

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y simulación de una máquina de tinción de muestras para pruebas de
Papanicolau”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecatrónica

Presentado por:

Winter Emanuel Alava Intriago

Jancarlo André Valencia Noboa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas para no desmayar en este arduo camino.

A mis padres Jacqueline y Winter, mis hermanos Nicole, Lian, Sinaí, Miguel por todo el amor y el apoyo incondicional que he recibido toda mi vida.

A Ketsy por todo su cariño y respaldo en este camino que hemos recorrido juntos.

A la familia Coloma Guzmán por el increíble apoyo que recibo de su bella familia.

A mis amigos que hicieron de mi tiempo en ESPOL la experiencia más divertida e inolvidable.

Winter Emanuel Alava Intriago

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios, por darme la fortaleza que necesité para finalizar este ciclo de mi vida.

A mi abuelito Pepe, mami Ligena y papi Luis, mis hermanas Gianella y Valentina, mis padres Marjorie y Marco, y a toda mi familia, que gracias a su confianza y sacrificio brindaron su apoyo incondicional para permitirme seguir mis sueños.

A Andrea, quien con su cariño ha sido mi soporte a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis amigos, por hacer de mi tiempo en ESPOL una de las etapas más divertidas de mi vida.

Jancarlo André Valencia Noboa

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a ESPOL por brindarme las herramientas necesarias para crecer en el ámbito personal y profesional.

A todos los profesores de ESPOL que contribuyeron con sus conocimientos y enseñanzas, en especial a M.Sc. Efraín Terán, M.Sc Bryan Puruncajas, Ph.D Christian Tutivén, Ph.D Marcelo Fajardo.

A mis amigos Ketsy, Jancarlo, Cesar, Jhon, Andrea, Lisette, Katherine, Sueanny, Dario por acompañarme en esta experiencia universitaria con su invaluable amistad.

Al ingeniero Henry Altuve, por su confianza en nosotros para el desarrollo e implementación del presente proyecto.

Winter Emanuel Alava Intriago

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Efraín Terán, mi tutor de tesis y coordinador de la carrera, que con su gestión permitió brindarme los conocimientos que han hecho posible realizar este trabajo.

Al ingeniero Henry Altuve, por su confianza en nosotros para el desarrollo e implementación del presente proyecto.

A mi familia, cuyo sacrificio y amor facilitaron el camino que me ha permitido culminar este presente proyecto, y cerrar con alegría este ciclo universitario.

Jancarlo André Valencia Noboa

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Winter Emanuel Alava Intriago y Jancarlo André Valencia Noboa damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Winter Emanuel Alava Intriago



Jancarlo André Valencia Noboa

EVALUADORES

BRYAN JOAO
PURUNCAJAS
MAZA

Firmado digitalmente por
BRYAN JOAO PURUNCAJAS
MAZA
Fecha: 2021.10.11 10:30:10
-05'00'

M.Sc. Bryan Puruncajas

PROFESOR DE LA MATERIA

EFRAIN ANDRES
TERAN CALLE

Digitally signed by EFRAIN ANDRES TERAN
CALLE
DN: cn=EFRAIN ANDRES TERAN CALLE,
serialNumber=110821180707, ou=ENTIDAD
DE CERTIFICACION DE INFORMACION,
o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Date: 2021.10.11 10:35:42 -05'00'

M.Sc. Efraín Terán

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto detalla el diseño de una máquina de tinción para procesamiento de muestras en pruebas de Papanicolaou para un laboratorio clínico. El objetivo es diseñar y simular una máquina de tinción utilizando materiales y componentes locales, garantizando un costo de fabricación bajo en comparación con las máquinas de tinción comerciales, y ofreciendo una tinción confiable mediante secuencias programables a través de una interfaz gráfica.

La máquina diseñada se basó en el mecanismo de una máquina CNC, en la cual la mesa de trabajo consiste en una base separadora de cubetas que contienen las soluciones químicas para la tinción. Las muestras están sujetadas por una gradilla, que se adhiere a la máquina por medio de electroimanes activados por el sistema de control. Para el movimiento se utilizaron motores de paso bipolares, que accionan un mecanismo de tornillo de potencia. El control de estos motores se implementó con un Arduino MEGA. Finalmente, se desarrolló una interfaz gráfica usando una Raspberry Pi 4 y una pantalla táctil que permite ejecutar, crear y editar las secuencias de tinción.

La máquina diseñada cumplió con criterios de seguridad mecánicos para garantizar que el movimiento se realice de forma precisa; se obtuvo un factor de seguridad de 6 en su sección crítica. Además, la interfaz gráfica desarrollada permite personalizar las secuencias de tinción de una forma clara y ordenada. Finalmente, los elementos mecánicos fueron seleccionados de acuerdo con su disponibilidad local, logrando que el costo de fabricación sea competitivo comparado con fabricantes internacionales.

Palabras clave: Papanicolaou, Tinción, CNC, Interfaz.

ABSTRACT

The present project consists of the design of a staining machine for the processing of Papanicolaou biological samples for a clinical laboratory. The objective is to design and simulate a staining machine using local materials and components, ensuring low manufacturing costs in comparison to staining machines available in the international market. Furthermore, the staining process must be reliable, allowing programmable sequences through a user interface.

The designed machine was based on a CNC machine mechanism which consisted of a worktable with slots to place the recipients that contain the chemical solutions used in the staining process. The biological samples are held by a sample support that is transported by two electromagnets activated through the control system. Bipolar step motors were implemented for the motion of the machine through a power screw. Control of this motors were made with an Arduino MEGA microcontroller. Finally, a user interface was developed using a Raspberry Pi 4, which allowed to execute, create, and edit various staining sequences.

The designed machine complied with mechanical safety criteria to guarantee motion in a precise manner, as the safety factor in its critical section was 6. Moreover, the developed user interface allowed to customize staining sequences in an ordered and clear way. Finally, mechanical elements were selected considering local availability, which lowered manufacturing costs achieving competitive prices when compared to international manufacturers.

Keywords: *Papanicolaou test, Staining, CNC, Interface.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Proceso de tinción de la prueba de Papanicolaou.....	5
1.4.2 Máquina de tinción.....	9
1.4.3 Estado del arte.....	10
CAPÍTULO 2.....	13
2. Metodología.....	13
2.1 Selección de alternativas de solución.....	13
2.2 Requerimientos de diseño.....	14

2.3	Proceso de diseño.....	15
2.4	Diseño conceptual.....	16
2.5	Diseño mecánico.....	18
2.5.1	Mecanismos de transporte.....	18
2.5.2	Selección de componentes.....	21
2.6	Diseño electrónico.....	22
2.6.1	Requerimientos del sistema electrónico.....	22
2.6.2	Selección de componentes.....	23
2.6.3	Diagrama esquemático electrónico.....	23
2.7	Diseño de sistema de control.....	23
2.7.1	Requerimientos de control y comunicación.....	23
2.7.2	Herramientas de desarrollo del sistema de control.....	24
2.7.3	Diseño de la arquitectura de comunicación.....	25
2.7.4	Diseño del sistema de control.....	26
2.8	Diseño de interfaz de usuario.....	28
2.8.1	Selección de herramientas de interfaz gráfica.....	28
2.8.2	Diagrama de flujo.....	30
2.8.3	Funcionalidades de las ventanas de la interfaz gráfica.....	31
CAPÍTULO 3.....		33
3.	Análisis y resultados.....	33
3.1	Diseño 3D de la máquina de tinción.....	33
3.1.1	Análisis estático de simulaciones del mecanismo eje Y.....	35
3.1.2	Tornillo de potencia.....	36
3.1.3	Selección del motor.....	37
3.1.4	Selección de componentes adicionales.....	37

3.2	Diseño de la PCB	38
3.3	Interfaz Gráfica	39
3.4	Simulación de control y comunicación.....	42
3.5	Análisis de costos.....	47
CAPÍTULO 4.....		50
4.	Conclusiones y recomendaciones	50
4.1	Conclusiones.....	50
4.2	Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....		52
APÉNDICES.....		55

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OMS	Organización Mundial de la Salud
SOLCA	Sociedad de Lucha Contra el Cáncer del Ecuador
MSP	Ministerio de Salud Pública
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
NPM	<i>Node Package Manager</i>

SIMBOLOGÍA

μ	Coeficiente de fricción
d_m	Diámetro medio
F_T	Fuerza aplicada al tornillo
g	Gramo
GB	Giga Byte
GHz	Giga Hertz
kB	Kilo Byte
kg	Kilo Gramo
kW	Kilo Watt
L	Avance del tornillo de transporte
m	Metro
mA	Miliamperio
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascales
N	Factor de seguridad
N	Newton
P	Potencia
rad	Radianes
s	Segundos
T	Torque
v	Velocidad de avance
V	Volt
VAC	Voltaje de corriente alterna
VDC	Voltaje de corriente continua
π	Número Pi
σ_s	Esfuerzo de fluencia
σ_t	Esfuerzo cortante por torsión
ω	Velocidad angular

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Proceso de tinción estándar de Papanicolau.....	3
Figura 1.2	Muestra preparada por el proceso de tinción.....	6
Figura 1.3	Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso de tinción.....	7
Figura 1.4	Proceso de tinción de Gram	9
Figura 1.5	Máquina de tinción planar.....	11
Figura 1.6	Máquina de tinción lineal	11
Figura 1.7	Máquina de tinción rotacional.....	12
Figura 2.1	Metodología de diseño de la máquina de tinción.....	16
Figura 2.2	Diseño conceptual de la máquina de tinción	17
Figura 2.3	Esquema de interacción entre subsistemas de la máquina de tinción.....	18
Figura 2.4	Mecanismo de transporte del eje X	19
Figura 2.5	Mecanismo de transporte del eje Y	20
Figura 2.6	Mecanismo de transporte del eje Z.....	20
Figura 2.7	Mecanismo de transporte del actuador.....	21
Figura 2.8	Arquitectura de comunicación del sistema en ROS.....	26
Figura 2.9	Diagrama de flujo del sistema de control principal.....	27
Figura 2.10	Diagrama de flujo del sistema de control del microcontrolador.....	28
Figura 2.11	Diagrama de flujo de la aplicación	31
Figura 3.1	Diseño final de la máquina de tinción	34
Figura 3.2	Deflexión del eje Y al soportar el peso del eje Z en el punto crítico.....	35
Figura 3.3	Factor de seguridad del eje Y al soportar el peso del eje Z en el punto crítico ..	36
Figura 3.4	Motor NEMA 23 y NEMA 17 respectivamente	37
Figura 3.5	Soporte de varilla SHF8 y SK8 respectivamente	38
Figura 3.6	PCB propuesta	39
Figura 3.7	Ventana de selección de programa	40
Figura 3.8	Ventana de control manual.....	40
Figura 3.9	Ventana de edición de un programa.....	41
Figura 3.10	Ventana de creación de un programa.....	41
Figura 3.11	Ventana de calibración de un programa	42

Figura 3.12 Archivo de configuración del programa Papanicolau estándar.....	43
Figura 3.13 Ejecución del runroscore.sh	44
Figura 3.14 Ejecución del runmicrocontroler.sh.....	44
Figura 3.15 Ejecución del runmaincontrol.sh.....	45
Figura 3.16 Ejecución del proceso 0	45
Figura 3.17 Ejecución del proceso 1, 2 y 3.....	46
Figura 3.18 Ejecución del proceso 1, 2 y 3.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión resultante	14
Tabla 2.2 Masa de los componentes de la máquina.....	22
Tabla 2.3 Especificaciones de la Raspberry PI 4 modelo B.....	25
Tabla 2.4 Especificaciones del Arduino Mega 2560	25
Tabla 3.1 Especificaciones generales de la máquina de tinción.....	34
Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del tornillo de potencia	36
Tabla 3.3 Proceso de tinción estándar	43
Tabla 3.4 Costos de componentes electrónicos	47
Tabla 3.5 Costos de elementos mecánicos	48
Tabla 3.6 Costos de mecanizado de elementos mecánicos.....	49

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Plano esquemático de conexiones electrónicas
PLANO 2	Plano de estructura de movimientos de ejes x,y,z
PLANO 3	Plano de estructura del eje z y actuador
PLANO 4	Plano de estructura de máquina de tinción
PLANO 5	Base para placa electrónica
PLANO 6	Plano de separador de cubetas
PLANO 7	Plano de placa x
PLANO 8	Plano de placa y
PLANO 9	Plano de placa z

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cáncer de cuello uterino o cáncer cervical es el cuarto cáncer más común presente en mujeres [1]. Se produce cuando células cancerígenas se reproducen rápidamente en el tejido del cuello uterino, esta afección está relacionada directamente con el contagio del virus del papiloma humano (VPH) que a su vez se contrae por contacto sexual [2]. A pesar de que el contagio de VPH es muy común, muchas veces la respuesta del sistema inmunológico no es suficiente para vencer este virus lo que conduce a un alto riesgo de contraer cáncer.

