



# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA EL ESTRIAMIENTO DE BACTERIAS  
EN CAJA PETRI CON AGAR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**ERICK GABRIEL VALDIVIESO CAICEDO**

**DIRECTOR: ING. CRISTINA GISELLE OSCULLO NARANJO**

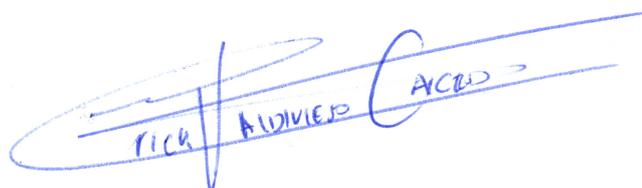
**D. M. Quito,**

**2022**

## DECLARACIÓN

Yo Erick Gabriel Valdivieso Caicedo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and includes the name 'ERICK GABRIEL VALDIVIESO CAICEDO' written in capital letters across the middle of the signature.

---

**Erick Gabriel Valdivieso Caicedo**

**C.I. 172401972-2**

## CERTIFICACIÓN

El docente de la Facultad de Ciencias Técnicas, Escuela de Ingeniería Mecatrónica Ingeniera Cristina Giselle Oscullo Naranjo encargada de la revisión del documento final,

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación denominado “Máquina automatizada para el estriamiento de bacterias en caja petri con agar”, fue desarrollado por el Sr. Erick Valdivieso y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la carrera de Ingeniería Mecatrónica, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Cristina Giselle Oscullo Naranjo

---

**Ing. Cristina Oscullo, MSc**

**DIRECTORA DE PROYECTO**

*Dedico a mis padres por su motivación y apoyo incondicional. A mi esposa por estar presente en todo momento al realizar mi tesis. A mi hijo por ser mi motivación al realizar este trabajo.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por permitirme esta oportunidad de dar un gran paso en mi vida, a mis padres por todo el apoyo que me han dado día a día, a mi esposa e hijo por que son mi motivación de querer mejorar cada día. A mi tutora de tesis por la ayuda brindada durante la realización de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema . . . . .	1
2.	Objetivos . . . . .	1
2.1.	General . . . . .	1
2.2.	Específicos . . . . .	1
3.	Problema . . . . .	1
4.	Hipótesis . . . . .	2
5.	Estado del arte . . . . .	2
6.	Estudio teórico del estriamiento de bacterias . . . . .	7
6.1.	Técnicas y medios de cultivo . . . . .	7
6.2.	Método por aislamiento de bacterias por agotamiento . . . . .	8
6.3.	Procedimiento tradicional . . . . .	8
6.4.	Materiales e instrumentos utilizados para realizar estriamiento de bacteria . . . . .	10
7.	Normas aplicadas en laboratorios clínicos . . . . .	11
8.	Análisis y Selección de Alternativas . . . . .	12
8.1.	Especificaciones Técnicas . . . . .	12
8.2.	Análisis Funcional . . . . .	13
8.3.	Matriz de Residuos Ponderados . . . . .	15
9.	Diseño Mecánico . . . . .	17
9.1.	Dimensionamiento de la guía del eje Z . . . . .	18
9.2.	Dimensionamiento de la transmisión de potencia eje X y Z . . . . .	22
9.3.	Cálculo del peso que puede transportar el tornillo seleccionado . . . . .	23
9.4.	Dimensionamiento de la estructura base . . . . .	25
9.5.	Dimensionamiento de la placa base rayado . . . . .	27
9.6.	Resumen diseño mecánico . . . . .	28
10.	Dimensionamiento Electrónico . . . . .	29
10.1.	Controlador . . . . .	30
10.2.	Interfaz Humano Máquina (HMI) . . . . .	31

10.3.	Driver A4988 . . . . .	32
10.4.	Ramps 1.4 . . . . .	32
10.5.	Selección de Motores . . . . .	33
10.6.	Cálculo de avance del carro rayado . . . . .	34
10.7.	Sensor SHARP 2Y0A21 Infrarrojo . . . . .	35
10.8.	Fuente de Alimentación . . . . .	37
11.	Desarrollo de la Programación . . . . .	38
12.	Conclusiones . . . . .	41
13.	Recomendaciones . . . . .	42
1.	Arduino . . . . .	56
2.	Controlador lógico programable (PLC) . . . . .	57
3.	Raspberry Pi3 . . . . .	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. AUTOPLAK [1] . . . . .	6
2. SIDECAR [2] . . . . .	7
3. Estriamiento de bacterias [3] . . . . .	9
4. Forma de estriar bacterias [4] . . . . .	9
5. Asa bacteriológica [5] . . . . .	10
6. Análisis funcional Nivel 0 . . . . .	14
7. Análisis funcional Nivel 1 . . . . .	14
8. Análisis funcional Nivel 2 modulo de movimiento . . . . .	15
9. Análisis funcional Nivel 2 módulo de control . . . . .	15
10. Ubicación componentes parte 1 . . . . .	17
11. Ubicación componentes parte 2 . . . . .	18
12. Alternativa seleccionada . . . . .	18
13. Bosquejo de alternativa seleccionada . . . . .	19
14. Diagrama de cuerpo libre . . . . .	19
15. Diagramas de cortantes, momentos y deflexión para una viga doblemente empotrada con carga puntual [6] . . . . .	21
16. Tabla de acero Plata Rectificado-Dimensiones disponibles-Catálogo Ivan Bohman [7] . . . . .	22
17. Características técnicas del motor Nema 17 [8] . . . . .	22
18. Dimensiones del acople flexible 5 a 8 [9] . . . . .	23
19. Tornillo y tuerca de 8 mm de diámetro [10] . . . . .	23
20. Chumaceras para máquinas CNC de 8 mm diámetro KFL08-001 [11] . . . . .	23
21. Perfiles de acero inoxidable AISI 304 Catálogo Ivan Bohman [7] . . . . .	25
22. Pórtico a ser analizado . . . . .	26
23. Estudio de deformación realizado en software CAD . . . . .	27
24. D.C.L de la sección transversal de la placa base rayado . . . . .	27
25. Planchas de acero inoxidable [7] . . . . .	29
26. Diagrama de bloques para dimensionamiento electrónico . . . . .	30

27. Arduino Mega [12] . . . . .	31
28. Pantalla touch 7 pulg . . . . .	32
29. Driver A4988 . . . . .	33
30. Ramps 1.4 [13] . . . . .	33
31. Motor Nema 17 [8] . . . . .	34
32. Micro pasos Motor Nema 17 [14] . . . . .	34
33. Geometría de la medición del sensor SHARP [15] . . . . .	35
34. Rango distancia SHARP 2Y0A21 . . . . .	36
35. Fuente de 12 $V_{DC}$ [16] . . . . .	37
36. Flujograma para el control de la máquina . . . . .	38
37. Pantalla principal . . . . .	39
38. Posición cero de la máquina . . . . .	39
39. Diagrama de flujo secuencia de movimiento . . . . .	40
40. Simulación rayado . . . . .	41
41. Análisis de competencia . . . . .	47
42. Correlaciones entre las demandas del usuario y características técnicas . . . . .	48
43. Porcentaje de importancia de características técnicas . . . . .	49
44. Casa de la calidad . . . . .	50
45. Tubo acero cuadrado Ivan Bohman . . . . .	54
46. Acero de plata rectificado Ivan Bohman . . . . .	55
47. PLC Siemens [17] . . . . .	57
48. Cronograma elaboración del proyecto . . . . .	59

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Medios representativos utilizados para cultivar bacterias [4] . . . . .	11
2. Normas en laboratorios clínicos . . . . .	12
3. Especificaciones técnicas de la máquina . . . . .	13
4. Análisis de Alternativas . . . . .	16
5. Asignación de Letras de los Criterios de Ponderación . . . . .	16
6. Límites de Flexión Recomendados [18] . . . . .	18
7. Análisis de I/O . . . . .	29
8. Características Principales Arduino MEGA . . . . .	31
9. Consumo de elementos electrónicos . . . . .	37
10. Evaluación de pesos específicos . . . . .	52
11. Evaluación de tiempo . . . . .	52
12. Evaluación de dificultad de cálculos . . . . .	52
13. Evaluación de costos de producción . . . . .	52
14. Evaluación de costos de mantenimiento . . . . .	53
15. Evaluación de tamaño . . . . .	53
16. Tabla de conclusiones . . . . .	53

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo A: Desarrollo de la QFD . . . . .	47
Anexo B: Análisis de alternativas . . . . .	51
Anexo C: Catálogo Ivan Bohman para tubo de acero cuadrado . . . . .	54
Anexo D: Catálogo Ivan Bohman para acero de plata rectificado . . . . .	55
Anexo E: Análisis Costo-Beneficio . . . . .	56
Anexo F: Cronograma del proyecto . . . . .	59
Anexo G: Planos de construcción . . . . .	60

# **MÁQUINA PARA ESTRIAMIENTO DE BACTERIAS EN CAJA PETRI CON AGAR**

## **1. Tema**

Máquina automatizada para el estriamiento de bacterias en caja Petri con agar.

## **2. Objetivos**

### **2.1. General**

Diseñar un sistema automatizado para el estriamiento de bacterias en caja Petri con agar.

### **2.2. Específicos**

- Documentar el proceso de frotis de bacterias en laboratorios clínicos.
- Identificar normas y requisitos para el cultivo de bacterias.
- Diseñar los elementos mecánicos para el sistema automatizado.
- Diseñar un sistema de control del movimiento para realizar el estriamiento de bacterias capaz de realizar el estriamiento entre 5 y 7 minutos.
- Diseñar una interfaz HMI para la comunicación e identificación de condiciones de funcionamiento del sistema.

## **3. Problema**

El laboratorio clínico LabSol realiza análisis de muestras para determinar el tipo de bacteria que enferma al ser humano, a este laboratorio llegan aproximadamente 50 muestras de orina al día, y cuando llega cada una de estas muestras, se requiere hacer un cultivo de bacterias, por lo que el profesional encargado debe realizar un estriamiento de bacterias sobre una caja Petri con agar con una asa, proceso manual que toma aproximadamente

entre 10 y 15 minutos y corre el riesgo de que la misma pueda romperse al realizar el estriamiento. Se requiere automatizar el estriamiento de bacterias de manera que el proceso sea capaz de aumentar la producción de muestras en un día a 100 cultivos además de minimizar el tiempo de estriamiento y eliminar las fallas que pueden ocurrir por el factor humano.

#### **4. Hipótesis**

La máquina es un sistema automatizado que realizará el estriamiento de bacterias en una caja Petri con agar disminuirá el tiempo del estriado en un 50 % como mínimo, optimizando los recursos para el laboratorio ya que se reducirá los errores, el estriamiento será realizado de una manera homogénea y se podrá obtener mejores resultados y más ciertos. Sera capaz de realizar el estriamiento entre 5-7 minutos por lo que en un día laborable de 12 horas debería ser capaz de realizar 100 cultivos. El prototipo no tendrá capacidad de almacenamiento de cajas petri y sera portátil, con dimensiones máximas de 600 X 400 X 200 mm.

#### **5. Estado del arte**

El estudio realizado por Prats demuestra que en la técnica por sembrado de microorganismos se obtiene no solo la parte técnica que sirve para realizar una buena siembra, también habla de la parte matemática que ayuda a entender como la siembra hace que los microorganismos proliferen en ciertas etapas que a simple vista no se puede observar, ya que, todo esto es microscópico, de igual manera ayuda a entender que cada herramienta utilizada es de suma importancia como por ejemplo el lugar donde se realiza la siembra debe tener ciertos requisitos para que el microorganismo no muera, entre estos esta la nutrición que cada caja Petri brinda, aquí se puede encontrar varios tipos pero los nutrientes que no varían tanto, los cuales son: fuente de carbono, fuente de nitrógeno, azufre y fósforo, elementos trazas (este nombre se les da a los iones como el sodio, cloro, zinc potasio y magnesio) y finalmente vitaminas. Igualmente los autores explican de los diferentes tipos de cultivos y las técnicas que son relevante debido al tema de tesis, y por eso se pone énfasis en la parte que explica la expresión matemática del crecimiento bacteriano, este trata de la

curva de crecimiento para el cual se necesita de fases como: fase 1 o fase lag o de retraso , fase 2 o fase de aceleración positiva, fase 3 o fase exponencial o de crecimiento logarítmico, fase 4 o fase de desaceleración o retardo, fase 5 o fase estacionaria máxima y finalmente fase 6 o fase de declinación o muerte. Se puede observar que no solo se trata de la técnica, sino que la matemática esta a la par pero son fases que no se pueden ver a simple vista, y que tienen relevancia para los estudios realizados en los pacientes [19].

Los métodos para diagnosticar cuando existen cepas en el sistema urinario, este es el tema importante de la tesis, ya que el sembrado se basa en los microorganismos de muestras de orina. El documento del Comité de Microbiología Clínica Chilena nombra 3 importantes métodos para el diagnóstico de estos microorganismos, pero en particular el más específico es el de uro cultivo, que se refiere al cultivo por estriamiento en una caja Petri, siendo este el más acertado ya que demuestra la facilidad para observar las cepas que proliferan, tanto en su morfología y color, e incluso hacer un conteo de cuantas cepas lograron crecer para así conocer que tipo de bacteria produce la enfermedad del tracto urinario, al igual que arroja resultados del antibiótico que es el adecuado para tratar al paciente. El estudio nombrado tiene una relevancia en cada especie que nos da la uropatogénia o patología causada, así también se da como resultado el estudio entre las dos técnicas y demuestra mediante resultados de laboratorio que la siembra ayuda a reconocer de entre tantas especies que pueden causar la enfermedad, con cual se está enfrentando, ya que los otros test para la infección urinaria solo ayudan a saber si es positivo o negativo el resultado, dando a saber si se tiene una infección o no, pero el problema de estos test es que no ayudan a saber cual es el patógeno causante. Para la presente tesis es relevante el estudio de ese documento ya que da la importancia de por qué es necesario realizar un urocultivo, y la necesidad de estos diagnósticos de infecciones urinarias [20].

En el estudio de "Técnicas de purificación de aislamiento de Phytophthora contaminados por bacterias" demuestra que los medios de cultivo deben tener un pH adecuado a cada especie de patógeno que se va a estudiar, para lo cual se observa que el medio de cultivo acidificado es especial para el crecimiento de hongos pero de igual forma existe un margen en el cual no se logrará el objetivo de encontrar un crecimiento del microorganismo, este margen comprende un 10 por ciento, por lo que sigue siendo mayor el número de patógenos

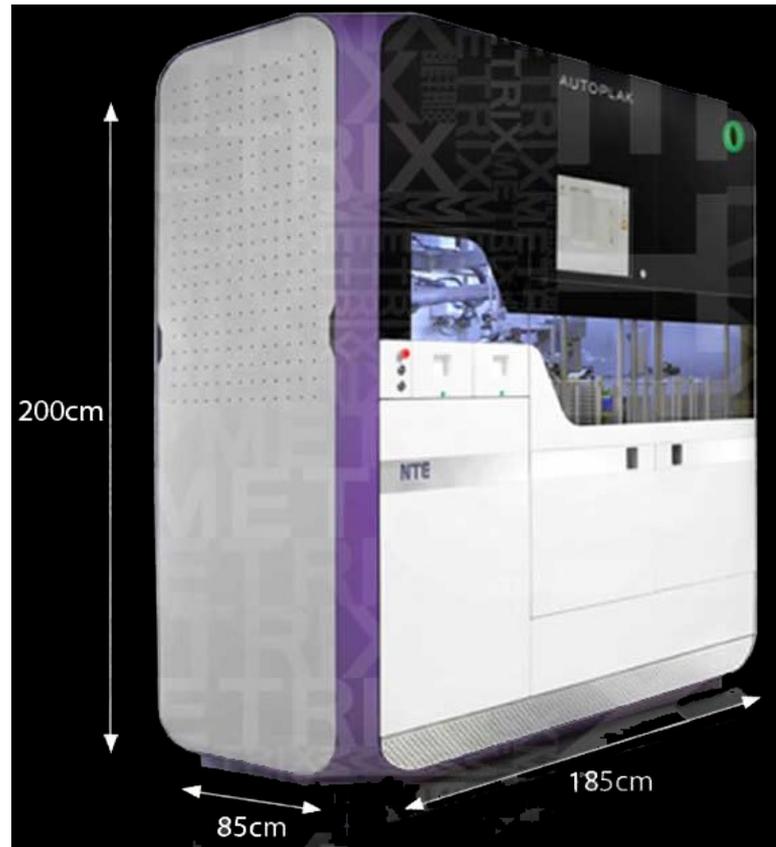
que si requieren de este medio de cultivo. En el estudio se utiliza el ácido orgánico tartárico, el cual es el más utilizado para acidificar el medio pero este puede inhibir ciertos microorganismos como el *phytophthora*, únicamente se puede utilizar este medio si esta en búsqueda de un hongo y queremos eliminar las bacterias que pueden contaminar la muestra y dando resultados falsos al momento de evaluarlas. Los medios de cultivo acidificados son un gran aporte para la economía en los laboratorios, debido al alto costo que representa utilizar antibióticos en los medios de cultivo para poder inhibir el crecimiento bacteriano y únicamente dejar crecer el hongo, al ser muestras con grandes cantidades de bacterias se requiere un número mayor de antibióticos y esto incrementa el costo invertido en los estudios. Este dato es necesario para poder encontrar en el uro cultivo, en caso de que exista un hongo que este invadiendo la parte urinaria, el hecho de que la orina contenga bacterias por naturaleza, impediría realizar un diagnóstico adecuado del hongo que causa la patología, ya que si no se utiliza el medio de cultivo con el pH adecuado proliferarían en mayor cantidad las bacterias y así dar un resultado insatisfactorio [21].

