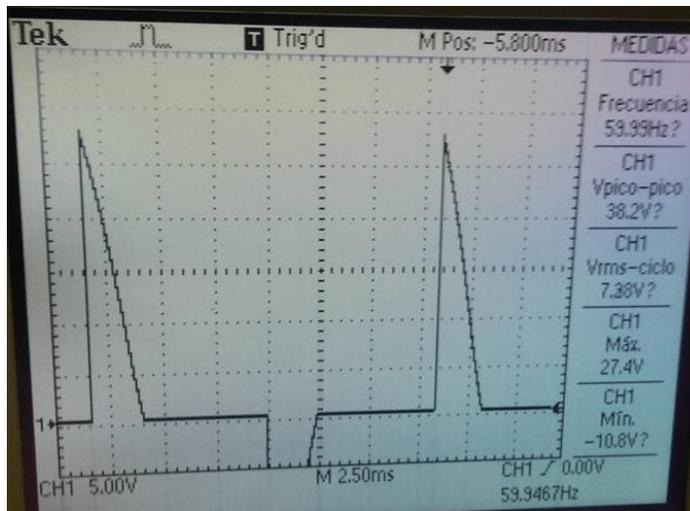


Figura 4.2.2.2: Mediciones para ángulo de disparo de 150°.

A continuación, la figura 4.2.2.3.2 muestra la señal de salida y el pulso de activación de Triac para un ángulo de disparo de 120°.



Figura 4.2.2.2.2: Mediciones para ángulo de disparo de 120°.

A continuación, la figura 4.2.2.3.3 muestra la señal de salida y el pulso de activación de Triac para un ángulo de disparo de 90°.

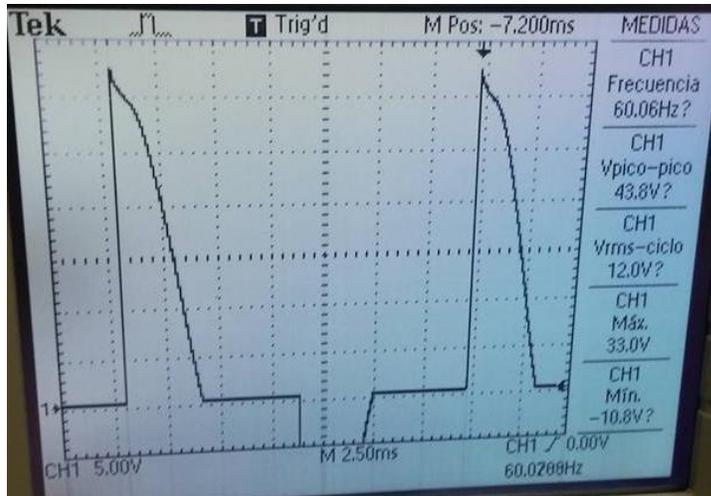


Figura 4.2.2.2: Mediciones para ángulo de disparo de 90°.

#### 4.2.2.4 Ensayos de interfaz de usuario

En este ensayo se verifica el correcto funcionamiento de la pantalla LCD y la tarjeta I2C. A continuación la figura 4.2.2.4.1 muestra el monitoreo del circuito de control de temperatura donde se observa la temperatura medida en la planta (PV) cuando se define un valor de temperatura deseada (SP). En el ensayo para la interfaz se definió como valores de temperatura deseada 65°C, 70°C y 75°C.



Fig. 4.2.2.4.1: Monitoreo del control de temperatura.

En todos los casos, se registró un error menor a 2°C para diversos valores de SP; además, se obtuvo un tiempo de establecimiento de 25 segundos para un SP de 75°C. Por lo tanto, se verifica el correcto funcionamiento de este circuito.

### 4.2.3 Ensayos Estación de tinción de muestras

#### 4.2.3.1 Ensayos de control de dispensado

En este ensayo se estudió el comportamiento de la bomba peristáltica a diferentes velocidades con el fin de conocer el rango adecuado funcionamiento y evitar errores de goteo debido a las vibraciones del motor. Este ensayo se realizó en un laboratorio particular de biología.