En Ecuador, tan solo en el 2020, se registraron 1534 casos de cáncer de cuello uterino, con una mortalidad aproximada de 53% de los casos registrados para dicho año [3]. Estas cifras son alarmantes ya que esta afección es una de las 10 primeras causas de muerte en la mujer. El cáncer de cuello uterino puede ser diagnosticado tempranamente gracias a la prueba de Papanicolau, ya que esta permite conocer los cambios celulares que ha sufrido el tejido cervical. Además, pruebas de VPH y colposcopia pueden realizarse con el fin de complementar el examen citológico.

El examen de Papanicolau permite observar la normalidad o anormalidad de las células presentes en el cérvix para que después de ser procesadas y examinadas con el uso del microscopio y el análisis clínico, puedan determinar la presencia o no de cáncer. Se recomienda que este examen se realice cada año en mujeres que han iniciado su vida sexual [4].

Dada la alta tasa de incidencia que tiene el cáncer de cuello uterino, mucho más representativa en países en vías de desarrollo, la OMS ha lanzado la iniciativa de eliminación de cáncer cervical, la cual requiere medidas de prevención como la vacunación contra el VPH, la ejecución de pruebas de detección (examen citológico de Papanicolau) y tratamiento de mujeres con cáncer y pre-cáncer [5].

Esto supone un reto a gran escala para países como Ecuador donde el capital humano necesario y el acceso a equipo médico especializado para cumplir esas metas puede ser muy elevado. Este trabajo presenta una propuesta de solución de bajo costo y fácil implementación con el diseño de una máquina de tinción que permita la automatización de pruebas de Papanicolau con el fin de incrementar la capacidad de procesamiento de este tipo de exámenes en los laboratorios clínicos.

1.1 Descripción del problema

Un examen de Papanicolau típico consiste en tres etapas diferentes [6]:

Toma de muestras en centros de salud, donde se extraen células del cuello uterino con el uso de un espéculo, para luego ser extendidas en una lámina portaobjetos y ser enviadas al laboratorio.

Procesamiento de la muestra con el método de tinción. Este proceso tiene muchas variantes, consiste en un proceso secuencial donde se sumerge la gradilla con los portaobjetos múltiples veces y en diferentes reactivos químicos, véase la Figura 1.1 dónde se muestra el proceso estándar de tinción de Papanicolau.

Interpretación de los resultados. Este proceso requiere que un especialista en citología (citotecnólogos o citopatólogos) reciba las muestras ya procesadas para que, con la ayuda de un microscopio, se realice la validación de la muestra y detectar la presencia de células malignas. Por último, el especialista puede dar un resultado preliminar basado en su interpretación.

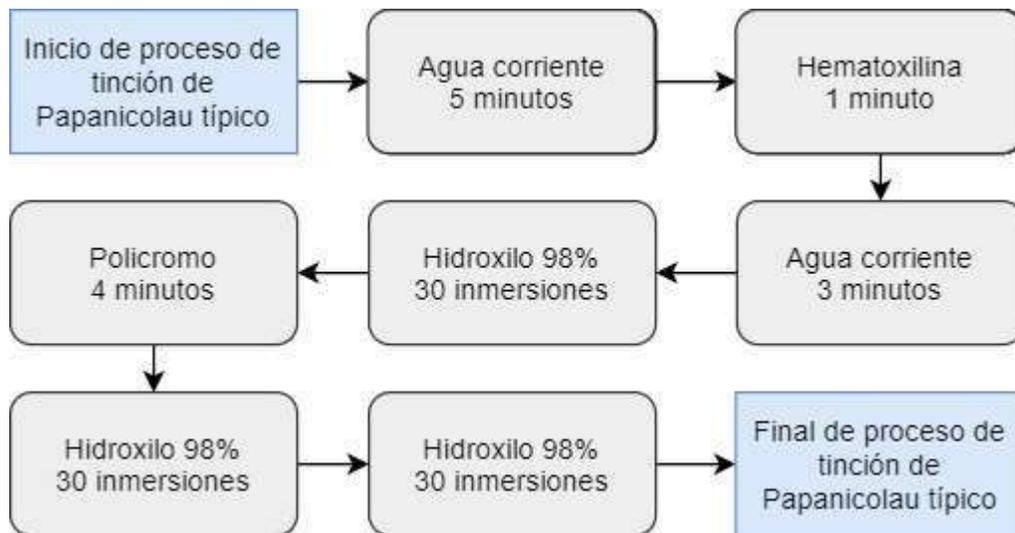


Figura 1.1 Proceso de tinción estándar de Papanicolau

Puntualmente, la etapa 2 del examen de Papanicolaou, es la que requiere de una cantidad mucho mayor de tiempo y de capital humano, al ser la tinción un proceso muy repetitivo y secuencial, lo que aumenta el tiempo de la obtención de un diagnóstico preliminar.

1.2 Justificación del problema

El cáncer cervical o de útero representa el segundo tipo de cáncer que más afecta a las mujeres en el Ecuador, con un total del 9.5% de los casos totales de cáncer en mujeres. Este tipo de cáncer es causado por el virus del papiloma humano (VPH), el cual es un virus de transmisión sexual [7].

Es conocido de acuerdo con lineamientos clínicos y estudios sociales que la detección temprana de este virus permite un tratamiento a tiempo. Esta es la razón por la cual el Plan Nacional de Salud Sexual y Salud Reproductiva 2017-2021 [8] tienen como uno de sus objetivos incrementar la cobertura de pruebas en un 80%. La cobertura se refiere al acceso a las pruebas de Papanicolaou que tienen las mujeres en términos de equipos, acceso a la información e infraestructura óptima.

En el contexto ecuatoriano se encontró que para el 2008 tan solo se contaba con una cobertura del 24.8% del método de tamizaje. Además, para el 2012 se encontró que el 57.1% de mujeres de 15 a 49 años no recibieron información de estas pruebas, y el 30.5% nunca se había realizado una citología vaginal adecuada. Adicionalmente, se conoce que, en términos de infraestructura y capacidad de procesamiento de muestras, la mayoría se concentra en los laboratorios de SOLCA cubriendo un 73% del total de muestras procesadas, con un tiempo promedio de entrega de resultados de 2 meses o menos [9].

Entre las problemáticas que ha identificado el Ministerio de Salud Pública para poder incrementar la cobertura de las pruebas de tamizaje vaginal se encuentran: falta de mecanismos de divulgación más eficaces, falta de personal para supervisar el correcto procesamiento de muestras, y cadena de transporte lenta.

Con el propósito de atacar una de las barreras que dificultan el aumento de la cobertura de estas pruebas, se propone diseñar una máquina de tinción para poder automatizar la preparación de las muestras de tal forma que se reduzcan tiempos de producción, aumentando la capacidad de procesamiento de muestras. Esto permitiría que más pruebas puedan ser preparadas para su posterior análisis, permitiéndole a los laboratorios atender a más mujeres a nivel nacional. El diseño busca implementar componentes estandarizados, además de herramientas de código abierto para poder reducir los costos de producción y que pueda ser más accesible que adquirir modelos extranjeros, sin sacrificar confiabilidad y precisión [10].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y simular una máquina de tinción que permita el procesamiento de muestras citológicas para pruebas de Papanicolaou en un laboratorio citológico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una interfaz de usuario que permita, de manera amigable e intuitiva, la creación, edición y ejecución de las secuencias de diversos procesos de tinción requeridos por el operador.
- Utilizar componentes estandarizados y/o producidos localmente para la construcción electromecánica de la máquina.
- Implementar normas sanitarias en el diseño mecatrónico de la máquina, asegurándose de que el procesamiento de las muestras sea inocuo y eficiente.
- Implementar criterios de seguridad en el diseño de la máquina de tal forma que se asegure la confiabilidad del proceso.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de tinción de la prueba de Papanicolaou

La prueba de Papanicolaou se puede dividir en 3 pasos generales: tamizaje vaginal, tinción y diagnóstico. En el tamizaje vaginal se obtiene la muestra a partir del cuello uterino de la paciente. Esta muestra se transporta hacia el laboratorio de citología para que pueda ser teñido y analizado posteriormente.

El proceso de tinción, por otro lado, es un proceso más elaborado debido a que se debe pasar la muestra cuidadosamente por varios reactivos para poder cumplir los siguientes objetivos [11] en un proceso denominado Tinción de Gram:

- Fijación.
- Tinción del núcleo.
- Tinción de citoplasma.
- Aclaramiento.

La fijación se cumple realizando una inmersión de la muestra en alcohol de forma gradual (concentraciones decrecientes de 80, 70, 50%) o abrupta (concentración alta de alcohol seguido de agua destilada). Adicionalmente, se debe tener en cuenta que

el proceso de enjuague de la muestra debe verificar que el pH del agua se encuentre entre 6.5 y 7.

La tinción del núcleo con Hematoxilina implementa este colorante natural que tiene afinidad por la cromatina. Para lograr teñir el núcleo se tienen dos enfoques: progresivo y regresivo. El progresivo tiñe el núcleo con la intensidad de color deseada mientras que el regresivo tiñe dos veces con una Hematoxilina no acidificada, para que posteriormente se remueva el exceso de tinción con ácido clorhídrico diluido.

La tinción del citoplasma utiliza el colorante monocromático Orange G que colorea la queratina de un naranja brillante mientras penetra fuertemente el citoplasma. Esto se debe a que la queratina no se encuentra en condiciones normales en el epitelio cervical vaginal. Finalmente, el aclaramiento utiliza como solución aclaradora lo cual produce la transparencia celular.

En la Figura 1.2 se observa la muestra al finalizar el proceso de tinción. Se destacan los diferentes correspondientes a los reactivos del proceso que tiñen las células del tamizaje realizado. Se considera una célula Gram negativa si tiene una coloración rojiza, mientras que una célula Gram positiva tiene una coloración azulada [12].