El estudio Análisis de técnicas de recuento de Microorganismos se evalúan los métodos de siembra en superficie del agar, en profundidad del agar y en cámara de Neubauer. En el método de siembra en superficie los resultados fueron negativos y sin ningún posible recuento del microorganismo ya que al estar expuestos en la superficie existe una contaminación bacteriana que interviene con el crecimiento celular del patógeno en estudio. Por otra parte la siembra en profundidad tiene un beneficio de que las levaduras proliferan al fondo del agar con un crecimiento notorio en donde se puede realizar el recuento, pero en esta técnica ocurre el mismo error que en la anterior, debido a que se inicia el sembrado en la superficie para tener un mayor número de colonias, pero en la parte superficial las bacterias no deseadas empiezan a invadir el espacio de la muestra impidiendo a la bacteria deseada un crecimiento óptimo. Las dos técnicas de sembrado tienen un alto tiempo de preparación de cada medio. Para la técnica de cámara de Neubauer se utiliza la constante de Mc Farland la cual es de  $6 \times 10^8$  células/ml, este hace referencia a que debe existir esta constante en el crecimiento bacteriano en la inoculación para que este sea un crecimiento adecuado, de otra forma deberíamos descartar la muestra por un crecimiento inapropiado, en el estudio mencionado se observa que esta técnica de cámara de Neubauer es la más adecuada por

el resultado preciso que permitió la proliferación del patógeno y por tanto el recuento de esta es más sencillo y preciso que las dos anteriores, pero su desventaja se halla en la concentración de celular que debe tener la muestra y el tamaño del microorganismo que se desea ver ya que al tener un tamaño pequeño este dificulta el recuento [22].

En el tema de tesis se utiliza las dos primeras técnicas por el uso común de los laboratorios y la facilidad que esta tiene, ya que la técnica de cámara de Neubauer es poco utilizada por su desventaja anteriormente mencionada, con el estudio del proyecto se reduce la contaminación de bacterias al usar instrumentos esterilizados con el proceso adecuado de esterilización antes y después del sembrado de la bacteria en el medio de cultivo, al igual que el tiempo utilizado en la preparación de cada muestra es menor al ser un proceso mecánico y programado.

Para el trabajo de tesis se busca una máquina que pueda realizar los cultivos de bacterias, al hacer una búsqueda se encontró el dispositivo AUTOPLAK que es usada en laboratorios clínicos. Esta máquina que permite llevar a cabo el cultivo de bacterias de diferentes materiales como lo es muestras de orinas, muestras de heces en líquido o muestras de sangre. La diferencia con este equipo es la cantidad de cajas Petri que puede almacenar a la vez como nos indica el manual de esta máquina es de 120 cajas Petri a la vez, otra disparidad es que permite hacer diferentes cultivos como lo es el de sangre en las láminas de cristal. El tamaño de AUTOPLAK es de 200 x 185 x 85 cm y no alcanzaría en el laboratorio porque no dispone de suficiente espacio comparado con el prototipo que se quiere realizar que es de 60 x 40 x 30 cm. Esta máquina realiza el empaquetado de las diferentes cajas lo cual permite diferenciar de quien es la muestra y que tipo de muestra se realiza, se observa esta máquina en la Figura 1 [23] .



**Figura 1.** AUTOPLAK [1]

Otro dispositivo utilizado en laboratorios clínicos es el analizador automático SIDECAR, ver Figura 2, esta compuesta de una plataforma ALFRED 60AST y un módulo móvil lo cual permite que se pueda mover con gran facilidad. Con este modelo se puede realizar pruebas de resistencia, recuento bacterianos en urocultivo y líquidos biológicos [2].

Al igual que AUTOPLAK permite etiquetar las muestras. Permite el almacenamiento de 240 cajas Petri.



**Figura 2.** SIDE CAR [2]

## **6. Estudio teórico del estriamiento de bacterias**

### **6.1. Técnicas y medios de cultivo**

Siempre que se trabaja con medios de cultivo al realizar una siembra de estas las bacterias comienzan a multiplicarse, cada una de estas bacterias se duplican en un promedio de entre 20-30 minutos, por lo tanto, entre 18-24 horas las bacterias lograran una evolución correspondiente, lo cual permitirá visualizar la causa que determina el tipo de bacteria. Este crecimiento de las bacterias permitirá ver qué tipo de bacteria causando la patología por más que la cantidad de bacterias iniciales es muy bajo, una ventaja de ocupar este cultivo es que se podría observar las bacterias que a través de un microscopio no se podría ver por su baja cantidad. Además, el aislamiento de las bacterias por cultivo permite su posterior identificación y el estudio de su sensibilidad a los antimicrobianos. Para poder realizar los medios de cultivo estos deben contener los elementos nutritivos necesarios para permitir la multiplicación de las bacterias [3].

## 6.2. Método por aislamiento de bacterias por agotamiento

Primero se debe entender que es un método por aislamiento estos son medios sólidos y además deben contener nutrientes para que las bacterias puedan tener un ambiente óptimo y de esta manera proliferar, aquellas bacterias que no necesitan un ambiente estricto, el agar contienen pocos nutrientes y para aquellas que son altamente estrictas el agar es alto en nutrientes. [3].

Se ocupa un medio sólido, en los laboratorios clínicos, especialmente en los materiales clínicos siempre existe más de una bacteria, y los medios sólidos permiten separar e individualizar cada una de estas bacterias que existen en el cultivo o muestra.

La muestra obtenida se debe sembrar con el asa de nicrom, el estriamiento se realiza en la superficie del agar. La técnica utilizada se llama técnico por agotamiento la cuál ayuda al crecimiento bacteriano en diferentes proporciones. Esta se la realiza mediante un movimiento en zig zag con el asa previamente sumergida en la muestra de orina, de esta forma las bacterias se irán depositando en el agar cubriendo toda la superficie, al inicio del estriamiento proliferaran bastantes bacterias ya que el asa se encuentra cargado de esta celular por el contrario al final es crecimiento bacteriano será menor ya que las células se van agotando a los largo del estriamiento esto ayuda a poder separar unas de otras. [3].

El objetivo es obtener a partir de bacterias, un numero considerable a lo largo del agar, de forma individual. Las bacterías al proliferar forman colonias pero se requiere un tiempo considerable de incubación dependiendo de la especie de bacteria que queremos visualizar [24].

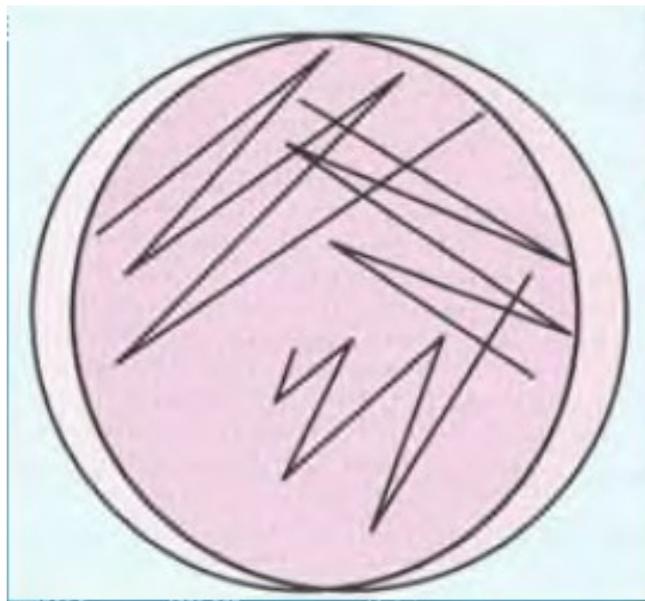
Después de dejar reposar a la placa, dependiendo de la bacteria se crean colonias las cuales deben ser analizadas, de estas se evalúa su tamaño, su forma, la textura (mucosas, lisas, rugosas), el brillo de la superficie y el aspecto de sus bordes, lo que permite constatar si existe un solo tipo de colonia o más de uno [3].

## 6.3. Procedimiento tradicional

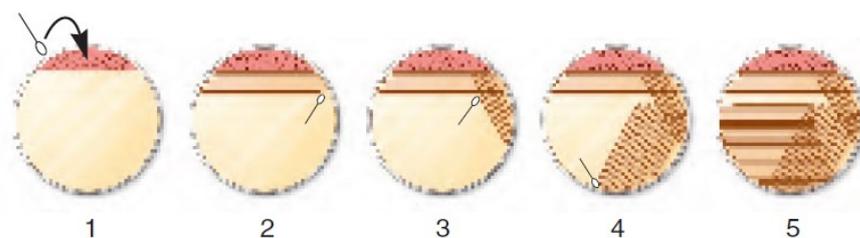
Los pasos que se deben seguir para el estriamiento de bacterias es el siguiente [24]:

1. Esterilizar el asa colocándola cerca del encendedor hasta que se vea que esta toma un color rojo aproximadamente a 80 C durante 5 segundos.

2. Enfriar el asa retirándola del mechero, pero dejándola cerca del mismo para que se enfríe aproximadamente un centímetro durante 2 segundos y asegurar que no se vuelva a contaminar.
3. Tomar la muestra con el asa.
4. Realizar el primer estriamiento, unas pequeñas líneas en zigzag con el asa sobre la caja Petri con estrías muy juntas como podemos ver en la Figura 3.
5. Girar la caja Petri y volver a realizar el estriamiento en otra parte de la caja con las estrías más separadas.
6. Repetir el paso 5 pero con las estrías más separada como podemos ver en la Figura 4.
7. Retirar el asa y volver a colocarla sobre el mechero.
8. Cerrar la caja Petri.



**Figura 3.** Estriamiento de bacterias [3]



**Figura 4.** Forma de estriar bacterias [4]

## 6.4. Materiales e instrumentos utilizados para realizar estriamiento de bacteria

### Asa bacteriológica

El asa también es conocido como asa de platino ya que este es el material básico utilizado en la bacteriología. Esta tiene un mango de 20 cm de largo, en su extremo se encuentra anexado un filamento de platino pero también podemos encontrar de nicrom. Al final de esta asa consta un bucle como podemos ver en la Figura 5 [25].

Estos metales tienen la propiedad característica de alcanzar temperaturas altas cuando se colocan en un mechero o una resistencia térmica, al igual que el tiempo de enfriamiento es en pocos segundos lo cual es relativamente rápido. Esto es fundamental para recolectar con el asa el material de la muestra que queremos cultivar, realizar el sembrado de los microorganismos en los medios de cultivo y después esterilizar el extremo del asa en la fuente de calor la cual se enfriará en segundos y nos permitirá utilizar en otra muestra. Esto es una propiedad que facilita el tiempo con el que podemos manipular varios medios de cultivo. [3].



**Figura 5.** Asa bacteriológica [5]

### Agar

Sustancia mucilaginosa que se extrae de algunas algas, utilizada como medio de cultivo, en farmacia, en bacteriología y en ciertas industrias [25].

En la Tabla 1 se puede ver los diferentes tipos de agar que se utilizan dentro de la microbiología.

**Tabla 1.** Medios representativos utilizados para cultivar bacterias [4]

<b>Medio</b>	<b>Característica</b>
<b>Agar de sangre</b>	Medio complejo de uso cotidiano en laboratorios clínicos. Es diferencial dado que las colonias de microorganismos hemolíticos están rodeadas por una zona de limpieza de los eritrocitos. No es selectivo.
<b>Agar de chocolate</b>	Medio complejo utilizado para cultivar bacterias de cultivo exigente, particularmente las encontradas en muestras clínicas. No es selectivo o diferencial.
<b>Agar de MacConkey</b>	Medio complejo utilizado para aislar bacilos gramnegativos que habitan de manera típica en el intestino. Es selectivo debido a que las sales biliares y colorantes inhiben a microorganismos grampositivos y cocos gramnegativos. Es diferencial debido a que el indicador de pH se convierte en rojo rosado cuando el azúcar del medio, la lactosa, se fermenta.
<b>Agar de nutriente</b>	Medio complejo utilizado para trabajo de laboratorio cotidiano. Favorece el crecimiento de una variedad de bacterias de cultivo no difícil. No es selectivo ni diferencial.
<b>Agar Tayer-Martin</b>	Medio complejo utilizado para aislar especies de Neisseria, que son de cultivo difícil. Es selectivo por contener antibióticos que inhiben a la mayor parte de microorganismos, excepto especies de Neisseria. No es diferencial.

## 7. Normas aplicadas en laboratorios clínicos

En la Tabla 2 se presentan las normas aplicadas en laboratorios clínicos.

**Tabla 2.** Normas en laboratorios clínicos

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
ISO 15189:2012	Requisitos esenciales para la calidad y la competencia.
RTE INEN-ISO 15190:2015	Requisitos para bioseguridad.

En base a estas normas se realiza la selección de materiales para el diseño del prototipo para el estriamiento de bacterias.

En la normativa ISO 15189 el punto "5.3 Equipo de laboratorio" los principales puntos nos indica que las máquina externas utilizadas deben poseer etiquetas que se permitan diferenciar e identificar de manera adecuada, además deben tener su manual de usuario en el cual debe estar su uso y como se realizan los mantenimientos y por último todo dispositivo debe contar con un botón de paro en caso de emergencia.

Tambien nos habla de que los equipos deben trabajar con materiales adecuados, como para este caso se utiliza el acero inoxidable por las condiciones en las que se trabaja.

## **8. Análisis y Selección de Alternativas**

### **8.1. Especificaciones Técnicas**

La especificaciones técnicas para el diseño de la máquina se basan en las necesidades y recursos del usuario final. Se realiza el análisis de especificaciones técnicas a partir de las expectativas y requerimientos del usuario. La definición de calidad de un producto nos dice "ha de estar presente en cada fases del ciclo de vida, el cual inicia en el diseño hasta el servicio que brinda después la venta. Así se optimizará la creación de valor para el usuario, la empresa debe planificar, lograr y transmitir al cliente la calidad del producto. Posteriormente, debe utilizar la investigación del mercado para identificar las características que el producto requiere para satisfacer los requerimientos de los clientes (calidad como aptitud para el uso)" [26]. En la Tabla 3 se muestran las especificaciones en función de los requisitos del usuario final.

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas de la máquina

<b>Especificación</b>
Tamaño del dispositivo es de 400X300X200mm
Facilidad de uso para el usuario con uso de tecnología de punta
Costos de fabricación menor a 2000 USD
Mantenimiento y calibración de la máquina con garantía del fabricante

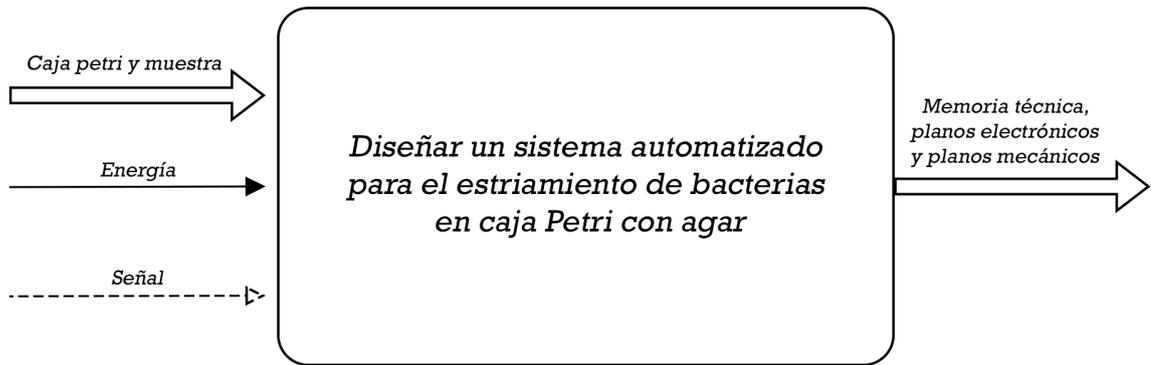
Una vez se tiene las especificaciones técnicas para la máquina se procede a realizar el diseño del equipo con todas las características dadas por el cliente de esta forma lograr satisfacer las necesidades del usuario. El desarrollo del despliegue de la función de calidad (QFD por sus siglas en ingles Quality Function Deployment) como se indica en el Anexo A. Con el desarrollo de la QFD se pudo obtener que el tiempo de rayado en conjunto con la precisión son los puntos mas importantes para el diseño del dispositivo. Además de la facilidad para las actualizaciones y mejoras de la máquina así obtener un mejoramiento continuo añadiendo diferentes tipos de muestras. Además, el dispositivo debe tener dimensiones para para el laboratorio del usuario final.