A continuación, la tabla 4.2.3.1.1 muestra las pruebas de la bomba peristáltica cuando dispensa los reactivos a diferentes velocidades para ver si existen pérdidas por goteo. Además se anotó el tiempo que se demoran en dispensar 20 ml de reactivo.

Tabla 4.2.3.1.1: Pruebas de comportamiento de bomba

<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>COMPORTAMIENTO DE BOMBA</b>	<b>TIEMPO (S)</b>
80	Hay pérdidas por goteo	2.56
100	No hay pérdidas por goteo	2.32
120	No hay pérdidas por goteo	2.01
140	No hay pérdidas por goteo	1.86
160	Hay pérdidas por goteo	1.74
180	Hay pérdidas por goteo	1.62
200	Hay pérdidas por goteo	1.53

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se observa que a bajas velocidades hay pérdidas por goteo debido a la vibración del actuador; por otro lado cuando la velocidad es igual o superior a las 160 RPM existe goteo debido a la velocidad del actuador. Debido a lo anterior se decide realizar los posteriores ensayos a 140 RPM.

#### 4.2.3.2 Ensayos de dispensado de reactivos en muestras

En este ensayo se dispensó diversas cantidades definidas en mililitros de reactivos sobre un beacker y se comprobó que lo dispensado sea igual al valor definido .Se hizo uso del dato (tiempo de dispensado de 20 ml @ 140 RPM) mostrado en la tabla 4.2.3.1.1 para definir la cantidad de reactivos que se dispensará. Este ensayo se realizó en un laboratorio de biología.

A continuación, la tabla 4.2.3.2.1 muestra las pruebas de la bomba peristáltica cuando dispensa diversas cantidades definidas de reactivos, se realizó 3 ensayos por cada cantidad definida.

Tabla 4.2.3.2.1: Pruebas de dispensado de muestras

CANTIDAD DEFINIDA (mL)	CANTIDAD MEDIDA EN BEACKER (mL)			ERROR MÁXIMO
20	20	20	20	0%
40	38	40	40	5%
60	58	60	62	3.3%
80	80	78	78	2.5%
100	95	100	95	5%
150	150	145	150	3.3%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.3 Ensayos de interfaz de usuario

En este ensayo se verifica el correcto funcionamiento de la pantalla LCD y la tarjeta I2C .A continuación la figura 4.2.3.3.1 muestra el monitoreo del dispensado de cada uno de los reactivos. Por lo tanto, se verifica el correcto funcionamiento de este circuito.



Fig. 4.2.3.3.1: Monitoreo del dispensado de reactivos.

## CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar el primer prototipo funcional de un equipo que automatice el método de tinción ZN para cuatro muestras de esputo en simultáneo bajo los estándares recomendados por la OMS y la INS. Con ello se estandariza el método de tinción y a partir de esto se construirá el prototipo alfa.
2. Se logró automatizar el calentamiento de muestras de esputo gracias al uso de un circuito de control de temperatura, el cual funciona mediante un control de potencia suministrada al actuador que permite llegar a la temperatura deseada las 4 muestras del sistema con un error menor a  $2^{\circ}\text{C}$ , el cual es aceptable.
3. Se logró una buena precisión en el desplazamiento lineal de muestras con errores menores al 4%; esta precisión se debe en gran parte al uso de micropasos para el control del motor a pasos.
4. Se logró una buena precisión en la dosificación de reactivos con errores menores al 5%, además se verificó la robustez del control aplicado en este proceso debido a que se logró evitar pérdidas por goteo.

## RECOMENDACIONES

1. Considerar el análisis de otro tipo de material para el envase del alcohol ácido debido a que el envase de plástico sufrió daños de corrosión.
2. Considerar el uso de otro tipo de material para las mangueras del alcohol ácido debido a que estas sufrieron daños de corrosión.
3. Aislar el área de las conexiones electrónicas que se encuentran encima del actuador de calentamiento de muestras, a fin de evitar posibles errores en los circuitos integrados y que se puedan dañar los conectores.
4. Los resultados obtenidos del prototipo funcional se encuentran dentro del rango esperado; sin embargo, es posible diseñar un sistema más liviano evitando el uso del transformador en el circuito de detección de cruce por cero.
5. Se debe reducir lo máximo posible la distancia de las mangueras debido a que con ello se evita que se acumulen reactivos a lo largo de la manguera y puedan ocasionar errores por goteo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MURRAY, Patrick; ROSENTHAL, Ken y PFAÜER Michael.  
2013 Microbiología Médica .Editorial Elsevier. Madrid, España 7ma edición 2013.  
[en línea] [Revisado el 2015/10/20]  
  
<<http://es.slideshare.net/risulamp/microbiologia-medica-de-munrray-septima-edicion>>
- [2] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA  
2016 Diccionario de la lengua española [en línea].  
  