Figura 1.2 Muestra preparada por el proceso de tinción [13]

Para poder realizar este proceso se requieren, además de los reactivos mencionados, los siguientes instrumentos de laboratorio mostrados en la Figura 1.3:

- **Laminilla portaobjetos:** Elemento que lleva la muestra citológica.
- **Gradilla:** Elemento utilizado como soporte base para las laminillas portaobjetos que llevan la muestra citológica.
- **Cubeta:** Recipiente que contiene los reactivos químicos del proceso.



Figura 1.3 Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso de tinción [14]

De acuerdo con [6], el procedimiento detallado del proceso de tinción es el siguiente:

1. Sumergir la laminilla en una cubeta con alcohol etílico al 96%, haciendo 10 inmersiones.
2. Pasar la laminilla por agua corriente hasta que el agua se aclare, para posteriormente escurirla.
3. Sumergir las laminillas en la caja de tinción de agua destilada, haciendo 10 inmersiones.
4. Sumergir en la caja de tinción con Hematoxilina de 2 a 5 minutos.
5. Pasar las laminillas por agua corriente hasta que el agua se aclare. Luego escurrir.
6. Sumergir la canastilla en la cubeta con ácido clorhídrico, haciendo de 3 a 5 inmersiones.
7. Sumergir las laminillas en la cubeta con agua destilada, haciendo 10 inmersiones.

8. Sumergir la canastilla en la cubeta con alcohol etílico al 96%, haciendo 10 inmersiones. Repetir 3 veces.
9. Sumergir la laminilla en la cubeta con colorante Orange G6, durante 1.5 a 6 minutos.
10. Sumergir la laminilla en la cubeta con alcohol etílico al 96%, haciendo 10 inmersiones. Repetir 3 veces.
11. Sumergir la laminilla en la cubeta con colorante Eosina A 50, durante 1.5 a 6 minutos y dejar escurrir. El tiempo dependerá de la calidad del colorante.
12. Sumergir la laminilla en la cubeta con alcohol etílico al 96%, haciendo 10 inmersiones. Luego, sumergirla en la cubeta con alcohol etílico absoluto, haciendo 10 inmersiones, 3 veces.
13. Sumergir la laminilla en la cubeta con xilol, durante 10 minutos. Repetir el procedimiento 4 veces, y luego dejar escurrir.

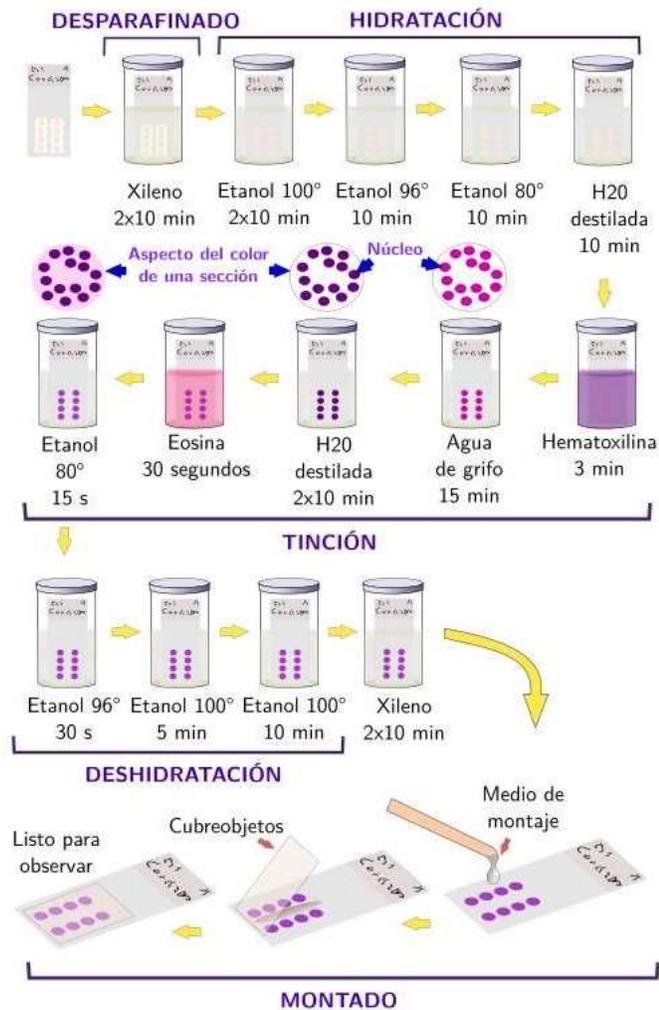


Figura 1.4 Proceso de tinción de Gram [15]

1.4.2 Máquina de tinción

Para automatizar el proceso de tinción, existen en el mercado máquinas que permiten realizar las tareas repetitivas que forman parte del procedimiento estándar de tinción de Gram. Estas máquinas reciben el nombre de “Máquinas de tinción”.

Entre las generalidades de este tipo de máquinas se tiene que:

- Cuentan con una mesa de trabajo en donde se ubican las cubetas que contienen las soluciones del proceso (alcohol, agua destilada, colorantes, etc.).

- Un mecanismo que permite el movimiento de las laminillas portaobjetos hacia las diferentes cubetas.
- Un sujetador de laminillas (gradilla) que por lo general es removible.
- Una interfaz visual que permite cargar las secuencias de tinción deseadas.
- Estaciones de carga y descarga de laminillas o gradillas.
- La interfaz de usuario suele ser sencilla, implementando una pantalla LCD básica en conjunto con botones manuales que brindan funcionalidades definidas.

Sin embargo, existen ligeras diferencias entre las máquinas que se encuentran en el mercado, en donde destaca más el mecanismo que implementa la máquina para movilizar la gradilla en las distintas cubetas.

Se pueden observar en el mercado más comúnmente tres tipos de máquinas de tinción: planares, lineales y rotacionales. Las máquinas planares (Figura 5) y lineales (Figura 6) utilizan un mecanismo de movimiento lineal de 2 y 3 grados de libertad específicamente. Por otro lado, la máquina de tinción rotacional (Figura 7) traslada las laminillas radialmente respecto a las cubetas.

Adicionalmente, se pueden observar que las máquinas también varían ligeramente en las funcionalidades que brindan. Existen modelos que permiten cargar automáticamente las laminillas utilizando actuadores especiales para este propósito, mientras que modelos más sencillos dejan esta parte del proceso de forma manual. También existen modelos que permiten realizar varias secuencias de forma simultánea, pudiendo por ejemplo realizar el proceso de tinción de dos gradillas de manera asíncrona.

1.4.3 Estado del arte

Actualmente en el mercado existen diversos tipos de máquinas de tinción que cumplen con la misma funcionalidad, pero implementan mecanismos ligeramente distintos. Entre las máquinas de tinción más representativas tenemos tres tipos:

- **Máquina de tinción planar:** Su mecanismo de transporte de la gradilla tiene 3 grados de libertad, pudiéndose mover libremente en un espacio de trabajo en el plano XY. Por lo general, este tipo de máquinas tienen una mayor cantidad de cubetas al aprovechar el espacio de la mesa de trabajo.



Figura 1.5 Máquina de tinción planar [16]

- **Máquina de tinción lineal:** Implementa un mecanismo de transporte lineal. Estas máquinas disponen de únicamente dos grados de libertad (movimiento lineal en X y Z). Su mecanismo de transporte es, por lo tanto, más sencillo de fabricar.



Figura 1.6 Máquina de tinción lineal [16]

- **Máquina de tinción rotacional:** Dispone de las cubetas en una mesa de trabajo circular, y el mecanismo de transporte es rotacional. En este caso en particular, la gradilla se mueve circularmente respecto a un eje para poder llegar a las cubetas. Este mecanismo también tiene dos grados de libertad.



Figura 1.7 Máquina de tinción rotacional [17]

Cabe destacar que estas máquinas no se fabrican localmente en el Ecuador. Sin embargo, existen proveedores locales que importan dichos equipos siendo *LeicaBioSystems* una de las marcas que más se importan localmente. Esta marca ofrece principalmente máquinas de tinción de tipo planar, variando la complejidad de sus funcionalidades dependiendo del modelo a disposición.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este capítulo presenta la metodología usada para el desarrollo de la máquina de tinción y abarca el estudio de las alternativas de solución, diseño conceptual y el proceso de diseño de la máquina en el ámbito mecánico, electrónico, de control y de interfaz de usuario.

2.1 Selección de alternativas de solución

Para seleccionar el diseño que mejor se ajuste a los requerimientos del usuario final, se consideraron las variantes existentes de máquinas de tinción comerciales:

- Máquina de tinción rotacional: Es un robot de dos grados de libertad que implementa un mecanismo de rotación como movimiento principal para poder acceder a las cubetas dispuestas en una plataforma circular.
- Máquina de tinción lineal: Robot de dos grados de libertad en donde las cubetas están dispuestas en una plataforma lineal, por lo que el movimiento principal requiere de un mecanismo lineal.
- Máquina de tinción tipo planar: Robot de tres grados de libertad. Las cubetas se disponen en forma de cuadrícula que permite un movimiento en 2D.
- Estación de tinción de portaobjetos: Robot de dos grados de libertad. Se caracteriza porque no requiere de una gradilla externa para transportar los portaobjetos, sino que cuenta con un actuador que las sujeta y sumerge directamente a las cubetas.

Los criterios para poder seleccionar la máquina de tinción más adecuada son los siguientes:

- Tamaño: Las dimensiones externas de la máquina
- Facilidad de diseño: Diseño y selección de componentes de fácil montaje.
- Costos de fabricación: Costo de fabricación totales de la máquina.

- Capacidad de cubetas: Número de cubetas por las cuales pueda ser sumergida un conjunto de muestras.
- Estética: Diseño estético del agrado visual del cliente.
- Mantenibilidad: Capacidad de realizar los mantenimientos de forma fácil y rápida.

De acuerdo con los criterios previamente descritos, se procedió a realizar una matriz de decisión donde se concluye que la mejor opción fue la máquina de tinción de tipo planar, véase la Figura 1.5. Entre sus características más relevantes se encontraron su tamaño compacto y la alta capacidad de cubetas que permitirían personalizar de mayor manera las secuencias deseadas. El detalle de la selección se puede visualizar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Matriz de decisión resultante

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	
Descripción	Tamaño	Facilidad de diseño	Costos de fabricación	Capacidad de cubetas	Estética	Mantenibilidad	Total
Peso	5	4.5	4	4	3.5	3	24
Porcentaje equivalente	20.8%	18.8%	16.7%	16.7%	14.6%	12.5%	100%
Opciones	Calificaciones						
Máquina de tinción rotacional	6	7	5	3	8	2	53%
Máquina de tinción lineal	3	8	8	5	9	10	69%
Máquina de tinción planar	8	7	8	10	7	10	83%
Estación de tinción de portaobjetos	10	4	9	0	5	7	59%

2.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño generales se definieron basándose en las necesidades del cliente, donde se pudieron establecer los siguientes puntos:

- Tamaño: Las dimensiones máximas de la máquina deben ser menores a las del espacio físico designado por el cliente (60 cm de profundidad x 100 cm de ancho x 50 cm de alto).
- Capacidad de cubetas: Se requiere que la máquina tenga una capacidad de 12 cubetas para el procesamiento de las muestras.