## **8.2. Análisis Funcional**

Este análisis se lo ejecuta mediante la descomposición del sistema a diseñar en varios bloques funcionales, estos interactúan entre sí de forma que logran alcanzar con el objetivo por el cual fue diseñada la máquina.

### **Nivel 0**

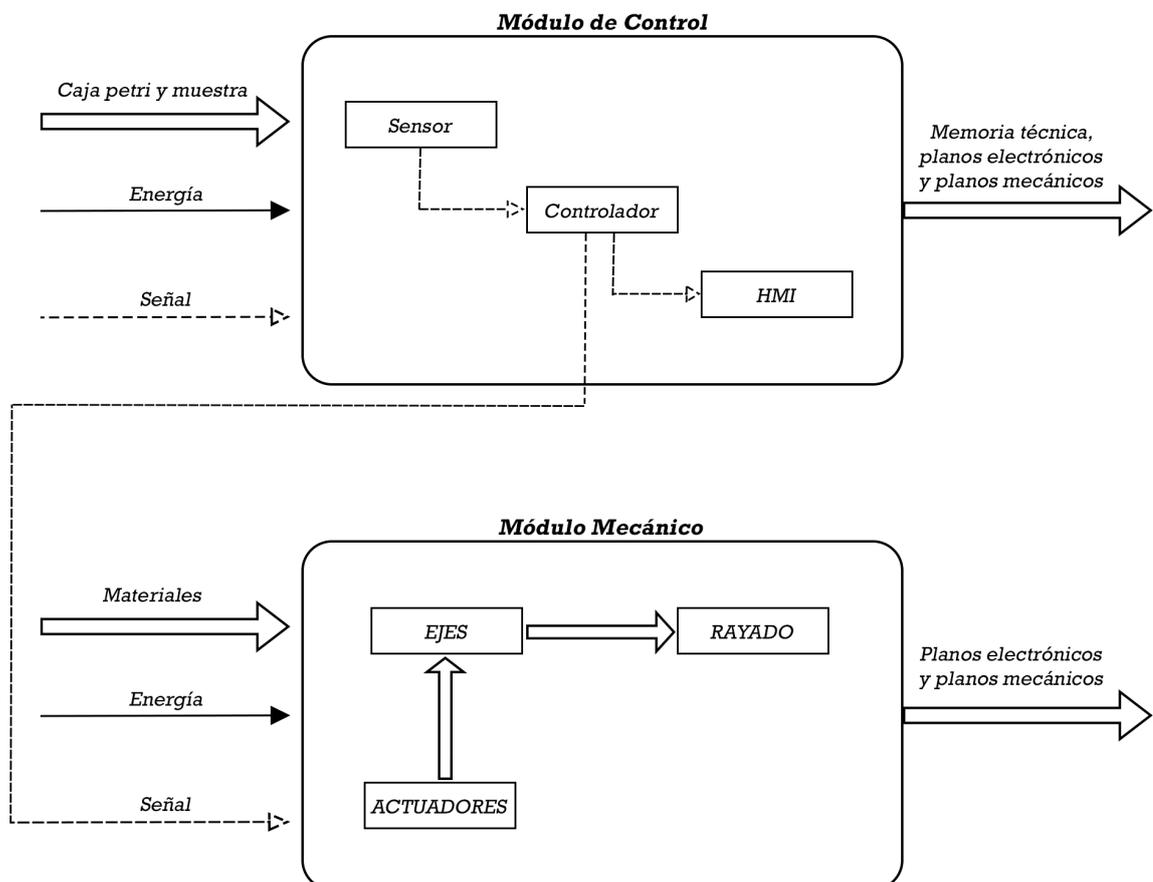
Aquí se presenta el desarrollo general de la máquina en la cual ingresara la caja petri y la muestra, con una señal alimentado todo el equipo con energía se busca llegar al diseño de un dispositivo que realice el estriamiento de bacterias de manera automatizada para obtener la memoria técnica, planos eléctricos y mecánicos. En la Figura 6 se presenta el nivel 0.



**Figura 6.** Análisis funcional Nivel 0

## Nivel 1

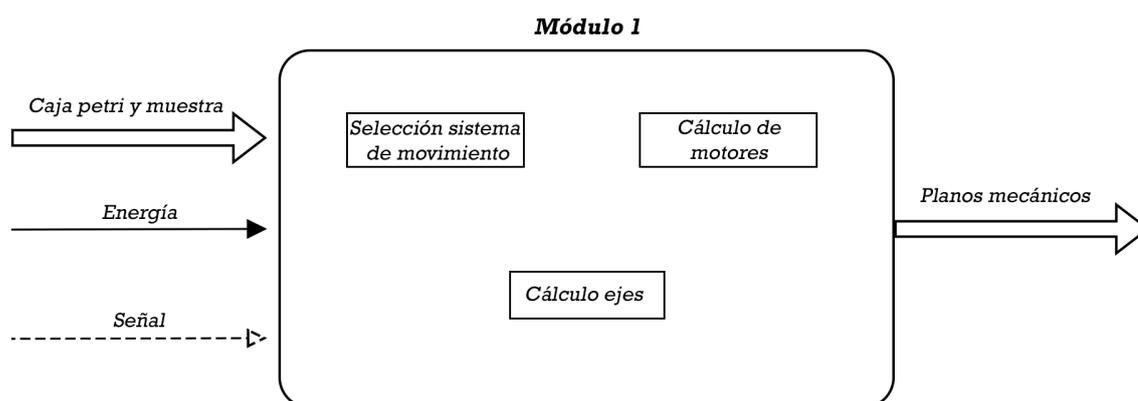
En este nivel podemos ver los procesos involucrados dentro de la máquina. Estos procesos son divididos en dos módulos el mecánico en cual se ve involucrado los sistemas de movimientos, motores y el sistema de rayado; y el segundo módulo el de control en el cual tendremos el sensor, el controlador y la HMI de la máquina. En la Figura 7 se presenta el Nivel 1.



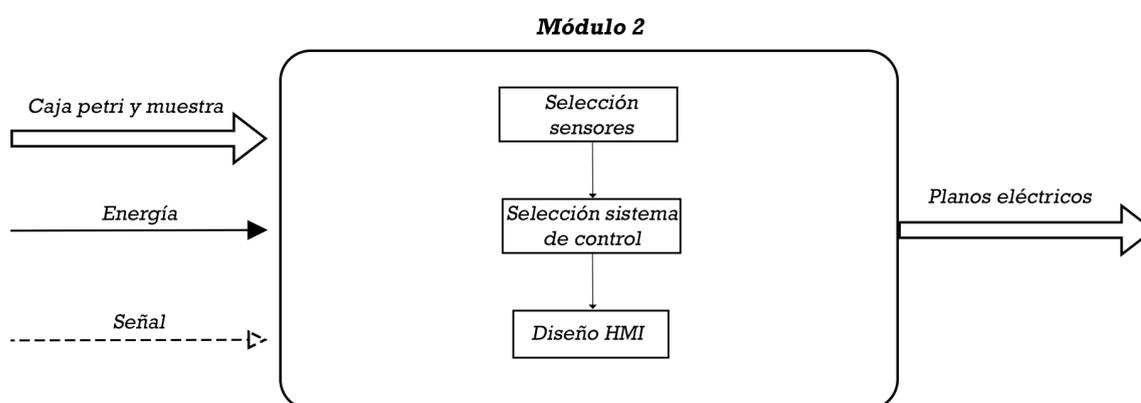
**Figura 7.** Análisis funcional Nivel 1

## Nivel 2

Una vez creado el Nivel 1 se procede a construir el Nivel 2, del cual se generan 2 módulos que son el módulo 1 de movimiento, y módulo 2 de control. Estos muestran de forma más detallada los procesos del Nivel 1. En la Figura 8 se presentan los dos módulos del Nivel 2.



**Figura 8.** Análisis funcional Nivel 2 modulo de movimiento



**Figura 9.** Análisis funcional Nivel 2 módulo de control

### 8.3. Matriz de Residuos Ponderados

La matriz de residuos ponderados permite determinar cuál de las alternativas generadas en la matriz morfológica es la más óptima para el proyecto, esta selección se la realiza mediante criterios específicos de evaluación los cuales se especifican en el Anexo B al igual que la determinación de la prioridad de cada criterio y la comparación de cada alternativa según cada criterio. Las diferentes alternativas para el estriamiento de bacterias son:

- **Alternativa 1:** Movimiento estilo CNC en la parte superior para realizar el rayado de bacterias.
- **Alternativa 2:** Movimiento con un brazo robótico para el estriamiento de bacterias.
- **Alternativa 3:** Movimiento solo de la base para el estriamiento de bacterias.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los 5 criterios de ponderación (Se les asigna una letra desde A hasta E) evaluados para cada alternativa. Como resultado la Alternativa 1 con un valor de 0.422 es la mejor opción para el diseño de la máquina. Además se observa que la Alternativa 3 se encuentra como segunda opción con 0.300 y por ultimo la alternativa 2 con un 0.278. En la Tabla 5 se indica el significado de las letras asignadas a los criterios de ponderación.

**Tabla 4.** Análisis de Alternativas

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	$\sum +1$	<b>Prioridad</b>
Alternativa 1	0,111	0,111	0,100	0,067	0,034	0,422	1
Alternativa 2	0,167	0,045	0,033	0,022	0,028	0,278	2
Alternativa 3	0,056	0,111	0,067	0,044	0,022	0,300	3

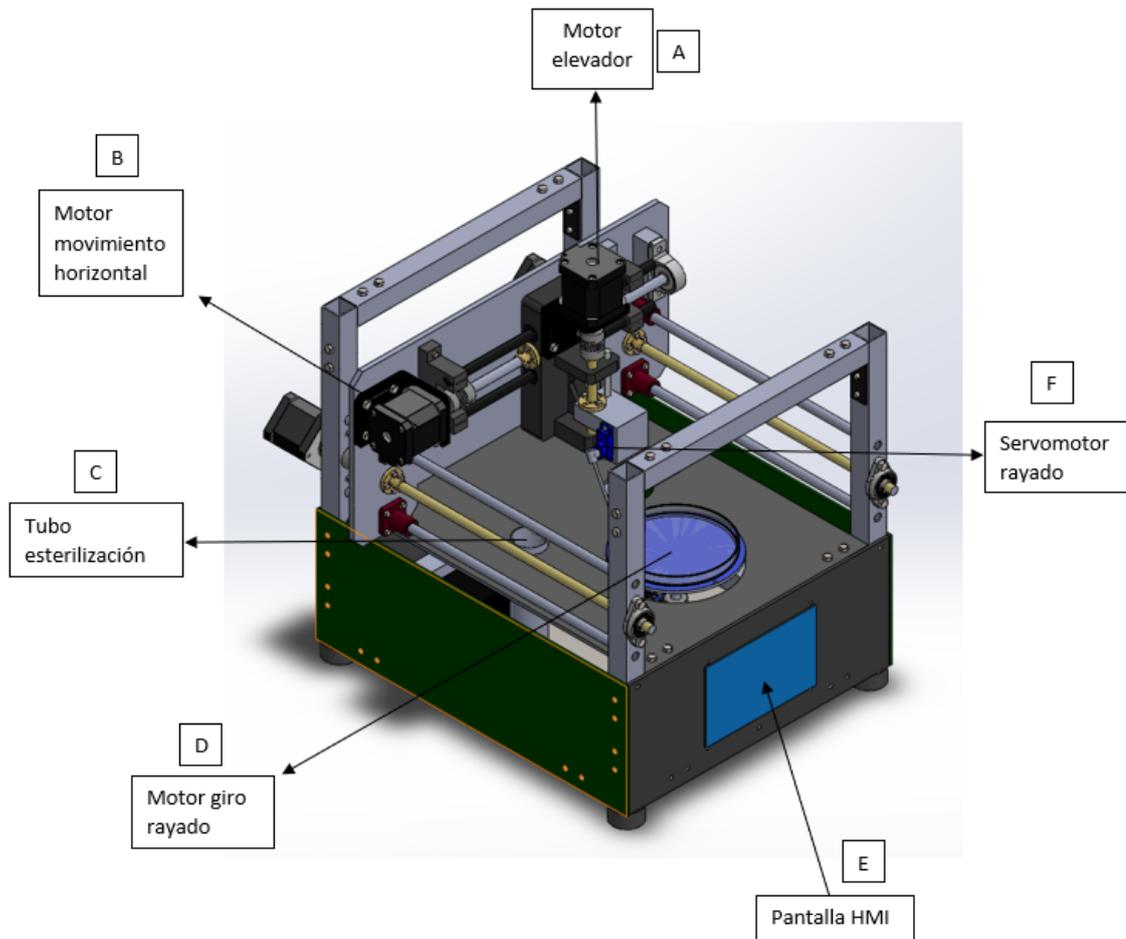
**Tabla 5.** Asignación de Letras de los Criterios de Ponderación

<b>ASIGNACIÓN</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>A</b>	Tiempo
<b>B</b>	Cálculos
<b>C</b>	Costo
<b>D</b>	Mantenimiento
<b>E</b>	Tamaño

El motor G, ver Figura 11, permite el movimiento hacia adelante y hacia atrás de la placa de rayado, primero se mueve hacia atrás para poder coger la muestra colocada. Posterior se mueve hacia adelante para hacer el rayado en la caja Petri.

El motor D, ver Figura 10, permite girar a la caja en sentido horario y antihorario para realizar el rayado de la muestra en la caja.

El motor A, ver Figura 10, permite elevar/descender el Asa (barra metálica para el rayado) una vez realizado el rayado esta va a C en el cual se realizará la esterilización del asa.



**Figura 10.** Ubicación componentes parte 1

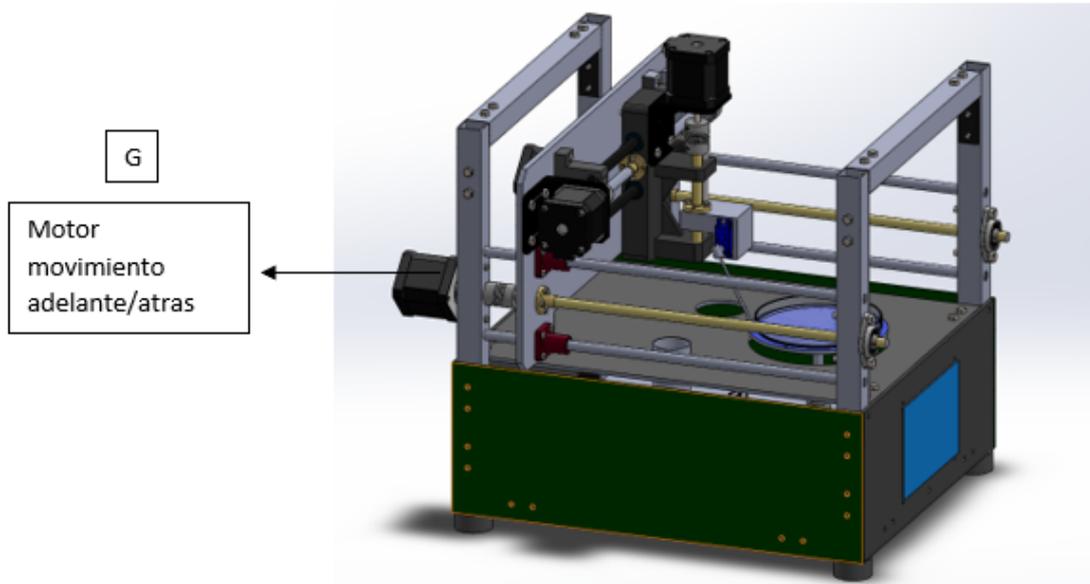
El motor B, ver Figura 10, permite el movimiento en horizontal con el cual se realiza el traslado del asa a las diferentes partes de la máquina.

La pantalla E, ver Figura 10, es el HMI donde se controlara la máquina.

## 9. Diseño Mecánico

Con el resultado obtenido en la matriz de residuos ponderados se empieza, mediante cálculos matemáticos, el dimensionamiento de los elementos mecánicos que componen la máquina. En la Figura 12 se presentan las partes que componen la alternativa seleccionada.