<<http://www.rae.es/> >
- [3] ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD  
2008 Manual para el diagnóstico bacteriológico de la Tuberculosis: Parte I:  
Baciloscopía. Normas y guía técnica. 2008. [en línea] [Revisado el  
2015/10/25]  
  
<<http://files.sld.cu/tuberculosis/files/2009/12/tb-labs-baciloscopia1.pdf>>
- [4] VELASCO, Judith y Otros.  
2008 Manual Práctico de bacteriología clínica. Primera edición. Universidad de  
los Andes .Colección de textos universitarios Mérida, Venezuela. 2008.  
[en línea]. [Revisado el 2015/10/25].  
  
<<http://www.serbi.ula.ve/serbiula/librose/pva/Libros%20de%20PVA%20para%20ibro%20digital/Manual%20de%20Bacteriologia.pdf>>
- [5] LÓPEZ, Luis y Otros  
2013 Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. Artículo de  
revisión Medigraphic. Ciudad de México, DF. 2013. [en línea] [Revisado el  
2015/10/29]  
  
<<http://www.medigraphic.com/pdfs/invd/ir-2014/ir141b.pdf>>
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD  
1995 Manual de normas y procedimientos en bacteriología de tuberculosis.  
Ministerio de Salud 1995. Perú 1995. [En línea][Revisado el 2015/11/03]  
  
<<http://bvs.minsa.gob.pe:81/local/MINSA/2376.PDF>>

- [7] CENTROS PARA EL CONTROL Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES  
2015 Enfermedad de tuberculosis (TB): Síntomas y factores de riesgo 2015. [en línea] [Revisado el 2015/07/1]  
  
<<http://www.cdc.gov/spanish/especialescdc/sintomastuberculosis/>>
- [8] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)  
2015 Hablemos de tuberculosis y VIH 2015. [en línea] [Revisado el 2015/08/9]  
  
<[http://www.who.int/tb/challenges/hiv/talking\\_points/es/](http://www.who.int/tb/challenges/hiv/talking_points/es/)>
- [9] MINISTERIO DE SALUD (MINSA)  
2006 Norma técnica de salud para el control de la tuberculosis. Lima, Abril del 2006 [en línea] [Revisado el 2015/09/18]  
  
<<ftp://ftp2.minsa.gob.pe/descargas/dgsp/ESNtuberculosis/normaspublicaciones/NTSTBC.pdf>>
- [10] PROGRAMA NACIONAL DE CONTROL DE LA TUBERCULOSIS  
2013 Programa Nacional de Control de la Tuberculosis Normas Técnicas. Argentina 4ta edición 2013.  
  
<<http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000278cnt-normastecnicas-2013-tuberculosis.pdf>>
- [11] GUÍA PRÁCTICA CLÍNICA SOBRE EL DIAGNÓSTICO, EL TRATAMIENTO Y LA PREVENCIÓN DE LA TUBERCULOSIS  
2010 Guías de Práctica Clínica. Ministerio de Ciencia e Innovación .Cataluña, España [en línea] [Revisado el 2015/09/27]  
  
<<http://www.neumoped.org/docs/GPCcatalanatuberculosis.pdf>>
- [12] WORLD HEALTH ORGANIZATION  
2010 Global Tuberculosis Control WHO 2010. [en línea] [Revisado el 2015/10/01]  
  
<[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44425/1/9789241564069\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44425/1/9789241564069_eng.pdf)>
- [13] DIARIO PERU21  
2014 Tuberculosis en Perú: Cifra baja, pero seguimos liderando ranking. Publicado el Domingo 23 de marzo del 2014 [en línea] [Revisado el 2015/10/01]