- Facilidad de diseño: La fabricación y diseño se la debe realizar con materiales normalizados y componentes estándares que sean de uso común en el mercado ecuatoriano.
- Estética: Se busca que el diseño sea del agrado visual del cliente, utilizando colores congruentes con los institucionales del laboratorio.
- Mantenibilidad: El sistema debe considerar mantenimientos diarios, por lo cual deben ejecutarse por medio de procedimientos sencillos de realizar.
- Costos de fabricación: La máquina no debe exceder un valor de \$2000.00 USD en su totalidad (Fase de diseño mecánico, construcción mecánica y electrónica y diseño de interfaz de usuario).

2.3 Proceso de diseño

El proceso de diseño que se implementó tiene 5 tópicos principales de desarrollo, los cuales son:

- Diseño conceptual.
- Diseño mecánico.
- Diseño electrónico.
- Diseño de interfaz de usuario.
- Validación de sistema mecatrónico

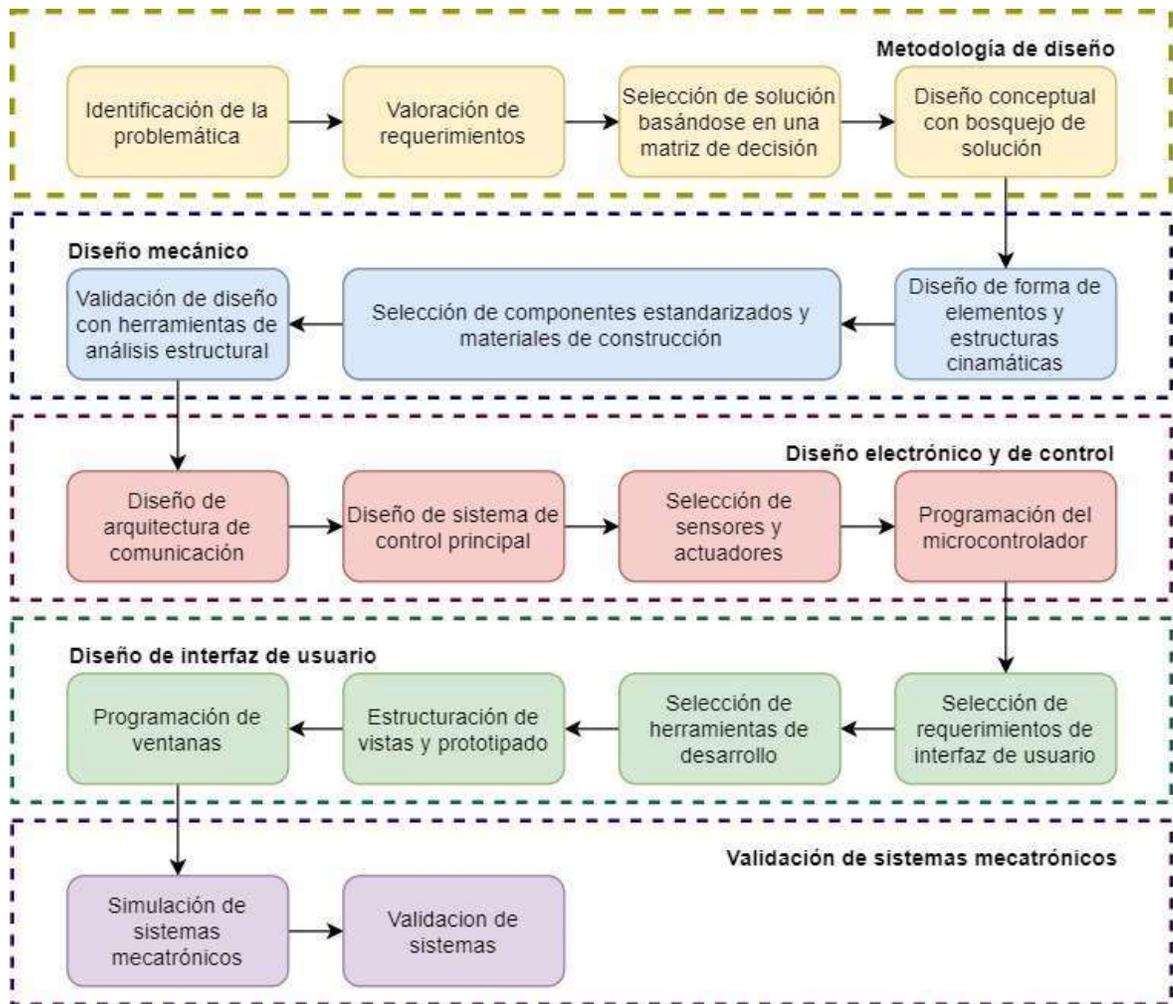


Figura 2.1 Metodología de diseño de la máquina de tinción

2.4 Diseño conceptual

El diseño conceptual permitió definir las características más representativas que la máquina de tinción debería de tener. Bajo estos parámetros se logró desarrollar una máquina de 3 grados de libertad, que tiene una disposición de 4 x 3 espacios para el almacenamiento de 11 cubetas de vidrio y un envase de acero inoxidable, como se puede observar en la Figura 2.2.

Las cubetas de vidrio sirven para contener los reactivos líquidos para el proceso de tinción, y el envase de acero inoxidable, permite depositar la gradilla con los portaobjetos de vidrio.

Un efector final automático consiste en un par de electroimanes que sujetan la gradilla metálica para ser trasladada y sumergida en los diferentes reactivos. El efector final, es trasladado gracias al movimiento que produce la conexión mecánica entre motores de paso y tornillos de transporte. A la vez, un circuito de control con un microcontrolador sería el encargado de mandar las señales a los motores para que realicen un movimiento en específico. Por último, una aplicación con interfaz de usuario permitiría la creación, edición y ejecución de procesos de tinción.

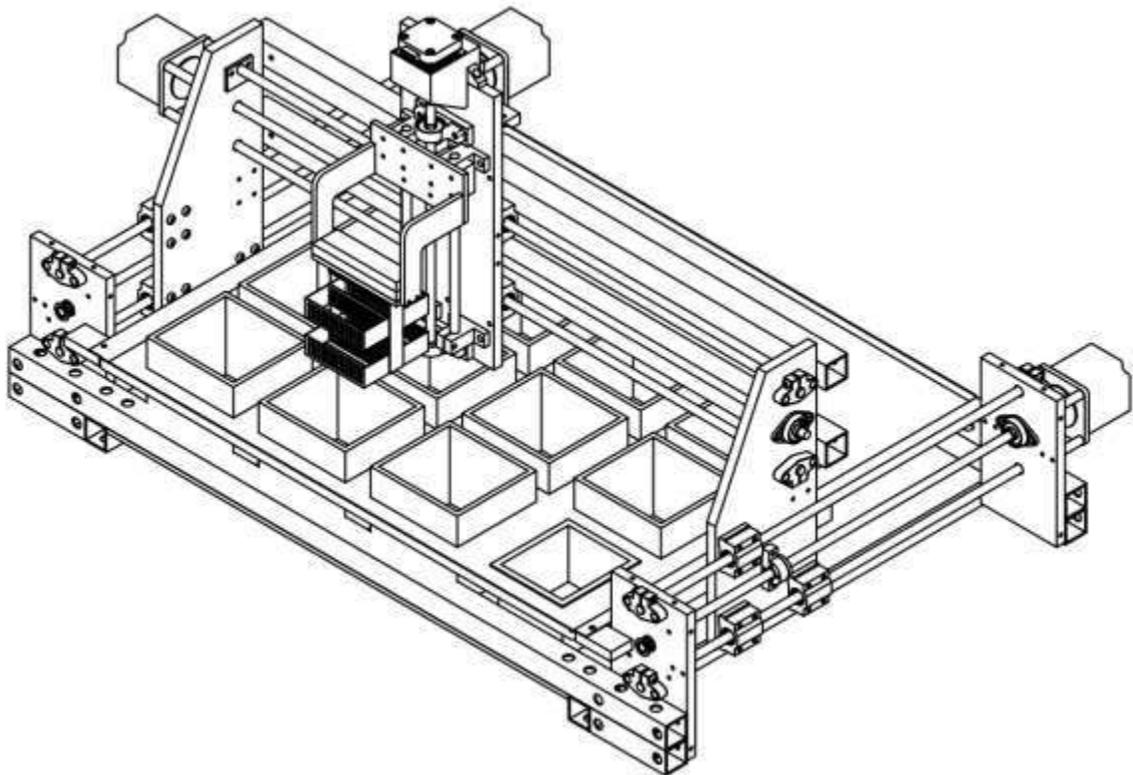


Figura 2.2 Diseño conceptual de la máquina de tinción

Adicionalmente, en la parte electrónica y de control se requiere una interfaz gráfica que permite indicar las secuencias que la máquina va a realizar, indicando las posiciones a dónde se debe transportar la gradilla. Esta interfaz lograría comunicarse con el microcontrolador de tal forma que envíe indicaciones y reciba mensajes de confirmación por parte de este. El microcontrolador debe ser capaz de traducir el

mensaje de la interfaz en comandos de control para los motores y el actuador. El esquema de este proceso se puede observar en la Figura 2.3.

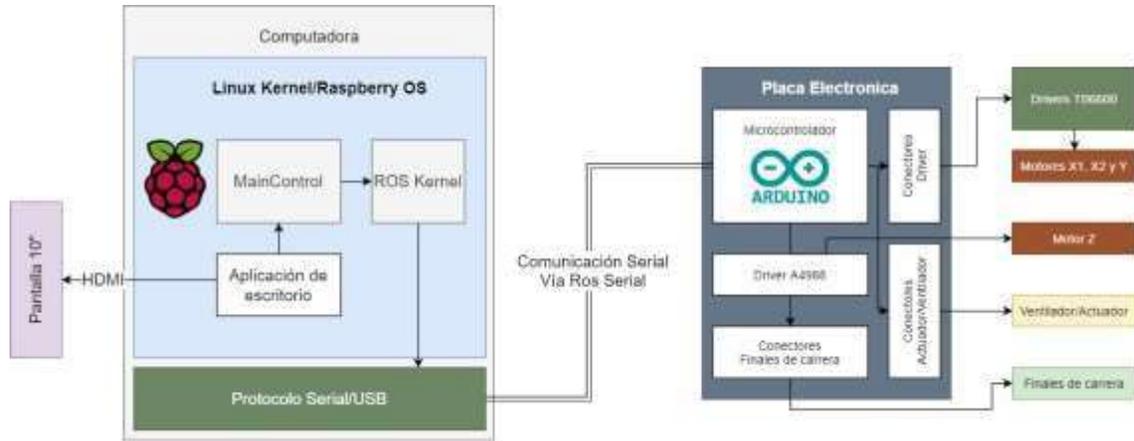


Figura 2.3 Esquema de interacción entre subsistemas de la máquina de tinción

2.5 Diseño mecánico

En esta sección se detalla el diseño y selección de componentes y materiales que corresponderán a la bancada de la máquina, sus mecanismos de movimiento planar y el actuador final, tomando en consideración los requerimientos del cliente.

2.5.1 Mecanismos de transporte

El mecanismo por utilizar es un tornillo de transporte. Este mecanismo es ampliamente utilizado en el diseño de máquinas CNC y, por consiguiente, existen proveedores locales que lo comercializan. Adicionalmente, se decide utilizar este elemento por encima de un mecanismo de transporte por bandas debido a que su montaje es más sencillo. Adicionalmente, el elemento sufre un desgaste menor que un sistema de bandas, por lo que su mantenimiento es menos frecuente.