El diseño inicia con un esquema que permite identificar los componentes críticos de la máquina, los mismos que son diseñados mediante el criterio de rigidez por sobre la resistencia ya que se realiza un procedimiento repetitivo y preciso en un tiempo determinado como se muestra en la Figura 13. Esta alternativa consiste en un movimiento con articulaciones



**Figura 11.** Ubicación componentes parte 2



**Figura 12.** Alternativa seleccionada

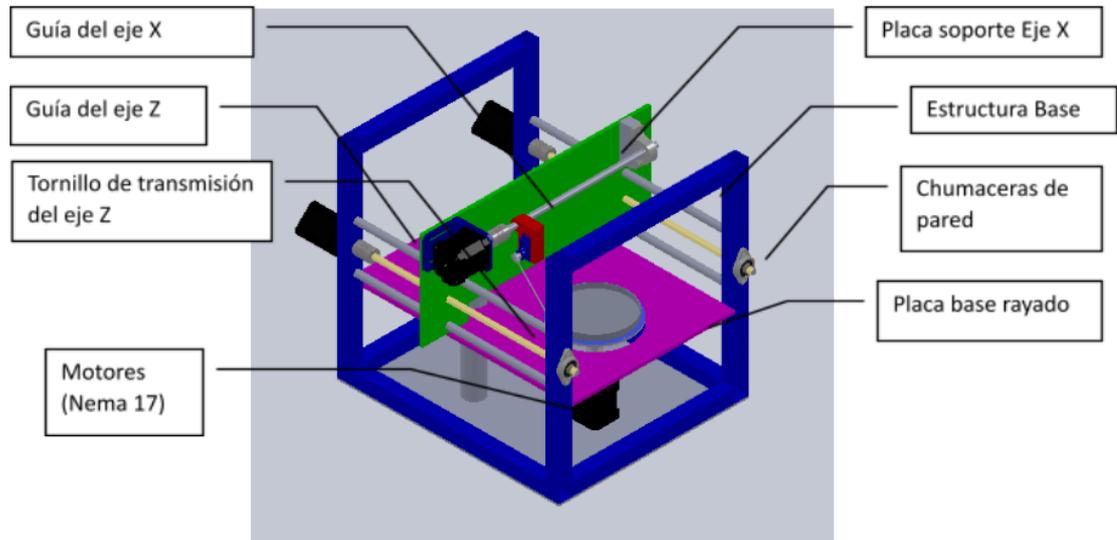
prismáticas en los ejes X, Y, Z con un tornillo sin fin el cual nos permitirá el movimiento y la potencia sera suministrada por motores a pasos. Para este diseño se utiliza metales de acero inoxidable, ya que en la normativa ISO 15189 dice que se debe seleccionar este tipo de material por las condiciones en las que trabajaría la máquina.

### 9.1. Dimensionamiento de la guía del eje Z

Para este caso se trata de un elemento de máquina de precisión moderada cuyo rango de deflexión admisible se puede apreciar en la Tabla 6, se toma  $Y_{adm} = 0,0005 * L$  siendo  $L$  la longitud de la viga (310 mm).

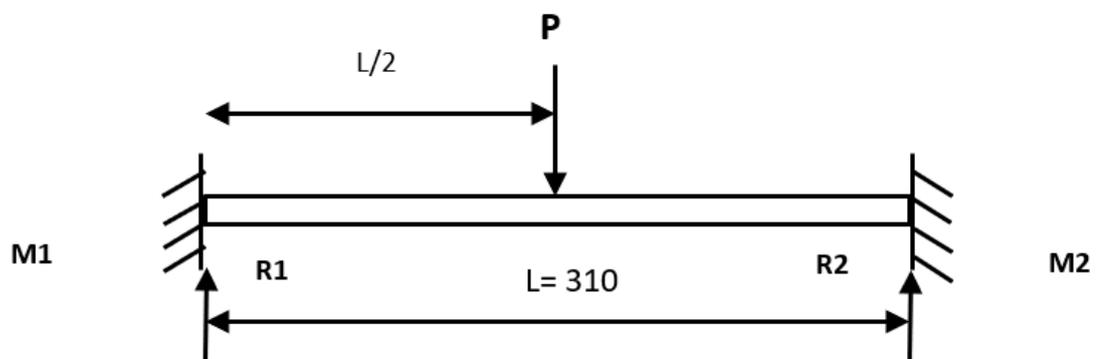
**Tabla 6.** Límites de Flexión Recomendados [18]

ASIGNACIÓN	CRITERIOS
Parte general de una máquina	$Y_{max} = 0,0005$ a $0,003$ mm/mm de longitud de viga
Precisión Moderada	$Y_{max} = 0,00001$ a $0,0005$ mm/mm de longitud de viga
Alta precisión	$Y_{max} = 0,000001$ a $0,00001$ mm/mm de longitud de viga



**Figura 13.** Bosquejo de alternativa seleccionada

Se presenta el diagrama de cuerpo libre de la viga a diseñar, ver Figura 14, la viga se considera en la condición más desfavorable como doblemente empotrada y con una carga puntual en el centro de la misma.



**Figura 14.** Diagrama de cuerpo libre

Mediante el análisis de rigidez, se busca el segundo momento de área requerido para dimensionar la sección transversal de la guía, sabiendo que para una viga de  $310 \text{ mm}$  de longitud la deflexión admisible para precisión moderada es  $Y = 0,0005 * L$ , dando como resultado una deflexión admisible de  $0.155 \text{ mm}$  en el centro de la viga. Según los diagramas que se muestran en la Figura 15, se tiene una  $Y_{max}$  de la cual se obtiene la inercia requerida.

La carga  $P$  se determina en función del peso de cada componente presente en el eje Z.

$$P = 2 \cdot W_{componentes}$$

El peso de los componentes sobre el eje Z es aproximadamente de 50 N, considerando chapa metálica, motores, ejes y accesorios del eje X, este valor lo multiplicamos por 2 considerando diferentes factores como:

- Si una persona se arrime a la máquina y derive parte de su peso sobre el componente.
- Se considera que un solo eje soporta todo el peso para garantizar la rigidez en caso de que el otro falle.
- Como se tratan de componentes pequeños y cuyo costo no es representativo y son parte principal de una máquina CNC, es preferible sobredimensionada las cargas.

Considerando estos factores obtenemos un valor de  $P = 100N$ .

Utilizando los diagramas cortantes, momentos y de deflexión para una viga obtenemos la formula para encontrar  $Y_{adm}$ , como vemos en la Figura 15

De la ecuación identificada en la Figura 15 y utilizando la nomenclatura propuesta, se tiene

$$Y_{adm} = -\frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I_{req}} \quad (1)$$

Donde

$Y_{adm}$  = Deflexión admisible, en  $m$

$P$  = Carga en el centro de la viga, en  $N$

$L$  = Longitud de la viga, en  $m$

$E$  = Módulo de elasticidad del material, en  $N/m^2$

$I_{req}$  = Segundo momento de área, en  $m^4$

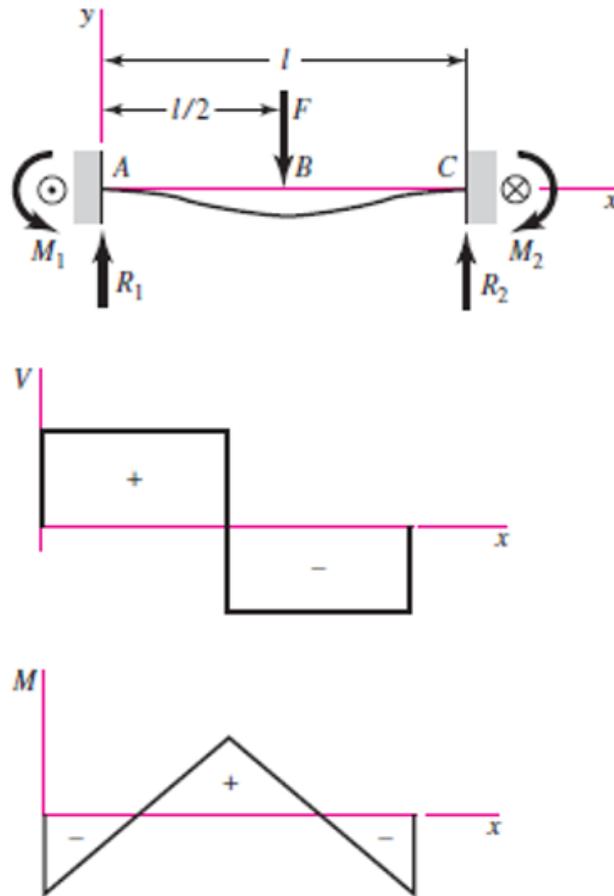
Sustituyendo valores en la ecuación 1 y despejando la incógnita se obtiene.

$$I_{req} = -\frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot Y_{adm}}$$

$$I_{req} = -\frac{100N \cdot (0,31m)^3}{192 \cdot 207G \frac{N}{m^2} \cdot -0,155mm^3}$$

$$I_{req} = 4,8359 \exp -10 m^4$$

## 14 Fixed supports—center load



**Figura 15.** Diagramas de cortantes, momentos y deflexión para una viga doblemente empotrada con carga puntual [6]

Como se trata de una viga de sección circular, se calcula el diámetro requerido para la guía.

$$I_{req} = -\frac{\pi \cdot D_{req}^4}{64} \quad (2)$$

Despejando la ecuación 4 se tiene

$$D_{req} = \sqrt[4]{\frac{4,8359 \exp -10m^4 \cdot 64}{\pi}}$$

$$D_{req} = 0,009962m = 9,96mm$$

Se estandariza a ejes de 10 mm de diámetro disponibles en acero plata rectificado, ver Figura 16, como guías para el eje Z; debido a que el eje X es de dimensiones cercanas y que el costo de los ejes no es representativo se coloca las mismas guías en el eje X, como se indica en el Anexo C.

Acero Plata DF2	
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
4	0,1
5	0,2
6	0,2
7	0,3
8	0,4
9	0,5
10	0,6
11	0,8
12	0,9
13	1,1
14	1,2
16	1,6
18	2,0
20	2,5
22	3,0
25	3,9

**Figura 16.** Tabla de acero Plata Rectificado-Dimensiones disponibles-Catálogo Ivan Bohman [7]

## 9.2. Dimensionamiento de la transmisión de potencia eje X y Z

Para convertir un giro en un desplazamiento se utilizan tornillos de potencia que se acoplan a motores Nema 17 mediante acoples flexibles y permiten que los diferentes mecanismos acoplados a los ejes X y Z trabajen efectivamente.

La Figura 17, muestra las especificaciones de los motores a utilizar

Características del artículo			
Estado:	Nuevo	Estado del artículo:	Nuevo
Marca:	Generic	Shaft Type:	Round Shaft
MPN:	10015200114115600	Current Type:	DC
Modelo:	42BYGH47-401A	Actual Rated Input Voltage:	12-24V
Holding Torque:	0.44N.m (62oz-in)	Rated Current per Phase:	1.68A
Full Step Angle:	1.8° (200 Steps)	Resistance per Phase:	1.65Ω
Wiring Configuration:	4-Wire Bipolar	Insulation Class:	B (Max 130°C)
Shaft Diameter:	5mm (0.2in)		



**Figura 17.** Características técnicas del motor Nema 17 [8]

Los acoples flexibles para este tipo de motores acoplan ejes de 5 y 8 *mm*, ver Figura 18, por lo que se utiliza un tornillo de potencia de 8 *mm* de diámetro, ver Figura 19, mismo que permite transmitir movimiento sin sufrir deformaciones ya que la carga está siendo soportada por los ejes guía.



**Figura 18.** Dimensiones del acople flexible 5 a 8 [9]



**Figura 19.** Tornillo y tuerca de 8 mm de diámetro [10]

Para acoplar el tornillo se requiere de chumaceras, para máquinas CNC las chumaceras se seleccionan en función del diámetro del eje a acoplar como se observa en la Figura 20 .



**Figura 20.** Chumaceras para máquinas CNC de 8 mm diámetro KFL08-001 [11]

### 9.3. Cálculo del peso que puede transportar el tornillo seleccionado

Primero definimos la característica del tornillo a utilizar:

- Número de entradas: 1

- Paso del tornillo: 2 *mm*
- Diámetro exterior = 8 *mm*
- Tipo de rosca = ACME
- Torque a transmitir = 0.44 *Nm*

Para un tornillo de potencia el torque en función de la carga a transmitir es:

$$T = \frac{F}{2} \left[ \frac{l + u \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - u \cdot l} \cdot d_m + \mu_c \cdot d_c \right] \quad (3)$$

Donde

$T$  = Torque a transmitir, en *Nm*

$F$  = Carga que puede desplazar el tornillo, en *N*

$l$  = Avance del tornillo, en *m*

$d_m$  = Diámetro medio del tornillo, en *m*

$\mu$  = Coeficiente de fricción entre roscas

$\mu_c$  = Coeficiente de fricción del collarín

$d_c$  = Diámetro del collarín, en *m*

La máquina estriadora de bacterias no requiere de collarín por lo que la expresión 3 se reduce, despejando la carga a desplazar y sustituyendo valores se tiene.

$$F = \frac{2 \cdot t}{\left( \frac{l + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l} \right) \cdot d_m}$$

$$F = \frac{2 \cdot 0,44N \cdot m}{\left( \frac{2 + 0,4 \cdot \pi \cdot (8 - 2)}{\pi \cdot 6 - (0,4 \cdot 2)} \right) \cdot 8 \exp - 3m}$$

$$F = 208,12N$$

Cada tornillo puede desplazar una carga de 208 *N*, misma que supera en un 100% la carga considerada, dando un factor de carga de 2, que se considera aceptable para el dimensionamiento requerido.

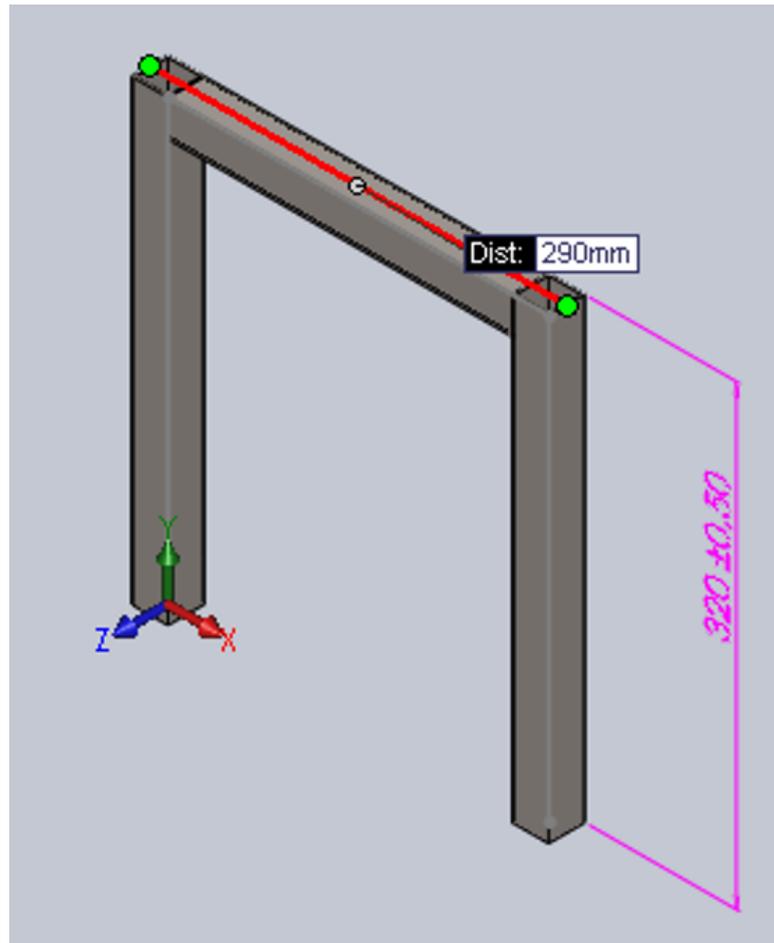
#### 9.4. Dimensionamiento de la estructura base

Para dimensionar la estructura base, se considera un tubo cuadrado de acero inoxidable seleccionado del catálogo de perfiles de Ivan Bohman, ver Figura 21, mediante un análisis por elementos finitos se determina la carga máxima que puede soportar la estructura base, como se indica en el Anexo D. Se selecciona este acero por precios y disponibilidad en el mercado ya que solo es el soporte de la máquina.