<<http://peru21.pe/actualidad/tuberculosis-peru-cifra-baja-seguimos-liderandoranking-2175444>>

- [14] MINISTERIO DE SALUD  
2013 Plan de Reducción de la Tuberculosis en el Perú – Dra. Antonieta Alarcón Guizado 2013 [en línea] [Revisado el 2015/10/02]

<<http://www.parsalud.gob.pe/phocadownload/plan/plan11.pdf>>

- [15] MENDOZA-TICONA, Alberto  
2012 Tuberculosis como enfermedad ocupacional [en línea]. Revista peruana de medicina experimental y salud pública. Lima. 2012. [consultado 2015/10/02]. 232-36

<<http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v29n2/a11v29n2.pdf> >

- [16] GUÍA TÉCNICA PARA LOS PAÍSES CON ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS  
2000 Diagnóstico de la tuberculosis por examen microscópico directo de la expectoración. Quinta edición 2000 [en línea] [Revisado el 2015/10/19]

<[http://www.tbrieder.org/publications/books\\_spanish/microscopy\\_sp.pdf](http://www.tbrieder.org/publications/books_spanish/microscopy_sp.pdf)>

- [17] HORNA CAMPOS, Olivia  
2010 Prevalencia de Tuberculosis en una zona marginal del distrito de Ate-Vitarte, Lima-Perú .Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Barcelona [en línea] [Revisado el 2015/10/25]

<<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/4570/ojhc1de1.pdf?sequence=1>>

- [18] DIARIO EL COMERCIO  
2015 Transporte Público y Tuberculosis. Publicado el Martes 3 de marzo del 2015 [en línea] [Revisado el 2015/11/2]

<<http://elcomercio.pe/blog/expresiongenetica/2015/03/transporte-publico-riesgocontraer-tuberculosis>>

- [19] CEPHEID  
2014 Cepheid Xpert ®MTB/RIF. California: Cepheid [en línea] [Revisado el 2015/11/10]

<<http://www.cepheid.com/us/cepheid-solutions/clinical-ivd-tests/critical-infectiousdiseases/xpert-mtb-rif>>

- [20] BOURZAC, Katherine  
2009 Rapid TB Detector. Cambridge, Massachusetts: MIT Technology Review. [en línea] [Revisado el 2015/11/10]  
  
<<http://www.technologyreview.com/news/414601/rapid-tb-detector/>>
- [21] DC Motor Types  
2014 Advantages and Disadvantages for Different DC Motor Types (Brushed DC, Brushless DC and Stepper). [en línea] [Revisado el 25 /09/16]  
  
<<http://elect-eng-world1.blogspot.pe/2015/05/advantages-and-disadvantagesfor.html>>
- [22] 330 OHMS  
2016 Motores a pasos ¿unipolares o bipolares? [en línea] [Revisado el 25/09/16]  
  
<<https://www.330ohms.com/blogs/blog/85507012-motores-a-pasos-unipolares-obipolares>>
- [23] Pololu  
2016 A4988 Stepper Motor Driver Carrier [en línea] [Revisado el 25/09/16]  
  
<<https://www.pololu.com/product/1182>>
- [24] Spark fun Electronics [US]  
2000 Datasheet L298 Dual Full – Bridge Driver [en línea] [Revisado el 25/09/16]  
  
<[https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298\\_H\\_Bridge.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf)>
- [25] PCB LINEAR  
2016 Linear Motor Solutions Stepper Motor Nema 17 and Nema 23 [en línea] [Revisado el 03/10/16]  
  
<<http://www.pbcllinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-SupportDocument.pdf>>
- [26] ELECTRONILAB  
2016 Minibomba de agua DC. Bogotá, Colombia [en línea] [Revisado el 08/10/16]  
  
<<http://electronilab.co/tienda/mini-bomba-de-agua-dc-3-12v-rs-360sh/>>
- [27] VERDERFLEX

2016 ¿Cómo funcionan las bombas peristálticas de dosificación? [en línea]  
[Revisado el 08/10/16]

<<http://www.verderflex.com/es/como-funcionan-las-bombas-peristalticas-dedosificacion/>>