En la investigación realizada respecto a los proveedores de estos tornillos, se encontró que el más común localmente es el tornillo de rosca ACME de 8mm de diámetro, de acero inoxidable AISI 316. Este elemento viene en longitudes desde 60cm hasta 1 metro de longitud.

De acuerdo con el diseño conceptual, se puede dividir la máquina en tres mecanismos de transporte, en función al movimiento que cada uno realiza respecto al sistema de coordenadas XYZ.

Por tal motivo, se procedió a hacer un análisis del factor de seguridad del tornillo de transporte en este eje (Figura 2.4). De cumplir con un factor de seguridad elevado, se asegura que todos los demás mecanismos tendrán un factor de seguridad mayor.

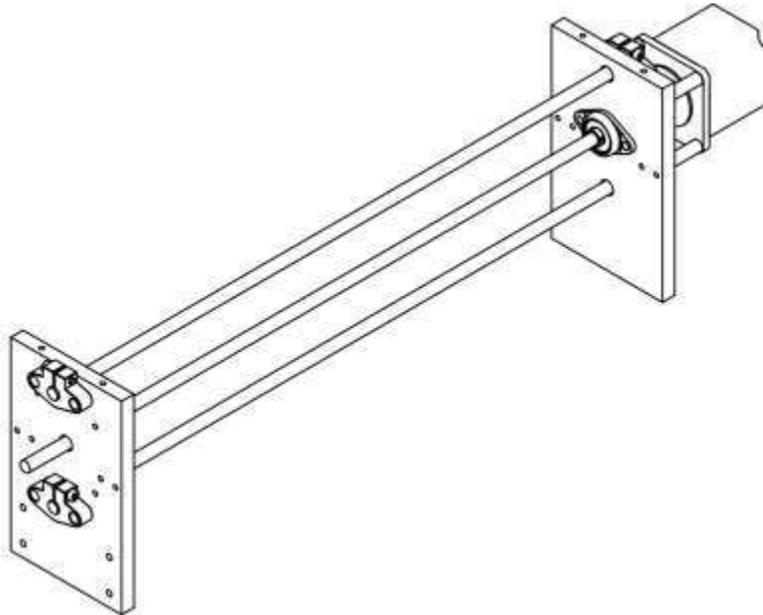


Figura 2.4 Mecanismo de transporte del eje X

Asimismo, se desarrolla el diseño de forma del resto de los mecanismos de transporte para los ejes Y y Z. En el caso del eje Y (Figura 2.5), se procedió a diseñar soportes laterales para conectar el eje X con este mecanismo. Este soporte es de acero inoxidable AISI 316, así como los ejes guías. Adicionalmente, se tienen tubos separadores de aluminio AISI 6061, que se obtienen localmente.

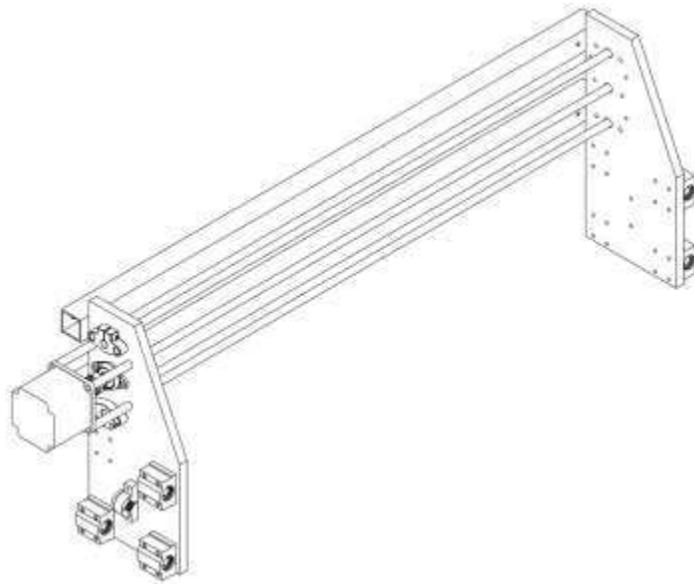


Figura 2.5 Mecanismo de transporte del eje Y

Para el eje Z (Figura 2.6) se tienen los mismos componentes que los demás ejes, con la diferencia que se dispone de un soporte distinto para el motor ya que, debido a la baja carga que manejaría su mecanismo de transporte (Figura 2.7), no se requiere de la misma potencia que el resto de los ejes.

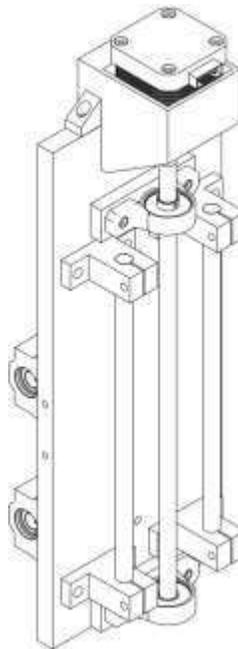


Figura 2.6 Mecanismo de transporte del eje Z

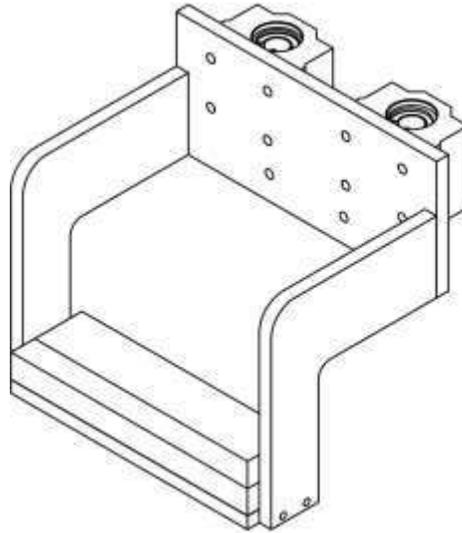


Figura 2.7 Mecanismo de transporte del actuador

2.5.2 Selección de componentes

Considerando la disponibilidad de partes y repuestos a nivel local, se procedió a seleccionar componentes mecánicos que permitan tener una fácil accesibilidad para su implementación. Estos componentes son aquellos que son estándares para tipos de máquinas frecuentes en el mercado local como máquinas CNC o impresoras 3D. En primer lugar, se detalla la selección de los motores en base a la potencia requerida por eje.

2.5.2.1 Selección de motores

Para seleccionar los motores, se toma en cuenta en primer lugar la carga mecánica que deben mover. De esta manera, se puede determinar qué eje manejaría una carga mayor y, por consiguiente, se podría usar el mismo motor para el resto de los ejes.

De acuerdo con el diseño conceptual, se determina que los mecanismos de transporte para el movimiento en X e Y son los más representativos del sistema, debido a que manejan la mayoría de la carga de la máquina. Sin embargo, el eje X divide la carga para dos motores. Esto se puede evidenciar en la Tabla 2.2, que

muestra las masas de cada mecanismo de forma individual, y la carga total que manejará, la cual es la suma de todos los elementos involucrados (i.e. el mecanismo del eje Z debe mover la carga del actuador, mientras que el eje Y debe manejar la carga del actuador más la carga del mecanismo del eje Z, y así sucesivamente).

Tabla 2.2 Masa de los componentes de la máquina

Elemento	Masa [g]	Masa total [g]
Mecanismo del eje X	8999.148	21323.72
Mecanismo del eje Y	5348.63	12324.57
Mecanismo del eje Z	6644.797	7275.94
Actuador	631.772	631.772

De acuerdo con la tabla, se determina que el mecanismo de transporte que trasladará una masa mayor será el del eje Y, pues en el diseño conceptual se tienen dos motores para el mecanismo del eje X, lo cual distribuye su carga para 2, mientras que el mecanismo del eje Y consta de únicamente un motor, quien será el responsable de transportar toda la masa expuesta en la Tabla 2.2.

2.6 Diseño electrónico

El diseño electrónico en la máquina de tinción engloba los componentes electrónicos y electromecánicos que permiten la alimentación, el control y la comunicación efectiva de sus partes. Adicionalmente, se tiene como finalidad diseñar una *Printed Circuit Board* (PCB) que permita integrar todos los componentes en una placa que facilite su montaje y estética.

2.6.1 Requerimientos del sistema electrónico

- Se requiere integrar 3 motores NEMA 23 y un motor NEMA 17 en base a las especificaciones mecánicas.
- La máquina debe disponer de 6 sensores finales de carrera mecánicos, esto es, dos por cada eje.

- El microcontrolador y microprocesador deben ser de bajo costo y fácil adquisición.
- El actuador final implementa dos electroimanes para sujetar la gradilla de muestras.
- Se requiere de una pantalla táctil para poder integrar la interfaz humano - máquina.

2.6.2 Selección de componentes

En base a la disponibilidad local de los componentes, se seleccionaron componentes entre los cuales destacan motores NEMA 17 y NEMA 23 con su controlador AV4988 y TB6600 respectivamente. Asimismo, se tienen 6 sensores finales de carrera mecánicos para calibrar la máquina, 2 electroimanes y la placa Arduino MEGA.

2.6.3 Diagrama esquemático electrónico

Habiendo definido los componentes requeridos por la máquina, se decide desarrollar el diagrama esquemático para poder posteriormente diseñar la PCB. Se utiliza el software Proteus para este fin, debido a que permite realizar diagramas esquemáticos, simulaciones del circuito integrando microcontroladores, y adicionalmente consta de una librería de componentes que permiten integrar modelos CAD 3D en el diseño. Eventualmente, se puede utilizar el diagrama esquemático de tal forma que el software genere la placa PCB.

2.7 Diseño de sistema de control

El sistema de control de la máquina de tinción es el conjunto de procedimientos por el cual la máquina puede ejecutar las acciones de movimiento correctamente y lograr la ejecución de un programa de forma correcta. Se desarrollaron dos sistemas de control para la máquina, el primero se ejecuta en la computadora y corresponde al control y envío de señales de comando, para que el segundo sistema de control, alojado en el microcontrolador, pueda interpretar estos mensajes y transformarlo en movimientos de los motores y el accionar del actuador.

2.7.1 Requerimientos de control y comunicación

- El sistema de control debe ser de *hard real time* es decir que las señales de control no pueden ser ignoradas.

- La comunicación debe ser veloz y bidireccional.
- Ambos sistemas de control deben tener la posibilidad de comunicarse con la interfaz gráfica.
- El sistema de control de motores puede ser sin realimentación.

2.7.2 Herramientas de desarrollo del sistema de control

2.7.2.1 Programa de sistema de control

ROS es un *framework* de desarrollo de aplicaciones de robótica, muy utilizado gracias a que es gratuito y a que tiene mucho soporte de parte de sus usuarios en la creación de librerías y recursos de carácter gratuito. En el presente proyecto permitió establecer la comunicación bilateral entre el sistema de control que se ejecutaba en la computadora con el sistema que se ejecutaba en el microcontrolador.

2.7.2.2 Selección de computadora a bordo

La Raspberry Pi 4 es el modelo de ordenador que se seleccionó para la máquina, puesto que tiene un tamaño y precio muy reducido y que además tiene buenas prestaciones, véase la Tabla 2.3.