Tubos cuadrados y rectangulares AISI 304		
Medidas (mm)	Espesor de pared (mm)	Peso Aprox. (kg/m)
20.0 x 20.0	1.2	0.80
20.0 x 40.0	1.2	1.15
25.0 x 50.0	1.2	1.40
25.4 x 25.4	1.2	0.95
30.0 x 30.0	1.2	1.10
38.1 x 38.1	1.2	1.45
38.1 x 38.1	1.5	1.75
50.8 x 50.8	1.5	2.35
50.8 x 50.8	2.0	3.10
40.0 x 80.0	1.5	2.80
50.0 x 100.0	1.5	3.55
50.0 x 100.0	2.0	4.65

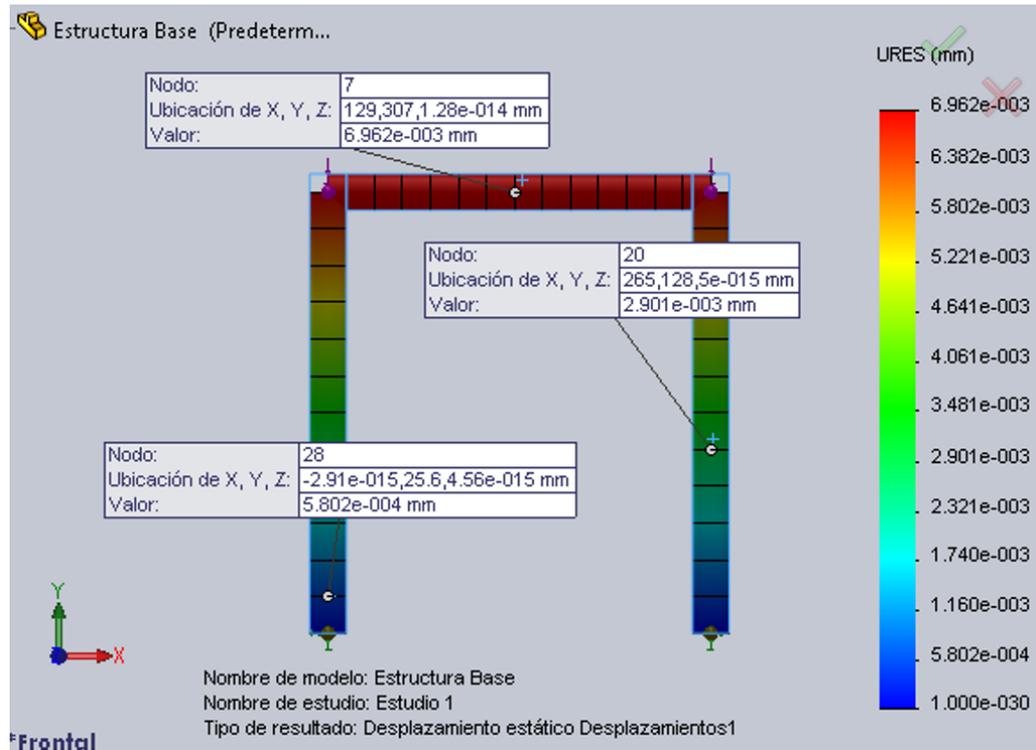
**Figura 21.** Perfiles de acero inoxidable AISI 304 Catálogo Ivan Bohman [7]

Se considera un tubo de 25,2 x 25,4 x 1,2 *mm* de espesor en acero inoxidable AISI 304, se le aplica una carga de 50 *N* en la parte superior de la estructura como se observa en la Figura 22 para exigir un sobre esfuerzo a la máquina y que esta no falle.



**Figura 22.** Pórtico a ser analizado

Mediante un análisis por elementos finitos, se determina que la estructura sufre una deformación máxima de  $6,96e^{-3}mm$ , que comparado con la deformación permisible para elementos de máquina de precisión moderada se encuentra dentro del rango establecido, ver Figura 23.

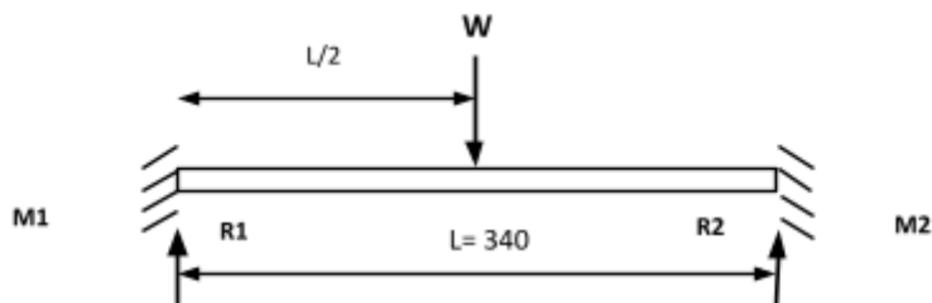


**Figura 23.** Estudio de deformación realizado en software CAD

### 9.5. Dimensionamiento de la placa base rayado

Se selecciona una placa de acero inoxidable ASTM A 240 del catálogo de aceros de Ivan Bohman y se la analiza como una viga doblemente empotrada para determinar el espesor de la placa.

Al igual que los ejes guía se busca la inercia requerida para garantizar la rigidez de la placa, considerando una sección rectangular que debe soportar una carga  $W = 50 \text{ N}$ , ver Figura 24.



**Figura 24.** D.C.L de la sección transversal de la placa base rayado

El segundo momento de área requerida para la placa base de rayado es la mitad de la

requerida por los ejes guía, por lo tanto se tiene:

$$I_{req} = -\frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot Y_{adm}}$$

$$I_{req} = -\frac{50N \cdot (0,34m)^3}{192 \cdot 207G \frac{N}{m^2} \cdot -0,17mm^3}$$

$$I_{req} = 2,9086 \exp -10 m^4$$

Al tratarse de una sección rectangular el segundo momento de área está dado por

$$I_{req} = -\frac{\pi \cdot h_{req}^3}{64} \quad (4)$$

Considerando  $h$  como el espesor de la placa se tiene

$$h = \sqrt[3]{\frac{2,9086 \exp -10m^4 \cdot 12}{340^{-3}}}$$

$$h = 0,0021m = 2,17mm$$

Se selecciona del mercado local una placa de acero inoxidable ASTM A240 de 2.5 *mm* de espesor, ver Figura 25, por estandarización la guía central también se fabrica con esta misma placa. Se escoge este tipo de acero ya que las normativas en laboratorios clínicos se sugiere este tipo de material por las condiciones en las que se trabaja, además de facilidad en la limpieza y menos contaminación en las muestras.

## 9.6. Resumen diseño mecánico

Para la implementación de esta máquina se selecciona todo de un mismo catálogo ya que de esta manera se disminuye el costo y facilidad de obtención de los materiales.

En este diseño se utilizaran los siguientes componentes mecánicos:

- Ejes de la máquina = Acero de plata rectificado de 10 *mm*.
- Tornillo sin fin de 8 *mm*.
- Acoples de 5 a 8 *mm*.
- Motores Nema 17 para el movimiento.
- Chumaceras KFL01-001 para soporte y guía de los ejes.

## PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A240/A480

(ESPESOR) mm	ANCHO X LONGITUD mm	PESO APROX. (Kg)	304	316-L	430	ACABADO
0.4	1220x2440	9.4			*	2B o N° 4
0.5	1220x2440	11.8	*		*	2B o N° 4
0.6	1220x2440	14.2	*			2B
0.7	1220x2440	17.0	*		*	2B o N° 4
0.8	1220x2440	18.7	*			2B
0.9	1220x2440	21.03	*			2B
1.0	1220x2440	24.0	*			2B o N° 4
1.2	1220x2440	28.2	*		*	2B o N° 4
1.5	1220x2440	35.0	*			2B o N° 4
2.0	1220x2440	48.0	*	*		2B o N° 4
2.5	1220x2440	60.0	*	*		2B
3.0	1220x2440	71.0	*	*		2B
4.0	1220x2440	97.0	*	*		N°1
5.0	1220x2440	118.0	*	*		N°1
6.0	1220x2440	144.0	*	*		N°1
8.0	1220x2440	187.0	*	*		N°1
10.0	1220x2440	234.0	*			N°1
12.0	1220x2440	282.0	*			N°1

**Acabado 2B:** Planchas laminadas en frío, tratadas térmicamente, decapadas químicamente y tenue paso final en cilindros brillantes. Para acero 430, acabado 2B es brillante.

**Acabado N° 1:** Planchas laminadas en caliente, tratadas térmicamente, decapadas química y mecánicamente.

**Acabado N° 4:** Planchas esmeriladas con grit 180-220 por una cara, la otra cra en acabado 2B. LA cara esmerilada viene protegida con film de PVC.

**Figura 25.** Planchas de acero inoxidable [7]

- Estructura con tubos cuadrados de acero AISI 304.
- Placa de rayado acero inoxidable ASTM A240.

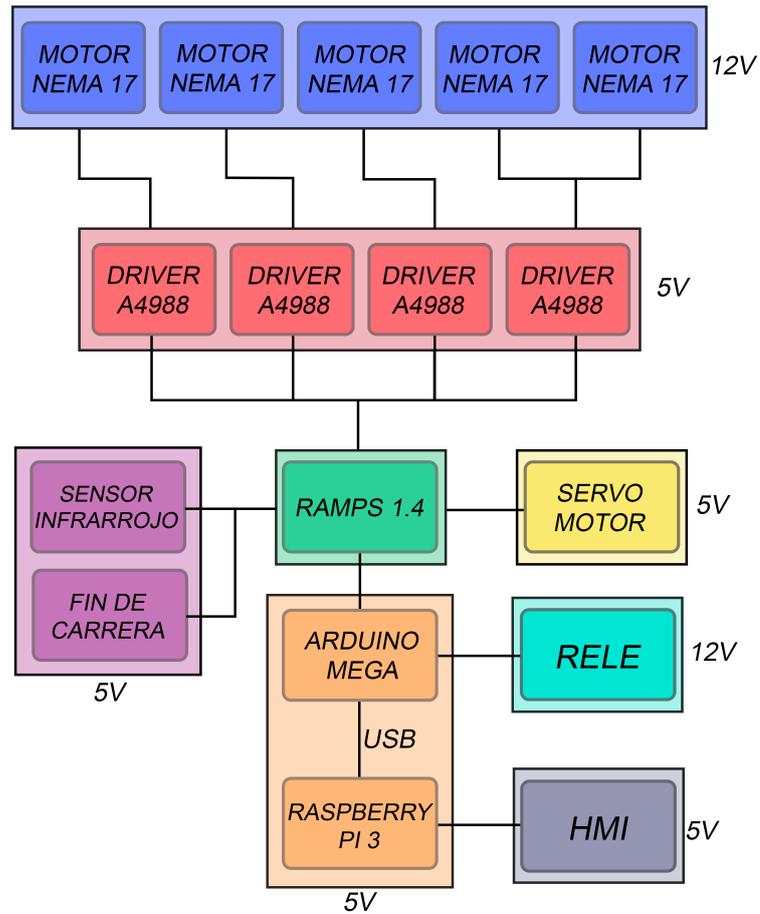
## 10. Dimensionamiento Electrónico

Para la selección de componentes electrónicos es necesario conocer los elementos que necesita la máquina para lo cual se realiza un diagrama de bloques con las partes que componen la máquina, en la Figura 26 se presenta el diagrama de bloques.

A continuación se realiza un análisis de las entradas y salidas al controlador lógico programable, este análisis se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Análisis de I/O

I/O	Descripción	Señal	Cantidad
O	Driver A4988	Digital	8
O	Servomotor	Digital	1
I	Sensor infrarrojo	Analógica	2



**Figura 26.** Diagrama de bloques para dimensionamiento electrónico

Los componentes seleccionados para el funcionamiento y control de la máquina se los presenta a continuación.

### 10.1. Controlador

Para el sistema de control se utiliza un Arduino MEGA, se escoge este por la cantidad de salidas digitales que se necesitan. Las características principales de este controlador podemos encontrarlas en la Tabla 8. El módulo se presenta en la Figura 27.

Este tipo de controlador es ideal para este proyecto por la facilidad que brinda para el control de varios motores a la vez. El análisis para la selección de este controlador se observa en el Anexo E.



**Figura 27.** Arduino Mega [12]

**Tabla 8.** Características Principales Arduino MEGA

Descripción	Características
Digitales I/O	54 entradas/salidas
Análogas	16 entradas/salidas
Dimensiones W x H x D	101 x 53 x 15
Alimentación	7 - 12 Vdc(recomendado)

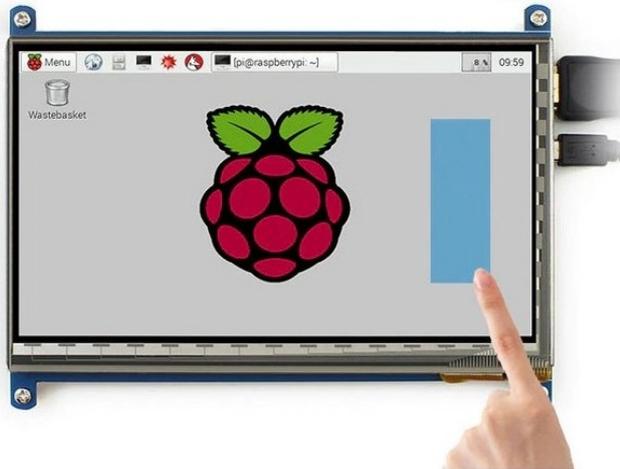
Se escogera un RaspBerry Pi 3 para que tenga una comunicación Serial con este y se pueda controlar a su vez que la HMI.

## 10.2. Interfaz Humano Máquina (HMI)

El oficio principal de monitoreo de estos sistemas se ejecuta sobre un computador industrial, para obtener una visión de los parámetros de control en la pantalla del equipo, lo que se llama un HMI (Human Machine Interface) [27]. Para la HMI se va utilizar un RaspBerry Pi 3 al cual se conectara una pantalla touch de 7 pulgadas que permite no solo la visión sino también el control al ser táctil, se puede ver la pantalla en la Figura 28.

Para realizar la interfaz gráfica se utiliza el software Node-Red este es un software que permite realizar el programa con la conexión de nodos, estos se pueden ver en tiempo real con un solo clic, además su editor esta basado en navegador lo que permite buscar sus herramientas de una manera mas fácil y visible. Dentro de esta aplicación existe una biblioteca la cual permite guardar funciones, plantillas o flujos útiles que permiten volver a ser

utilizados. Una ventaja de Node-Red es que nos guarda su información en línea facilitando su acceso [28].



**Figura 28.** Pantalla touch 7 pulg

### 10.3. Driver A4988

Para poder controlar los motores se escoge un driver A4988 porque este permite controlar tanto la velocidad como el sentido de giro de los motores de paso con el uso de pocos pines del microcontrolador que es Arduino.

Además este driver viene con protecciones tanto de corriente como de temperatura, así que no será necesario implementar una protección adicional para los mismos. Se escoge estos por su tamaño reducido, este driver se puede observar en la Figura 30

### 10.4. Ramps 1.4

Su siglas en inglés significan Reprap Arduino Mega Pololu Shield, como su nombre lo indica es un shield que se acopla a un Arduino MEGA, su función se centra en conectar y controlar componentes tales como: motores paso a paso, finales de carrera, pantalla LCD, ventiladores, entre otros. Son utilizados para impresoras 3D ya que llega a controlar hasta 6 motores paso a paso, de los cuales 5 funcionan de manera independiente; junto con todos los periféricos que requiere la impresora para funcionar de manera correcta [29].



Figura 29. Driver A4988

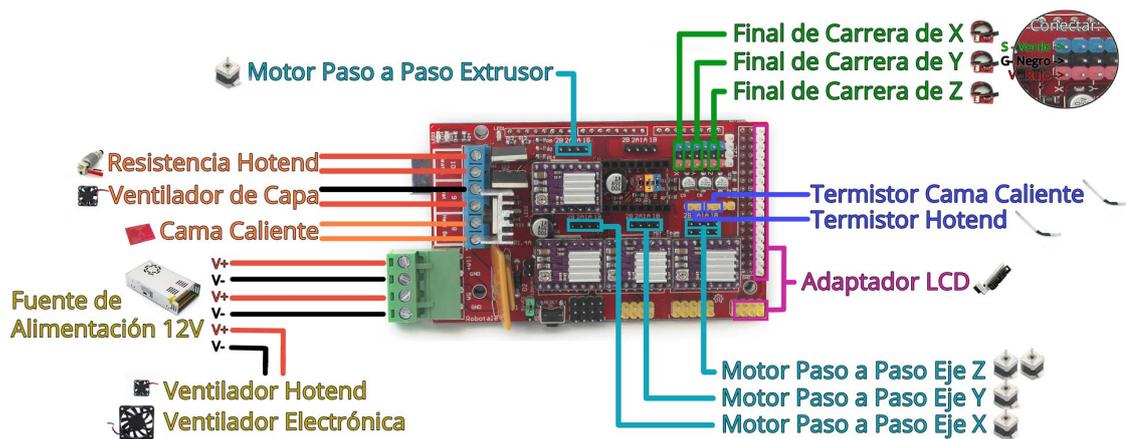
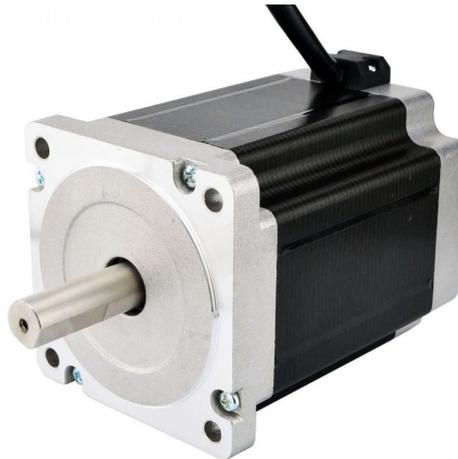


Figura 30. Ramps 1.4 [13]

## 10.5. Selección de Motores

Según lo realizado en los cálculos se seleccionan los motores Nema 17 para el movimiento de la máquina ya que la fuerza de estos motores es suficiente para el peso que debe soportar. El Nema 17 es un motor que funciona mediante la conversión de impulsos eléctricos enviados por el controlador en un desplazamiento angular [30], gracias a esto se logra realizar un rayado preciso y efectivo. Se presenta un motor Nema 17 en la Figura 31.