El sistema operativo de la Raspberry Pi 4 es el *Raspberry Pi OS*, éste es un tipo de distribución de GNU Linux basado en el sistema de Debian. Sobre este sistema operativo se ejecutarán tanto el aplicativo como el sistema de control principal.

2.7.2.3 Arduino MEGA

El Arduino MEGA ha sido el microcontrolador seleccionado para ejecutar el sistema de control a más bajo nivel, es decir aquel que tendrá relación directa con los drivers, motores y actuadores. Este modelo se seleccionó gracias a su gran capacidad de procesamiento, facilidad de programación y sobre todo porque tiene el soporte de ROS. Sus especificaciones están enunciadas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.3 Especificaciones de la Raspberry PI 4 modelo B [18]

RASPBERRY PI 4 MODEL B	Especificación
Tipo de SOC	Broadcom BCM2711
Reloj de CPU	4 x Arm Cortex-A72 1.5 GHz
RAM	4 GB
GPU	Broadcom VideoCore VI
Puertos USB	2xUSB3.0 + 2xUSB2.0
Ethernet	Gigabit Ethernet
Wifi	Wifi 802.11ac Dual Band
Bluetooth	5.0 BLE
Video Output	Micro-HDMI/3.5mm Comp/DSI
Audio Output	I2S/HDMI/3.5mm Composite
Camera Input	15 pin CSI
GPIO Pins	40
Memory	MicroSD

Tabla 2.4 Especificaciones del Arduino Mega 2560 [19]

ARDUINO MEGA 2560	Especificaciones
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
Pines digitales	54 (15 PWM)
Pines análogos	16
Corriente por pin DC I/O	20mA
Corriente por pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de reloj	16 MHz

2.7.3 Diseño de la arquitectura de comunicación

La estructura de comunicación, véase Figura 2.8, que se estableció se basó en el tipo de comunicación que implementa ROS, es decir tópicos, suscriptor y publicador mediante el protocolo de comunicación serial. Se crearon 3 nodos principales:

- MainControlNode: Se ejecuta en el script de control.
- MicrocontrollerNode: Se ejecuta en el microcontrolador.
- InterfaceNode: Se ejecuta en la aplicación.

El MainControlNode publica las señales de control mediante un mensaje de tipo command.msg, el cual el nodo MicrocontrollerNode está suscrito, este lo recibe, ejecuta la acción y publica una respuesta con un mensaje de tipo confirmation.msg, el cual el MainControlNode está suscrito. Además, se creó un nodo llamado InterfaceNode que publica mensajes de tipo command.msg para ejecutar el proceso de control manual, directamente desde la aplicación.

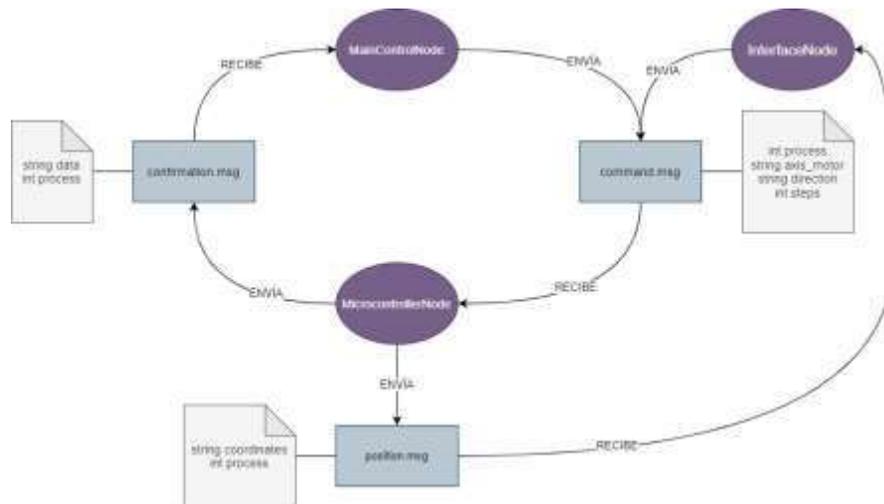


Figura 2.8 Arquitectura de comunicación del sistema en ROS

2.7.4 Diseño del sistema de control

El diagrama de flujo del sistema de control principal, es decir, el que se ejecuta desde el ordenador se muestra en la Figura 2.9. El sistema una vez inicia el programa, debe crear la lista de comandos que tiene que enviar para realizar un proceso de tinción por completo, una vez creado se inicia el proceso 0 y se envía el comando acorde a dicho proceso, una vez el sistema de control en el microcontrolador haya ejecutado la acción, se verifica si el proceso ejecutado fue el último, de ser así termina la ejecución del programa, caso contrario incrementa el número del proceso en una unidad y se envía el siguiente comando.

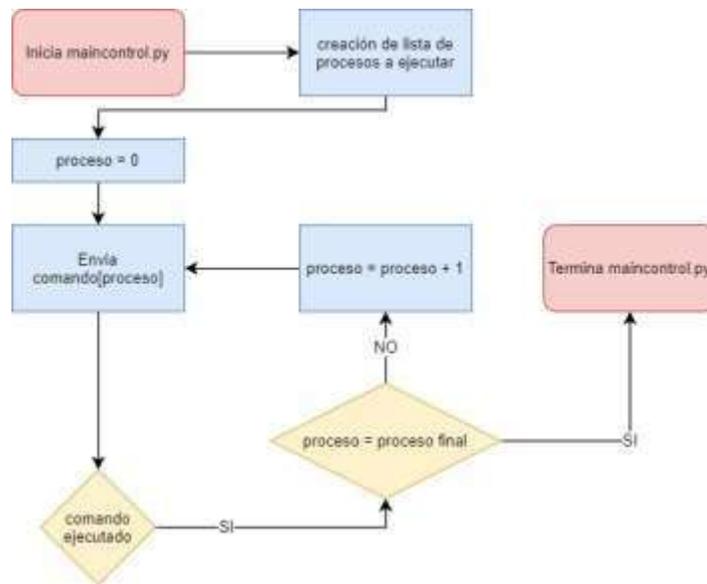


Figura 2.9 Diagrama de flujo del sistema de control principal

El sistema de control del microcontrolador, véase la Figura 2.10, parte de la recepción de los comandos de control que envíe el sistema principal, aquí se verifica si se desea hacer la calibración, donde se mueven en orden los motores Z, X e Y de tal forma que puedan llevar el actuador al punto 0 de la máquina, es decir la esquina frontal superior derecha. En caso de que sea un movimiento en los ejes X, Y y Z el control envía la señal a los drivers para que accionen el motor del eje correspondiente en un paso discreto, para posteriormente enviar el mensaje de confirmación al control principal.

Cabe recalcar que el control de los motores de paso es en lazo abierto, pues se dimensionaron con una holgura que permite no añadir realimentación al sistema. En caso de querer enviar una señal de tiempo, se envían las señales de bloqueo de los motores, y posteriormente se envía su confirmación.

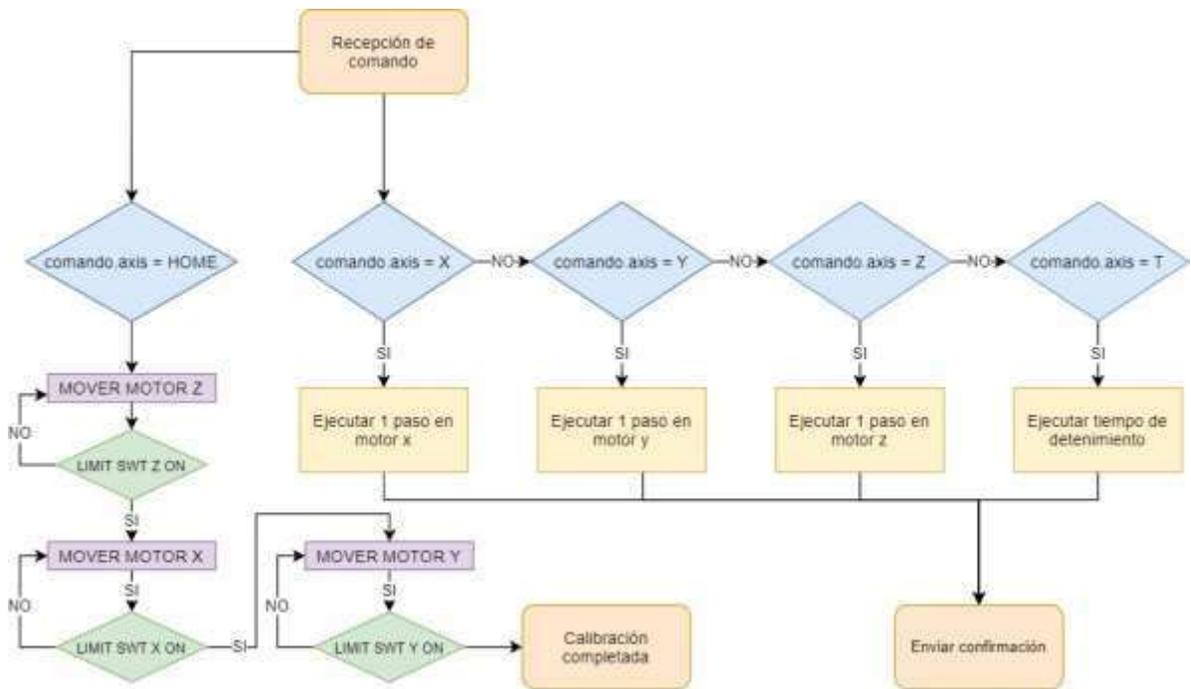


Figura 2.10 Diagrama de flujo del sistema de control del microcontrolador

2.8 Diseño de interfaz de usuario

El diseño de la interfaz de usuario requirió varias revisiones por parte del cliente final de tal forma que se logre una interfaz amigable, intuitiva y fácil de usar. La interfaz de usuario se desarrolló como la herramienta que permita la ejecución, creación y edición de procesos de tinción programados por el usuario operador.

2.8.1 Selección de herramientas de interfaz gráfica

2.8.1.1 Pantalla táctil para Interfaz Humano – Máquina

El interfaz humano – máquina se manejará con el uso de una pantalla que se conectará a la computadora a bordo de la máquina. Con el fin de facilitar la interacción con la aplicación, la pantalla seleccionada deberá tener un panel táctil, sin embargo, la funcionalidad no se verá alterada por este parámetro, pues conectando un ratón y teclado a la computadora, esta puede funcionar de la misma forma.

2.8.1.2 Lenguaje de programación Node.js

Node.js es un entorno de ejecución multiplataforma, que permite la ejecución de código de JavaScript del lado del escritorio, tal como lo hace en un navegador web. En el desarrollo de la interfaz cumple un rol muy importante, pues la aplicación que está ejecutándose está usando código de JavaScript para definir la lógica del funcionamiento, además que permite la implementación de otras herramientas como HTML y CSS.

Con el uso de su sistema de gestión de paquetes NPM, se pudieron instalar dependencias de desarrollo, para la adición de funcionalidades más avanzadas creadas por otros usuarios como Electrón, Bootstrap, JQuery, Popper.js, Rosnode.js, etc.

2.8.1.3 Estructuración y estilos de la interfaz

El lenguaje de marcas de hipertexto o HTML permitió definir la estructura de todos los componentes que en la ventana de la interfaz eran presentados. Las hojas de estilo en cascada o CSS fueron utilizadas para estilizar y dar un diseño más amigable a la interfaz, esto permitió definir patrones de diseño como forma de botones, colores, etc.

2.8.1.4 Marco de trabajo de Electron.js

Electrón es un *framework* de desarrollo para sistemas operativos que permite la creación de aplicaciones de escritorio multiplataforma basadas en Node.js. Se optó por la implementación de Electron ya que permite la creación de aplicaciones usando herramientas de desarrollo web muy conocidas como HTML y CSS, además, tiene una gran comunidad que la respalda y que ha creado una gran cantidad de paquetes o librerías de código que permiten el rápido desarrollo de aplicaciones.

2.8.1.5 Biblioteca de estilos Bootstrap

Bootstrap es un *framework* de CSS y JavaScript que permite la creación de componentes de interfaz de usuario de una forma rápida y sencilla, puesto que estos ya poseen una estructura y estilo predefinidos; estos componentes van desde: botones, alertas, entradas de texto y números, etc. Esta implementación permitió la

disminución en el tiempo de desarrollo y costes de diseño gráfico para interfaces de usuario.

2.8.1.6 Librería Rosnode.js

Rosnode.js es una librería de desarrollo que permite la integración del *kernel* de ROS en *scripts* basados en el lenguaje de programación Node.js. En este proyecto permitió la ejecución de peticiones recibiendo información de la ubicación del actuador de tal forma que se pueda presentar esta información en la interfaz gráfica.

2.8.2 Diagrama de flujo

El diagrama mostrado en la Figura 2.11 permitió definir la estructura de las ventanas en la aplicación y el flujo e interacción que tenían entre ellas.

Las ventanas fueron desarrolladas en base a los requerimientos del cliente y siguiendo patrones de diseño de tal forma que la aplicación sea intuitiva y de fácil uso para operadores inexpertos. Dentro de las vistas más representativas se encuentran:

- Ventana de bienvenida
- Ventana principal
- Ventana de selección de un programa
- Ventana de edición y creación de un programa
- Ventana de calibración
- Ventana de ejecución de un programa
- Ventana de edición de un programa
- Ventana de creación de un programa

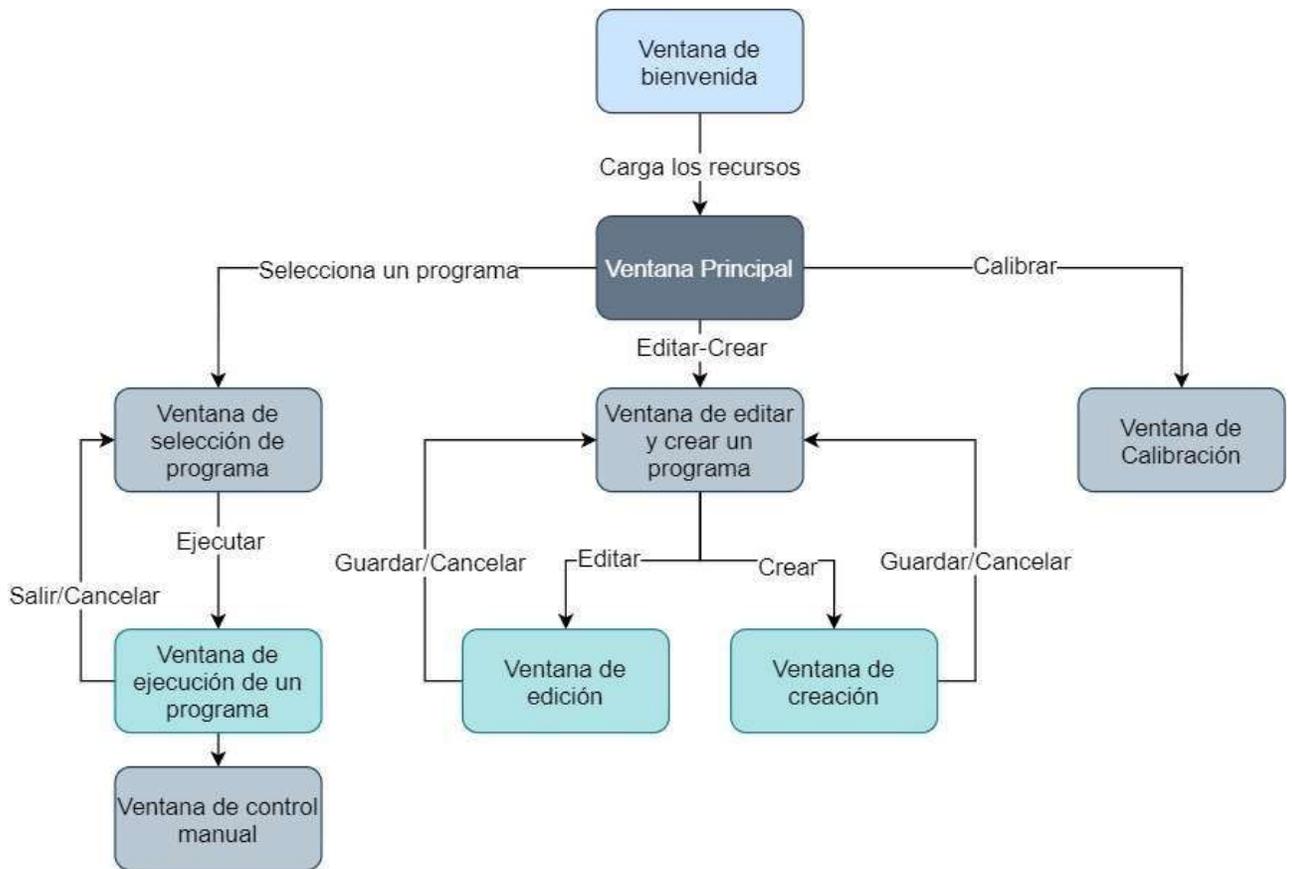


Figura 2.11 Diagrama de flujo de la aplicación

2.8.3 Funcionalidades de las ventanas de la interfaz gráfica

La primera ventana que se muestra al iniciar la aplicación es la “Ventana de bienvenida”, esta se encarga de cargar recursos y mostrar el logo del cliente durante el tiempo de carga, una vez transcurrido este tiempo, automáticamente se dirige a la “Ventana principal”, la cual muestra 3 opciones principales: seleccionar un programa, editar o crear un programa y calibrar la máquina.

Si se escoge “Seleccionar un programa” se despliega la “Ventana de selección de programa” la cual permite escoger cuál de los programa, previamente creados, se desea ejecutar. Una vez escogido el programa se redirige a la “Ventana de ejecución de un programa” donde se ejecuta dicho programa. En caso de querer acceder al

control manual, mismo que permitirá tomar el control del movimiento de la gradilla al operador, se redirigirá a la “Ventana de control manual”.

Si se escoge la opción “Editar o crear un programa” se redirige a la “Ventana de editar y crear un programa” donde se plantean dos opciones: editar o crear; en el caso de la “Ventana de edición” esta permite seleccionar un programa previamente creado para editar su funcionalidad y cambiar su nombre; en el caso de la “Ventana de creación” permite definir un programa desde el inicio asignándole un nombre y funcionalidades. Desde ambas ventanas es posible regresar a la ventana anterior con las opciones de guardar y salir. En la “Ventana de calibración” se ejecuta la calibración de la máquina o también llamado *home*.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Diseño 3D de la máquina de tinción

El diseño final de la máquina de tinción (Figura 3.1) cuenta con una capacidad de 12 cubetas, de las cuales 11 de ellas son para uso del programa y una de ellas está reservada para ser utilizada como HOME, es decir, como punto de origen y calibración. Se cuenta a su vez con 3 ejes motrices, lo cual indica que la máquina tiene 3 grados de libertad (XYZ). En la investigación realizada respecto a los proveedores locales de los tornillos de potencia disponibles para nuestro diseño, se encontró que el más común es el tornillo de rosca ACME de 8mm de diámetro, de acero inoxidable AISI 316. Este elemento viene en dimensiones de 60cm hasta 1 metro de longitud.

Además, la máquina cuenta con un actuador con electroimanes que permite la automatización del proceso de sujeción y liberación de la gradilla. Por otro lado, a un costado de la máquina se tiene la sección de componentes electrónicos en donde se encuentra la PCB, la fuente de alimentación (110VAC a 12VDC), los drivers TB6600, la Raspberry Pi y el cableado. También cuenta con un ventilador para poder asistir a la disipación de calor interno y proteger de esta manera la electrónica de las temperaturas que pueden llegar a tener. En esta sección también se encuentra el HMI el cual es una pantalla capacitiva que utiliza el controlador de video de la Raspberry Pi.

Finalmente, para fines estéticos se tiene una carcasa a base de planchas de aluminio 6063 de 2 mm de espesor debido a su disponibilidad en el mercado local. Con esta carcasa se pueden proteger los elementos motrices, además de poder ofrecer un soporte para la pantalla y un espacio para la parte electrónica.

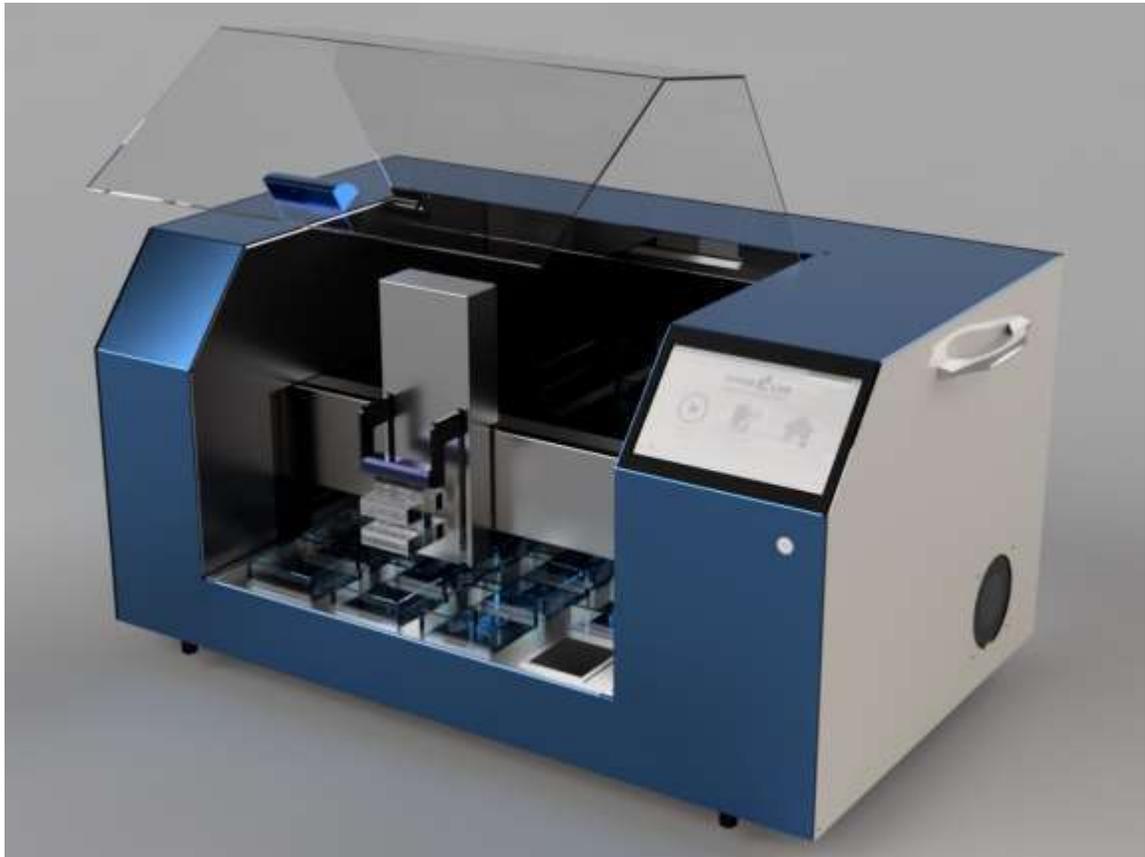


Figura 3.1 Diseño final de la máquina de tinción

Las características finales de la máquina se encuentran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Especificaciones generales de la máquina de tinción
Máquina de Tinción

Dimensiones (LxWxH)	1000x610x495 mm
Cantidad de cubetas disponibles	12
Alimentación	110 VAC
Pantalla	10.1" LCD Táctil
Peso	30 kg
Potencia	1.75 kW

3.1.1 Análisis estático de simulaciones del mecanismo eje Y

Se realizó una simulación de esfuerzos estáticos con el modelo dibujado utilizando el software Fusion360 de tal forma que podamos observar los efectos de los esfuerzos a lo largo del componente más crítico, que en este caso es el eje Y debido a que tiene menos apoyos. En los resultados se obtuvo un factor de seguridad de 8 (Figura 3.2) y una deflexión máxima de 0.5179 mm en las varillas aceradas y el tornillo (Figura 3.3). De esta manera, se valida el modelo mecánico para cumplir con los esfuerzos de trabajo adecuados.