El Motor seleccionado funciona con  $12 V_{dc}$  y una corriente de  $1700 mA$ .



**Figura 31.** Motor Nema 17 [8]

### 10.6. Cálculo de avance del carro rayado

Al seleccionar el motor (Nema 17) y el driver (A4988) con el que funciona la máquina se calcula el avance del carro rayador. Los motores Nema 17 tienen un avance de 200 pasos por vuelta eso quiere decir que cada paso es de  $1.8^\circ$  [31].

Para poder tener un movimientos con micro paso se debe dar voltaje en los pines selectores de paso MS1, MS2 y MS3. Los diferentes tipos de micro pasos se observan en la Figura 32. Seleccionamos un paso de 1/8.

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

**Figura 32.** Micro pasos Motor Nema 17 [14]

Sabiendo que el avance del tornillo es de 200 pasos por una vuelta calculamos:

$$\begin{aligned}
 Pasos_{1/8} &= \frac{Pasos_{1vuelta}}{micropaso} \\
 Pasos_{1/8} &= \frac{200}{\frac{1}{8}} \\
 Pasos_{1/8} &= 1600Pasos_{vuelta}
 \end{aligned}$$

Se procede a calcular el avance del carro rayador conociendo que el tornillo por vuelta tiene un avance de  $2\text{ mm}$ , entonces para calcular cuantos pasos necesitamos:

$$N_{Pasos} = \frac{Pasos_{vuelta}}{avance}$$

$$N_{Pasos} = \frac{1600}{8}$$

$$N_{Pasos} = 800Pasos_{1mm}$$

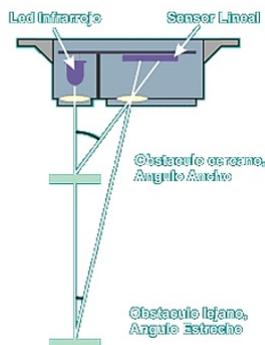
Con esto se avanza 1 *mm* cada 800 pasos, si esto se multiplica por la distancia que se quiere avanzar en milímetros se obtiene la cantidad de pasos necesaria.

$$N_{Pasos} = n \cdot 800Pasos$$

### 10.7. Sensor SHARP 2Y0A21 Infrarrojo

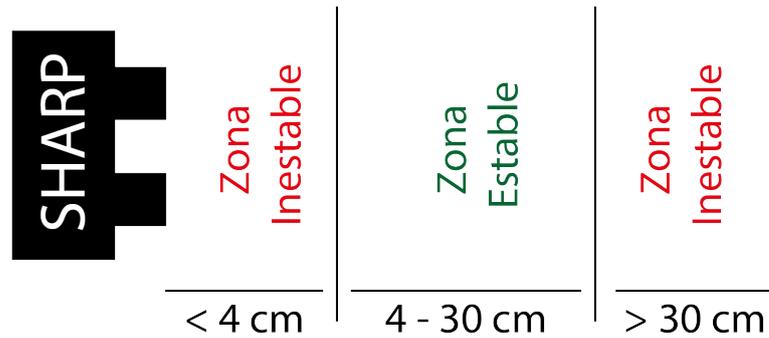
Un sensor SHARRP es una herramienta que permite obtener la distancia entre un objeto y el sensor. Este es un sensor óptico que con la triangulación entre el infrarrojo y el objeto a medir se tiene la distancia [15].

El proceso de triangulación se desarrolla formando un triángulo entre emisor-objeto-receptor como se observa en la Figura 33 y obtener el ángulo de uno estos, el Receptor es un PSD (Position Sensitive Detector) que detecta el punto de incidencia el cual depende del ángulo y a su vez de la distancia del objeto [15].



**Figura 33.** Geometría de la medición del sensor SHARP [15]

El sensor SHARP 2Y0A21 es un lector analógico que permite detectar distancias entre 4 - 30 cm, como se puede observar en la Figura 34.



**Figura 34.** Rango distancia SHARP 2Y0A21

### Cálculo distancia del sensor SHARP 2Y0A21

Este sensor debe ir conectado a un pin analógico en el microcontrolador Arduino, el que será utilizado para este trabajo, y las medidas que se reciben de este son voltajes ADC por lo que se debe realizar una transformación con el uso de la siguiente fórmula.

$$L_{Dist} = a \cdot X^b \quad (5)$$

Donde

$L_{Dist}$  = Longitud de la lectura, en *cm*

$X$  = Valor de lectura en el Arduino

Así que para calcular la distancia se toma los puntos máximo y mínimo del sensor, y la lectura del Arduino. Se consigue los siguientes valores:

$$L_1 = 4cm \rightarrow X_1 = 520$$

$$L_2 = 30cm \rightarrow X_2 = 30$$

Con la ecuación 5 se reemplazan los valores de  $L_{Dist}$  y  $X$  antes encontrados y se resuelve el sistema de ecuación. Despejando  $b$  se obtiene:

$$b = \frac{\ln L_1 - \ln a}{\ln X_1} \quad (6)$$

Reemplazando la ecuación 6 en la ecuación 5 se tiene:

$$a = e^{\frac{\ln L_1 \cdot \ln X_2 - \ln L_2 \cdot \ln X_1}{\ln X_2 - \ln X_1}} \quad (7)$$

## 10.8. Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación se encarga de brindar el voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de los motores para el funcionamiento de la máquina. Tomando en cuenta la corriente y el voltaje necesario para el motor se decide implementar una fuente de 12 V y 4,1 A, la cual se presenta en la Figura 35.



**Figura 35.** Fuente de 12  $V_{DC}$  [16]

### Cálculo de la potencia

Para la selección de la fuente se toma en cuenta el consumo de todos los elementos trabajando a la vez, ya que este sería el peor de los casos. En la Tabla 9 se puede observar el consumo necesario de cada elemento.

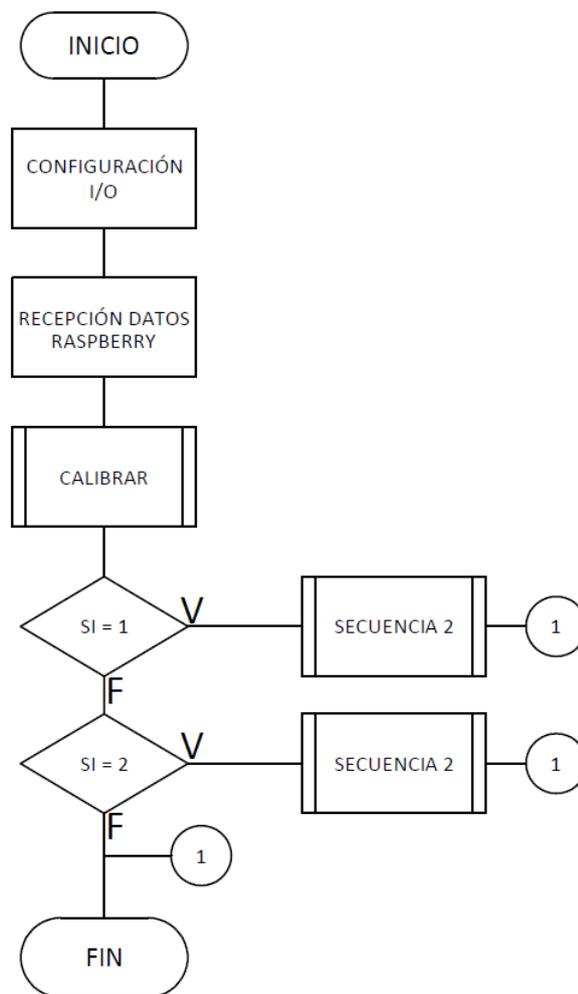
**Tabla 9.** Consumo de elementos electrónicos

Elemento	Cantidad	Consumo	Total
Arduino Mega	1	93 mA	93 mA
Motor Nema17	2	1700 mA	2400 mA
Microservo	1	500 mA	500 mA
Sensor SHARP	2	30 mA	60 mA
Rele	1	70 mA	70 mA

Con estos consumos se necesita una fuente que proporcione por lo mínimo una corriente de 3100 mA, así que se selecciona una fuente con una corriente de 4,1 mA de salida que es suficiente para esta máquina.

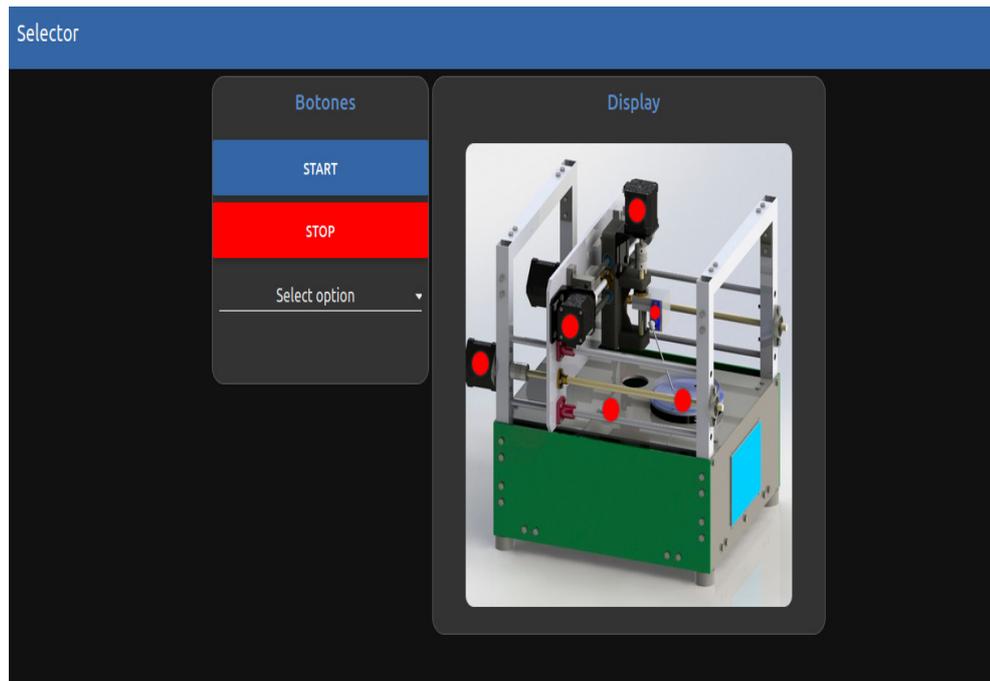
## 11. Desarrollo de la Programación

La programación del controlador lógico se lo hace con un Arduino este es un software que nos permite de una manera sencilla y ordenada realizar la programación de la secuencia de los motores, además de tener una comunicación serial para el transporte de datos con el programa Node-Red en el cual se realizó la interfaz gráfica. En la Figura 36 se presenta un diagrama de flujo de las actividades que el Arduino controla para cumplir con los objetivos de la máquina.



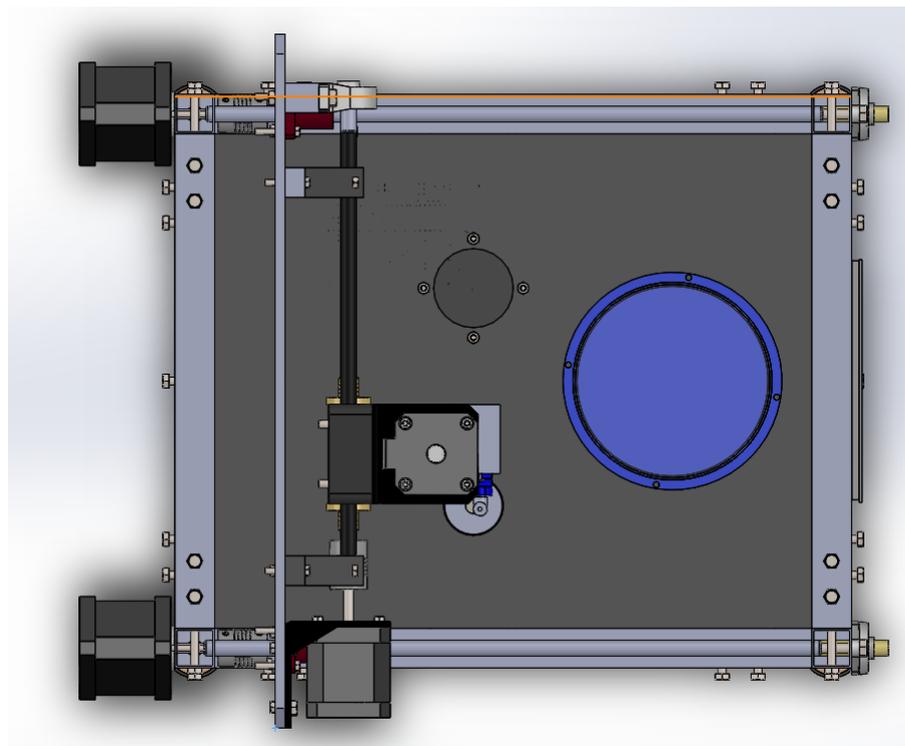
**Figura 36.** Flujograma para el control de la máquina

Para la interfaz gráfica se tiene una opción con la cual nos permite comenzar el rayado, un cuadro de texto en el cual se vera el estado del proceso y un listado con los dos tipos de rayado que puede realizar la máquina.

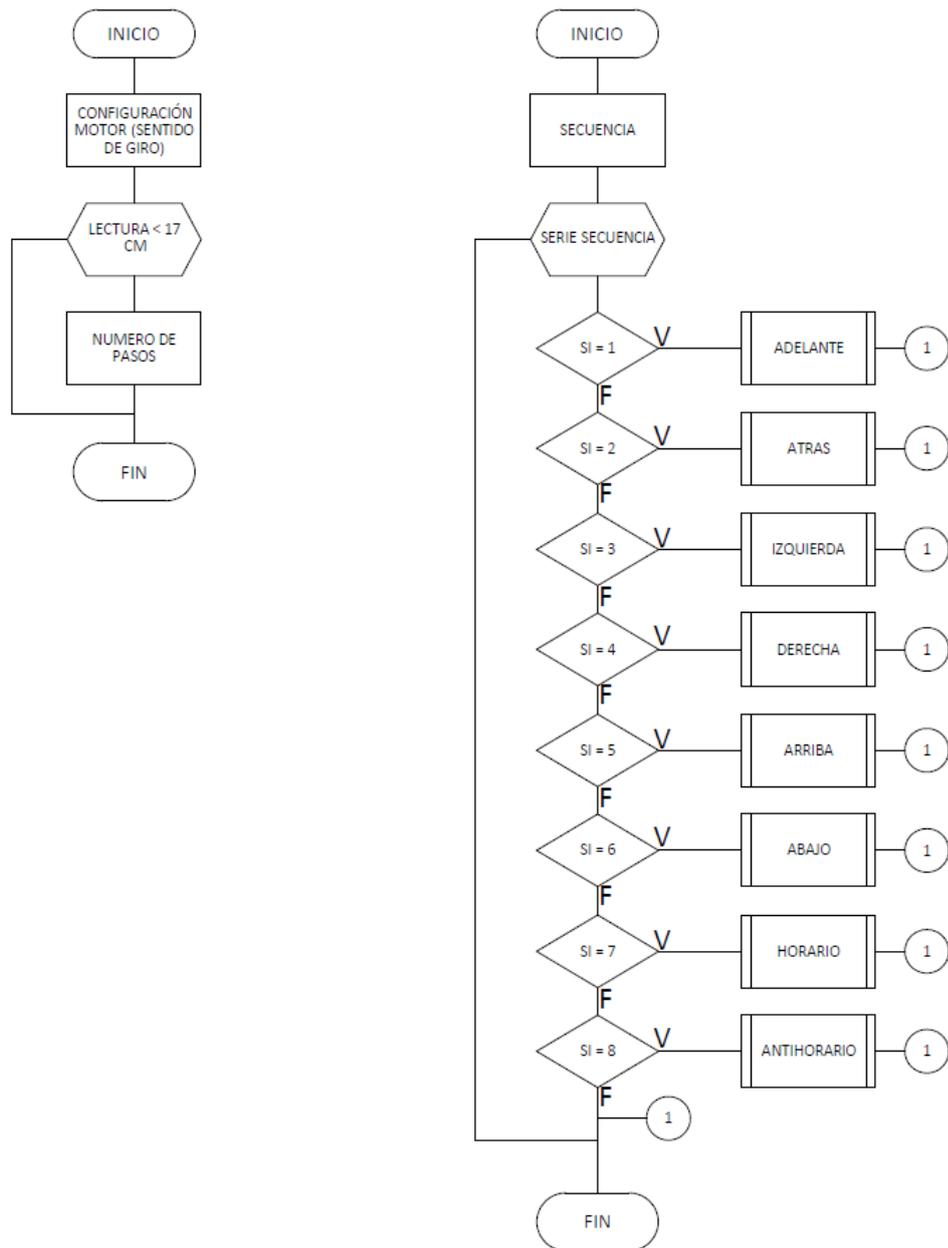


**Figura 37.** Pantalla principal

Al recibir el dato del Raspberry el programa realiza la calibración del carro rayador con sensores SHRARP analógicos. Ya con el carro en la posición cero, ver Figura 38, comienza a realizar la secuencia de rayado correcta, esta se puede observar en la Figura 39 que indica el diagrama de flujo de como se cumplirá la secuencia de movimiento.

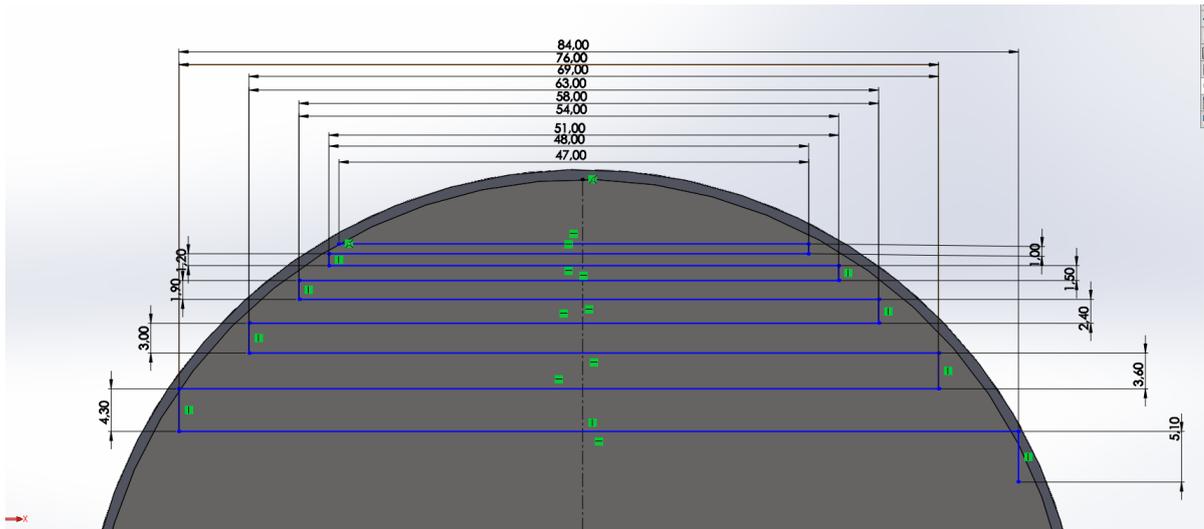


**Figura 38.** Posición cero de la máquina



**Figura 39.** Diagrama de flujo secuencia de movimiento

Para poder desarrollar el movimiento del rayado se realizó una simulación del estriamiento de la bacteria en la caja Petri, ver Figura 40, con esto se ve un aumento de 0,6 en el rayado del eje X y de 0,5 en el rayado del eje Z.



**Figura 40.** Simulación rayado

## 12. Conclusiones

1. El proyecto tiene un enfoque principal para facilitar y solucionar errores, mostrando de manera científica un desarrollo de bacterias que alcance la automatización confiable y segura. Manteniendo así avances tecnológicos, técnicos y evolucionar ante cualquier simulación. Dando como facilidad la disminución de tiempo para obtener resultados clínicos. Con un desarrollo clínico a un rango proporcional de resultados entre 5 a 7 minutos por muestra. El dispositivo diseñado permitirá homogeneizar el proceso.
2. La máquina está diseñada para ser portátil, con unas dimensiones de 300 *mm* de ancho, 400 *mm* de profundidad y 200 *mm* de altura, y que consta de los siguientes elementos principales:
  - a) Una estructura de tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304.
  - b) Un asa bacteriológica de platino y su sistema de sujeción que incluye un motor elevador para regular la altura durante el movimiento de estriamiento y un servomotor para controlar el ángulo del rayado.
  - c) Un sistema de movimiento en el plano que incluye dos motores paso a paso Nema17 de 4V y 1.2 A y que se conectan con acoples de 5 a 8 mm a un tornillo sinfín de acero de 8 mm y dos ejes guías de acero plata (DIN 120WVA) rectificado de 10 mm como soporte, conectados en sus extremos con una

chumacera KFL01-001.

- d) Un tubo de esterilización de acero inoxidable, con un sistema de calentamiento con resistencia eléctrica.
  - e) La placa del rayado y la base se diseña con acero inoxidable ASTM240.
  - f) La base para la caja Petri incluye un motor paso a paso para el giro de rayado
  - g) Un sistema de control compuesto por un microcontrolador Arduino Mega con una Ramps 1.4 que facilita la conexión y programación de los motores.
  - h) Para la interfaz HMI se diseña con la herramienta de programación visual Node-RED dentro de un microordenador Raspberry Pi3, con su respectiva pantalla en el frente del prototipo.
3. Los resultados de la simulación del programa muestran que el rayado se realiza entre 5,5 y 6,5 minutos, con lo cual se cumple el objetivo de obtener un estriado en el rango de 5 a 7 minutos.
  4. Con el desarrollo del presente proyecto en el que se ha considerado los avances tecnológicos y con materiales accesibles localmente, se puede simplificar y automatizar
  5. El dispositivo está diseñado para un fácil manejo, rapidez y manteniendo precisión de cada una de las evaluaciones dadas o determinadas para dar resultados positivos, sin alterar ni agregar procesos físicos o químicos que afecten el desarrollo natural de las bacterias durante el proceso de estriamiento.
  6. La máquina tiene como ventajas, definidas por tiempo, espacio, seguridad y producción eficaz para evaluaciones científicas y específicas, con criterios de evaluación y disminución de tiempo y autenticidad en su desarrollo y despliegue de resultados.

### **13. Recomendaciones**

Para trabajos futuros relacionados con el prototipo, se recomienda adquirir materiales y fabricar el prototipo de acuerdo con las instrucciones proporcionadas en este

documento y con las mejoras de diseño que se pueden realizar. Las pruebas de funcionalidad a ser consideradas en el futuro incluyen las pruebas de rotación de los motores, tiempo de estriamiento de bacterias y comparación de resultados con procesos manuales de cultivo de bacterias con estriamiento en cajas Petri. En base a los resultados de las pruebas de funcionamiento y en adición a lecciones aprendidas se puede escalar en el desarrollo del prototipo Al momento de construir esta máquina se debe utilizar los materiales especificados en el diseño ya que con estos soportara la máxima carga y esfuerzo. En los acoples de los ejes y en el tornillo sinfín se debe colocar aceite para disminuir la fricción y de esta manera aumentar la vida útil. Se debe realizar un mantenimiento a la máquina una vez al año según las normas para los laboratorios clínicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Autoplak,” Aug 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.metrixlab.mx/producto/autoplak/>
- [2] “Sidecar automatización total en microbiología,” Mar 2021. [En línea]. Disponible: <https://velezlab.com.co/product/sidecar-automatizacion-total-en-microbiologia/>
- [3] G. Prats, *Microbiología clínica*, 1st ed. Bogota: Panamericana, 2005.
- [4] J. Melnick, E. Jawetz, E. and Adelberg, K. Carroll, Jawets, Melnick, y Adelberg, *Microbiología médica*, 27th ed. McGraw-Hill - Mexico, 2016.
- [5] P. Reyna, “Bucle de inoculación: Tipos, definición e importancia 2020,” Nov 2020. [En línea]. Disponible: <https://materialesdelaboratoriohoy.us/metal/bucle-de-inoculacion/>
- [6] J. E. Shigley, C. R. Mischke, F. P. Bocanegra, y C. O. Correa, “Diseño en ingeniería mecánica,” 1990.
- [7] I. Bohman, “Catálogo de productos,” Quito, *Pichincha, Ecuador*, 2016.
- [8] Isaac, “Nema 17: Todo sobre el motor paso a paso compatible con arduino,” May 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.hwlibre.com/nema-17/>
- [9] “Acople flexible 5\*8mm para motor a pasos.” [En línea]. Disponible: <https://grupoelectrostore.com/shop/cnc/acople-flexible-58mm-para-motor-a-pasos/>
- [10] “Tornillo trapezoidal 8mm – 400mm.” [En línea]. Disponible: <https://sandorobotics.com/producto/hr0646/>
- [11] Vistrónica, “Chumacera con rodamiento 8mm kp08.” [En línea]. Disponible: <https://www.vistronica.com/impresora-3d-y-cnc/rodamientos/chumacera-con-rodamiento-8mm-kp08-detail.html>
- [12] Arduino, “Arduino mega 2560 rev3.” [En línea]. Disponible: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

- [13] M. A. Vélez Montecinos, "Koala 3d: Impresora 3d capaz de fabricar objetos de altura mayor que su propia altura," 2017.
- [14] A. Simons, K. L. Avegnon, y C. Addy, "Design and development of a delta 3d printer using salvaged e-waste materials," *Journal of Engineering*, vol. 2019, 2019.
- [15] "Tutorial sensor de distancia sharp," Oct 2016. [En línea]. Disponible: <https://naylorlampmechatronics.com/blog/55-tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html>
- [16] "Fuente de poder para cctv 12 voltios 4 amperios," May 2022. [En línea]. Disponible: <https://dcimecuador.com/producto/fuente-de-poder-para-cctv-12v-4a/>
- [17] Autycom, "Descubre qué es y para qué sirve un plc," Jun 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>
- [18] R. L. Mott, R. N. Salas, M. A. R. Flores, y E. B. Martínez, *Resistencia de materiales*. Pearson Educación, 2009, vol. 5.
- [19] R. Junco Díaz y C. Pérez, *Cultivo y crecimiento de los microorganismos*, 01 2001, pp. 45–54.
- [20] "Recomendaciones para el diagnostico microbiológico de la infección urinaria," *Revista chilena de infectología*, vol. 18, pp. 57 – 63, 00 2001. [En línea]. Disponible: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sciarttextpid=S0716-10182001000100008nrm=iso>
- [21] E. Solache-Huacuz, G. Rodríguez-Alvarado, A. E. Naranjo-Bravo, M. Díaz-Celaya, y S. P. Fernández-Pavía, "Técnicas de purificación de aislamientos de phytophthora contaminados por bacterias," *Biológicas*, vol. 12, no. 1, pp. 61–64, 2010.
- [22] J. A. Ramírez, J. A. Parra, y A. A. Aldana, "Análisis de técnicas de recuento de microorganismos." *Mente Joven*, vol. 6, pp. 01–08, 2017.
- [23] "Autoplak, un año más en medica con nuevas prestaciones," Oct 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.group.sener/es/notas-prensa/autoplakmedicaconnuevasprestaciones>

- [24] S. Sanz, *Prácticas de microbiología*, 2nd ed. La rioja - España, 2011.
- [25] RAE. Agar-agar. [En línea]. Disponible: <https://dle.rae.es/agar-agar0SkkWv7> (2019)
- [26] C. Camisón, S. Cruz, y T. González, *Gestión de la calidad*. Pearson Educación Madrid, 2006.
- [27] E. Pérez-López, “Los sistemas scada en la automatización industrial,” *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 28, no. 4, pp. 3–14, 2015.
- [28] “Red,” Apr 2017. [En línea]. Disponible: <https://nodered.org/>
- [29] T. Finnes, “High definition 3d printing—comparing sla and fdm printing technologies,” *The Journal of Undergraduate Research*, vol. 13, no. 1, p. 3, 2015.
- [30] “Nema 17 stepper motor.” [En línea]. Disponible: <https://components101.com/motors/nema17-stepper-motor>
- [31] “Ramps 1.4.” [En línea]. Disponible: <https://www.prometec.net/ramps-14/>
- [32] Arduino. Arduino nano. [En línea]. Disponible: <https://arduino.cl/arduino-nano/>
- [33] ——. Arduino nano. [En línea]. Disponible: <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- [34] “¿qué es un plc y cómo funciona?” Jun 2021. [En línea]. Disponible: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>
- [35] L. Calvo, “¿qué es una raspberry pi y para qué sirve?” Mar 2022. [En línea]. Disponible: <https://es.godaddy.com/blog/que-es-raspberry-pi/?gclid=CjwKCAjw2rmWBhB4EiwAij0mtSupC XK9BfSH2omRBUE451pcq7ShwmqbFuJS2E>

## Anexo A: Desarrollo de la QFD

### 1.1. VOZ DEL USUARIO

La voz del usuario describe los requerimientos del laboratorio clínico LabSol Los requerimientos son los detallados a continuación:

- Pueda trabajar con 1 caja a la vez.
- Realizar rayado de muestras en cajas Petri.
- El proceso debe ser automático.

### 1.2. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA

En el análisis de la competencia se evalúan 2 máquinas comerciales las cuales permiten el estriamiento de bacterias. Este análisis de la competencia permite realizar un diseño de la máquina que sea más competitivo en el mercado. Del análisis de la competencia se pudo determinar que los puntos mas importantes a tener en cuenta en la máquina es el tamaño de la misma, la facilidad de uso, que pueda realizar un rayado automatizado. Esto se observa en la Figura 41.

	PROPIA	AUTOPLAK	SIDECAR
Precio accesible	4	1	2
Material	4	4	3
Color	3	3	3
Tamaño	4	1	3
Variabilidad de las muestras	2	4	3
Automatizada	4	4	4
Facil uso	4	3	1
Rapidez y precisión	3	4	3

Figura 41. Análisis de competencia

### 1.3. VOZ DEL INGENIERO

Cada demanda subjetiva del usuario se lo debe describir en características técnicas medibles de forma que se logre satisfacer las demandas del usuario y se tenga una base para crear el diseño.

- Diseñar un sistema que pueda realizar el rayado automatizado en la caja Petri.
- Diseñar una maquina donde pueda esterilizar el asa.
- Diseño mecánico de los motores a utilizar.
- Implementación de un controlador y un HMI para el control de la máquina.

#### 1.4. CORRELACIONES

Se analiza hasta qué punto se podrá satisfacer las demandas del cliente a partir de características técnicas elegidas en la voz del usuario. Se tienen tres grados de satisfacción, si es fuerte se coloca un círculo con un punto, si es media se coloca un círculo vacío y si es débil se coloca triángulo. En el caso de no tener ninguna relación entre las características técnicas y las demandas no se coloca ningún valor. En la Figura 42 se puede observar los valores que se asignaron a cada demanda del usuario según las características técnicas encontradas.

Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")						
			Almacenamiento	Material de calidad	Tamaño de 60*40*30	Vida útil de 10 años	Buena estética	Almacenamiento de cajas usadas	HMI par el control
15,4	10,0	Precio accesible	○	○	○	○	○	○	○
12,3	8,0	Material	▲	○	▲	○	○	▲	▲
9,2	6,0	Color	▲	○	▲	▲	○	▲	▲
12,3	8,0	Tamaño	○	▲	○	▲	○	○	▲
12,3	8,0	Variabilidad de las muestras	○	▲	○	▲	▲	▲	○
13,8	9,0	Automatizada	▲	○	○	○	○	○	○
15,4	10,0	Facil uso	▲	▲	▲	▲	▲	○	○
9,2	6,0	Rapidez y precisión	▲	○	○	▲	▲	○	▲

**Figura 42.** Correlaciones entre las demandas del usuario y características técnicas

### 1.5. EVALUACIÓN TÉCNICA

Esta evaluación ayudará a definir ciertas características técnicas que tendrán una mayor importancia en el diseño de la máquina. En la Figura 43 se presenta cada característica técnica junto con el porcentaje correspondiente de cada una. Se observa que el precio, así como la facilidad de uso para el usuario es lo primordial para el diseño, además se debe tomar en cuenta el tamaño de la máquina como que esta sea automatizada en el rayado.

Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")
15,4	10,0	Precio accesible
12,3	8,0	Material
9,2	6,0	Color
12,3	8,0	Tamaño
12,3	8,0	Variabilidad de las muestras
13,8	9,0	Automatizada
15,4	10,0	Facil uso
9,2	6,0	Rapidez y precisión

**Figura 43.** Porcentaje de importancia de características técnicas

### 1.6. IMPLANTACIÓN DE CASA DE CALIDAD

En la Figura 44 se presenta la casa de la calidad.



## Anexo B: Análisis de alternativas

La evaluación presentada a continuación se refiere a las soluciones alternativas establecidas en la fase conceptual. En este diseño se busca una máquina que estríe bacterias con un asa en cajas Petri con agar abiertas. Entre las alternativas que se tienen pensadas son para el movimiento con el cual se realizara el estriamiento de bacterias.

- **Solución A:** Movimiento estilo CNC en la parte superior para realizar el rayado de bacterias.
- **Solución B:** Movimiento con un brazo robótico para el estriamiento de bacterias.
- **Solución C:** Movimiento solo de la base para el estriamiento de bacterias.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- **Tiempo de rayado:** La rapidez con la que se puede realizar el rayado.
- **Dificultad de los cálculos:** Utilizar métodos prácticos y seguros que generen confianza y amplitud para mantener una eficacia alta en el uso de la máquina.
- **Costo de producción:** Autenticar costos por variables, enfocando la veracidad, seguridad y bienestar económico, con rangos no superiores al de un costo notables por encima de un presupuesto con alto nivel de rentabilidad.
- **Tamaño dispositivo:** Que se eficiente en cuestión de espacio para la empresa.
- **Mantenimiento:** Evaluación y valoración adecuada a la base presupuestaria, con equivalentes positivos para mantener en excelentes condiciones. Sin variación del sistema por disminuir el mantenimiento adecuado.

Definidos estos datos procedemos con la evaluación del peso específico:

Para determinar la prioridad de cada criterio se realiza una evaluación de peso específico. En la Tabla 10 se presenta la evaluación .

**Tabla 10.** Evaluación de pesos específicos

	Tiem.	Cal.	Cos.	Man.	Tam.	$\sum +1$	Ponderación
Tiempo		1	1	1	1	5	0.33
Cálculos	0		1	1	1	4	0.267
Costo	0	0		1	1	3	0.200
Manten.	0	0.5	0.5		1	2	0.133
Tamaño	0.5	1	1	1		1	0.067
Total						15	1.00

Procedemos con la evaluación de los pesos específicos con las distintas soluciones para cada criterio:

En la Tabla 11 se presenta el análisis del criterio tiempo.

**Tabla 11.** Evaluación de tiempo

Tiempo	A1	A2	A3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	2	0.333
Alternativa 2	1		1	0	0.500
Alternativa 3	0	0		1	0.167
Total				6	1.00

En la Tabla 12 se presenta el análisis del criterio de la dificultad de cálculos.

**Tabla 12.** Evaluación de dificultad de cálculos

Cálculos	A1	A2	A3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.416
Alternativa 2	0		0	1	0.167
Alternativa 3	0.5	1		2.5	0.416
Total				6	1.00

En la Tabla 13 se presenta el análisis del criterio del criterios costos.

**Tabla 13.** Evaluación de costos de producción

Costos	A1	A2	A3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0	1	0.167
Alternativa 3	0	1		2	0.333
Total				6	1.00

En la Tabla 14 se presenta el análisis del criterio mantenimiento.

**Tabla 14.** Evaluación de costos de mantenimiento

Manten.	A1	A2	A3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	3	0.5
Alternativa 2	0.5		0	1	0.167
Alternativa 3	0	1		2	0.333
Total				6	1.00

En la Tabla 14 se presenta el análisis del criterio de tamaño de la máquina.

**Tabla 15.** Evaluación de tamaño

Manten.	A1	A2	A3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	3	0.5
Alternativa 2	0.5		0	1	0.167
Alternativa 3	0	1		2	0.333
Total				6	1.00

Para finalizar el análisis de alternativas realizamos la Tabla 16 para ver la mejor opción:

**Tabla 16.** Tabla de conclusiones

	Tiem.	Cal.	Cos.	Man.	Tam.	$\sum +1$	Prioridad
Alternativa A	0.111	0.111	0.100	0.067	0.034	0.422	1
Alternativa B	0.167	0.045	0.033	0.022	0.028	0.278	2
Alternativa C	0.056	0.111	0.067	0.044	0.022	0.300	3

La solución A es la mejor solución, en segundo orden de prioridad es la solución B y muy cerca de esta es la solución C.

## Anexo C: Catálogo Ivan Bohman para tubo de acero cuadrado

Acero Inoxidable

ACEROS

### ► Platinas, ángulos y tubos: cuadrados y rectangulares

Medidas enstock								
Redondo - Barras 304				Redondo (420)		Tubos cuadrados y rectangulares AISI 304		
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Medidas (mm)	Espesor de pared (mm)	Peso Aprox. (kg/m)
3/16	0,15	1 3/4	12,40	51	16,4	20.0 x 20.0	1.2	0.80
1/4	0,25	2	16,10	70	30,9	20.0 x 40.0	1.2	1.15
5/16	0,40	2 1/4	20,40	81	41,3	25.0 x 50.0	1.2	1.40
3/8	0,60	2 1/2	25,20	90	51,0	25.4 x 25.4	1.2	0.95
1/2	1,00	2 3/4	30,40	101	64,3	30.0 x 30.0	1.2	1.10
5/8	1,60	3	36,20	127	101,6	38.1 x 38.1	1.2	1.45
3/4	2,30	3 1/2	49,30	131	108,1	38.1 x 38.1	1.5	1.75
7/8	3,10	4	64,30			50.8 x 50.8	1.5	2.35
1	4,10	4 1/2	81,40			50.8 x 50.8	2.0	3.10
1 1/8	5,10	5	100,50			40.0 x 80.0	1.5	2.80
1 1/4	6,30	5 1/2	122,00			50.0 x 100.0	1.5	3.55
1 1/2	9,10	6	145,00			50.0 x 100.0	2.0	4.65

Láminados en caliente, recocidos y decapados					
Platinas de acero inoxidable AISI 304				Ángulos de acero inoxidable AISI 304 - DIN 1028	
Espesor x Ancho (mm)	Peso Aprox. (kg/m)	Espesor x Ancho (mm)	Peso Aprox. (kg/m)	Lado x Espesor (mm)	Peso Aprox. (kg/m)
3 x 12	0,30	6 x 38	1,90	25 x 3	1,20
3 x 20	0,50	6 x 50	2,40	30 x 3	1,50
3 x 25	0,60	6 x 100	4,80	30 x 5	2,40
3 x 30	0,80	9 x 25	1,80	40 x 3	2,00
3 x 38	0,90	9 x 38	2,80	40 x 4	2,60
3 x 50	1,20	9 x 50	3,60	40 x 5	3,30
4 x 20	0,70	10 x 75	6,00	40 x 6	3,90
4 x 25	0,80	12 x 38	3,70	50 x 3	2,40
4 x 30	1,00	12 x 50	4,80	50 x 4	3,30
4 x 38	1,30	12 x 100	9,60	50 x 6	4,80
6 x 25	1,20			60 x 6	5,90

\* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

Figura 45. Tubo acero cuadrado Ivan Bohman

# Anexo D: Catálogo Ivan Bohman para acero de plata rectificado

► Cód. IBCA: DF2 ≅ AISI 01 ≅ W.Nr. 1.2510 ≅ UDDEHOLM ARNE



Tratamiento térmico					
<b>Cambios dimensionales durante el temple</b>					
Plancha de muestra, 100 x 100 x 25 mm					
		<b>Ancho %</b>	<b>Longitud %</b>	<b>Espesor %</b>	
Temple en aceite desde 830 °C	mín	+0,03	+0,04	-	
	máx	+0,10	+0,10	+0,02	
Temple escalonado Martensítico desde 830 °C	mín	+0,04	+0,06	-	
	máx	+0,12	+0,12	+0,02	
<p><b>Nota:</b> Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,25%</p>					
<b>Tratamiento sub-cero y envejecimiento</b>					
<p>Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero y/o envejecimiento artificial, para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen. Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.</p>					
<b>Tratamiento sub-cero</b>					
<p>Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre -70 y -80 °C durante un tiempo de 3 a 4 horas, seguido de revenido o envejecimiento. El tratamiento sub-cero confiere un aumento de dureza de 1 - 3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.</p>					
<b>Envejecimiento</b>					
<p>El revenido después del temple se sustituirá por envejecimiento a 110 - 140 °C durante 25 - 100 horas</p>					
Mecanizado por electroerosión					
<p>Si la electroerosión se efectúa en material templado y revenido, deberá darse a la herramienta un revenido adicional a aprox. 25 °C por debajo de la temperatura de revenido anterior</p>					
Medidas en stock					
<b>Redondo</b>				<b>Platinas</b>	
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Peso (kg/m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Peso (kg/m)</b>	<b>Platinas (mm)</b>	<b>Peso (kg/m)</b>
12,7	1,0	81	41,3	6 x 38	1,8
16	1,6	85	45,5	6 x 45	2,2
20	2,5	90	51,0	6 x 57	2,7
20,5	2,6	91	52,2	8 x 108	6,9
20,8	2,7	101	64,3	8 x 38	2,4
22	3,0	102	65,5	8 x 45	2,9
25,4	4,1	111	77,6	8 x 57	3,6
26	4,3	115	83,3	10 x 108	8,6
28	4,9	121	92,2	10 x 30	2,4
30	5,7	127	101,6	10 x 38	3,0
32	6,5	131	108,1	10 x 45	3,6
35	7,7	150	141,8	10 x 57	4,6
38	9,1	151,5	144,6	10 x 69	5,5
41	10,6	152	145,6	10 x 86	6,9
45	12,8	153	147,5	12 x 108	10,4
50,8	16,3	160	161,3	12 x 38	3,6
51	16,4	170	182,1	12 x 57	5,5
60	22,7	180	204,1	15 x 108	13,0
61	23,4	182	208,7	15 x 158	19,0
63,5	25,4	202	257,1	15 x 166	19,9
66	27,4	203	259,6	15 x 210	25,2
70	30,9	225	318,9	15 x 38	4,6
71	31,8	250	393,8	15 x 45	5,4
80	40,3	280	493,9	15 x 69	8,3
				15 x 86	10,3
				18 x 108	15,6
				18 x 166	23,9
				18 x 210	30,2
				18 x 38	5,5
				18 x 57	8,2
				18 x 69	9,9
				18 x 82	11,8
				18 x 86	12,4
				22 x 108	19,0
				22 x 133	23,4
				22 x 158	27,8
				22 x 210	37,0
				22 x 45	7,9
				22 x 86	15,1
				25,4 x 102	20,7
				25,4 x 127	25,8
				25,4 x 635	129,0
				28 x 108	24,2
				28 x 158	35,4
				28 x 166	37,2
				28 x 45	10,1
				28 x 69	15,5
				35 x 108	30,2
				35 x 158	44,2
				35 x 260	72,8
				35 x 57	16,0
				35 x 82	23,0
				41 x 133	43,6
				41 x 158	51,8
<b>Acero Plata DF2</b>					
		<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Peso (kg/m)</b>		
		4	0,1		
		5	0,2		
		6	0,2		
		7	0,3		
		8	0,4		
		9	0,5		
		10	0,6		
		11	0,8		
		12	0,9		
		13	1,1		
		14	1,2		
		16	1,6		
		18	2,0		
		20	2,5		
		22	3,0		
		25	3,9		
<p>* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte</p>					

Figura 46. Acero de plata rectificado Ivan Bohman

## Anexo E: Análisis Costo-Beneficio de las alternativas

En esta sección está analizado el costo de los materiales seleccionados en comparación a diferentes alternativas.

Para la selección del controlador se tiene 3 opciones las cuales son Arduino, PLC, Raspberry Pi, a continuación se analizó cada una de estas y el porqué fue seleccionada para este proyecto.

### 1. Arduino

Cuenta con diferentes modelos como lo es la Arduino Nano, Uno, Mega que son las más conocidas y las que se analizan más adelante.

- Nano: Este dispone de un procesador ATPMega328P con 14 pines de salida los cuales no serían suficientes para este proyecto ya que se cuenta con 5 motores [32], tiene un precio económico de 9 dólares.
- Uno: Al igual que el Arduino NANO cuenta con el mismo procesador y cantidad de pines, pero en ese se puede colocar un shield para el control de motores a paso. La desventaja o el porqué no se seleccionó este motor es la cantidad los cuales puede tener conectados que son 4 motores [33]. Esta placa tiene un costo aproximado de 20 dólares.
- Mega: Esta tiene un procesador ATPMega2560 la cual da una mayor velocidad de trabajo, dispone de 54 pines que son suficientes para este proyecto. Además en esta tarjeta se puede colocar un shield (Ramps 1.4) que permite colocar de una manera sencilla los drivers para el control de los motores, también brindando pines adicionales para la conexión de los sensores y fines de carreras [12]. Esta placa tiene un costo de 27 dólares.

## 2. Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable o Programmable Logic Controller (PLC), es una computadora industrial, ver Figura 47, que se utiliza para la automatización de procesos uniendo diferentes sistemas de control y de gran esfuerzo, estos dispositivos tienen un costo más elevado aproximadamente de 400 dólares [34].

Este controlador tiene una mayor utilidad dentro de las industrias donde se debe hacer control de motores de 120V, o con grandes esfuerzos, así que dentro de este proyecto no sería necesario, además aumentaría el peso del prototipo. Para poder programar este dispositivo se utiliza el programa Tia Portal que es pagado y el costo aumentaría aun más.



**Figura 47.** PLC Siemens [17]

## 3. Raspberry Pi3

Una Raspberry Pi es un microordenador el cual posee similares características como un ordenador común, a este se lo puede conectar periféricos a su salida como pantallas, parlantes, cámaras, entre otros. Posee 40 pines, de los cuales 27 son GPIO Estándar que nos sirven para la conexión de los motores. Este tiene un costo local de aproximadamente 80 dólares [35].

Mediante este análisis se selecciona como controlador al Arduino Mega por la capacidad de su procesador teniendo más memoria, su facilidad de programación de esta manera generando menos gastos al momento de programar por el tiempo invertido, diferentes módulos para conexiones como lo es el shield de Arduino RAMPS 1.4 para los motores.

Por otro lado, para la interfaz gráfica se selecciona la Raspberry Pi3 porque permite co-

nectar a esta directamente una pantalla táctil HDMI, además de permitir utilizar el programa NodeRed donde se realizara la HMI y a su vez se puede abrir su servidor.

## Anexo F: Cronograma del proyecto

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1	➤	<b>Definición del proyec</b>	<b>30 días?</b>	<b>lun 1/2/21</b>	<b>vie 12/3/21</b>		
2	➤	Investigación acerca del estriamiento de	12 días	lun 1/2/21	mar 16/2/21		
3	➤	Investigación normativas de laboratorios	9 días	lun 15/3/21	jue 25/3/21		
4	➤	Definir necesidades y limitaciones de la	10 días	lun 1/3/21	vie 12/3/21		
5	➤	<b>Diseño Mecánico</b>	<b>90 días?</b>	<b>vie 12/3/21</b>	<b>jue 15/7/21</b>		
6	➤	Dimensionamiento de la guía del eje Z	12 días	vie 12/3/21	lun 29/3/21		
7	➤	Dimensionamiento de transmisión de potencia eje X y Z	12 días	lun 29/3/21	mar 13/4/21		
8	➤	Calculo del tornillo transportador	10 días	mar 13/4/21	lun 26/4/21		
9	➤	Dimensionamiento de la estructura	8 días	lun 26/4/21	mié 5/5/21		
10	➤	Dimensionamiento de la base placa	8 días	mié 5/5/21	vie 14/5/21		
11	➤	<b>Diseño electrónico</b>	<b>30 días?</b>	<b>dom 1/8/21</b>	<b>jue 9/9/21</b>		
12	➤	Selección controlar	5 días	lun 2/8/21	vie 6/8/21		
13	➤	HMI	5 días	vie 6/8/21	jue 12/8/21		
14	➤	Selección materia	8 días	jue 12/8/21	lun 23/8/21		
15	➤	Cálculo del avance del carro rayador	12 días	lun 23/8/21	mar 7/9/21		
16	➤	<b>Desarrollo de la programación</b>	<b>60 días?</b>	<b>mar 8/2/22</b>	<b>lun 2/5/22</b>		
17	➤	Elaboracion de diagramas de flujo	12 días	mar 8/2/22	mié 23/2/22		
18	➤	Programación secuencias de	30 días	mié 23/2/22	mar 5/4/22		
19	➤	Programación de la	15 días	mar 5/4/22	lun 25/4/22		
20	➤	Reporte y documento final	350 días	mié 10/3/21	mar 12/7/22		
21	➤?						

Figura 48. Cronograma elaboración del proyecto

## **Anexo G: Planos de construcción**