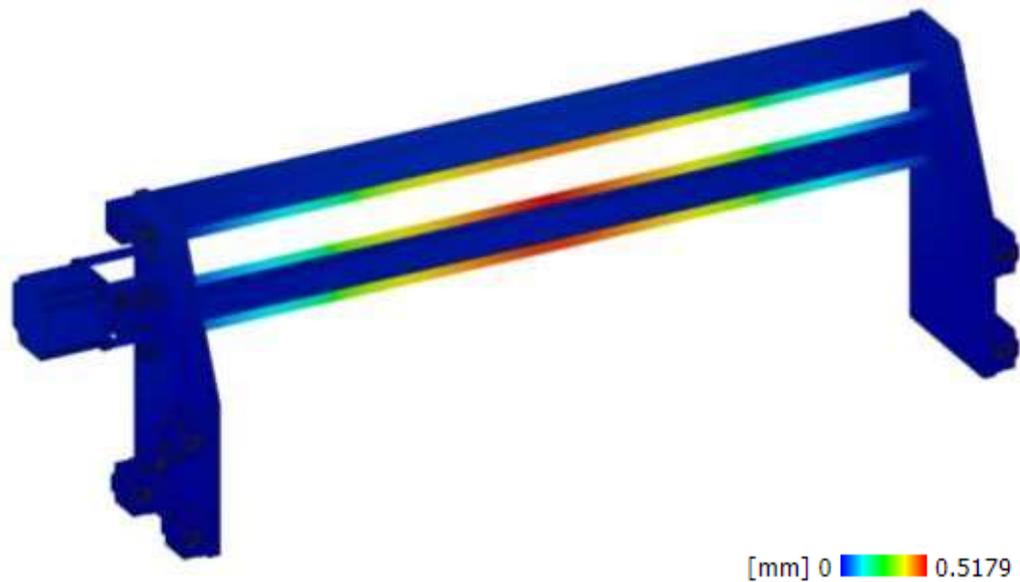


Figura 3.2 Deflexión del eje Y al soportar el peso del eje Z en el punto crítico

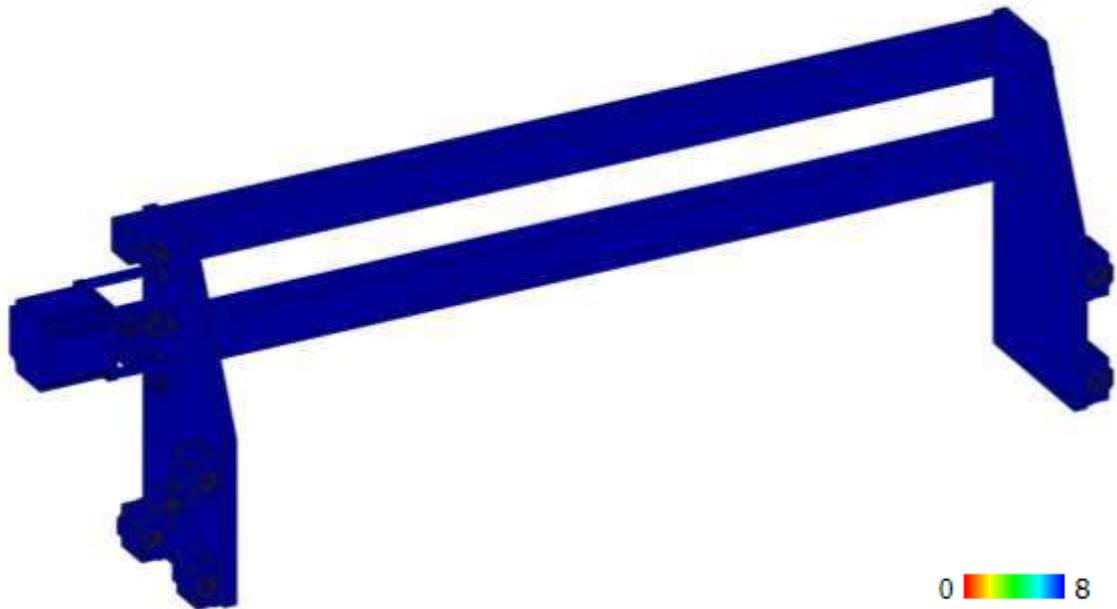


Figura 3.3 Factor de seguridad del eje Y al soportar el peso del eje Z en el punto crítico

3.1.2 Tornillo de potencia

De acuerdo con el diseño de forma, y en base a requerimientos del laboratorio en cuestión, se dispone de un tornillo de transmisión con características enunciadas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del tornillo de potencia [20]

Tornillo de Potencia	
Material	Acero inoxidable AISI 308L
Diámetro	8 mm
Rosca	ACME
Hilos	1
Coefficiente de fricción	0.15
Avance	2 mm

3.1.3 Selección del motor

Con el valor de la potencia y torque calculados, y tomando en cuenta la disponibilidad local de motores, se decide seleccionar para los ejes X e Y un motor NEMA 23, mientras que para el eje Z se decide seleccionar el motor NEMA 17 ambos de la marca POLOLU (Figura 3.4). Estos manejan una carga de 2.5 Nm y 0.8 Nm respectivamente, los cuales se consideran sobredimensionados para la aplicación actual. El criterio de sobredimensionar este componente se justifica debido a que se busca una precisión alta, bajo efecto de las perturbaciones mecánicas y un movimiento suave.



Figura 3.4 Motor NEMA 23 y NEMA 17 respectivamente [20]

3.1.4 Selección de componentes adicionales

Adicionalmente, para completar el diseño del mecanismo de transporte, se decide utilizar componentes locales. Debido a que estos componentes están diseñados para manejar una carga superior a las mencionadas previamente, se garantiza un factor de seguridad superior al expuesto en los cálculos previos.

3.1.4.1 Soportes de varilla acerada

Para los soportes de las varillas aceradas (Figura 3.5), las cuales cumplen la funcionalidad de mantener alineada y distribuida la carga del mecanismo, se utilizan dos tipos de soporte dependiendo de su montaje (axial o radial a la varilla). Los soportes a disposición local son el SHF8 y el SK8, los cuales son de acero inoxidable AISI 304 con sujeción por prisionero.



Figura 3.5 Soporte de varilla SHF8 y SK8 respectivamente [21]

3.2 Diseño de la PCB

A partir del diagrama esquemático propuesto, se utilizó el software Proteus para poder desarrollar la PCB, véase la Figura 3.6. Para hacerlo, se tomó en consideración los grupos de componentes (finales de carrera, motores, Arduino, actuadores) de tal forma que las pistas eléctricas se dispongan de una forma ordenada. Además, se rotularon los componentes en la placa para que el montaje de los componentes sea el correcto. Cabe destacar que, de acuerdo con el análisis eléctrico de los componentes, tanto la fuente como los electroimanes son los elementos que concentran la mayor corriente, por lo que el grosor de sus pistas fue mayor que las del resto de componentes.

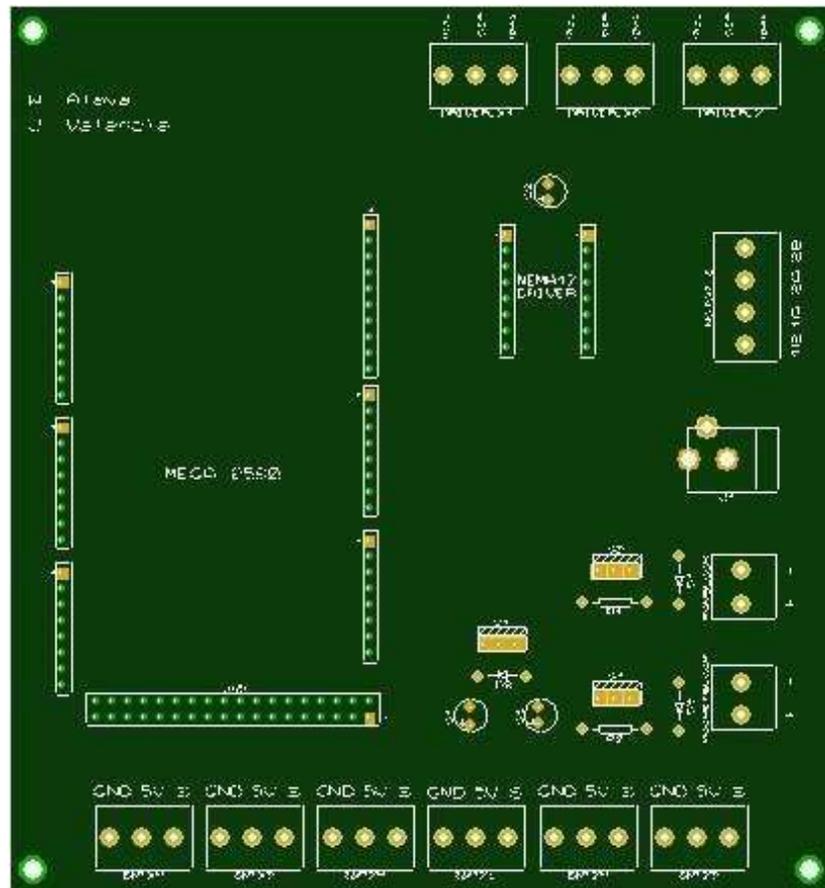


Figura 3.6 PCB propuesta

3.3 Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica formó parte importante en el proceso de desarrollo del proyecto, ya que es el medio por el cual el cliente va a operar la máquina. La ventana principal permite ejecutar un programa, editar o crear una secuencia y calibrar la máquina, véase Figura 3.7.



Figura 3.7 Ventana de selección de programa

La ventana de ejecución (Figura 3.8) permite conocer el porcentaje actual de programa ejecutado, además de las características de pausar y detener, un indicador visual de posición y un botón que obliga al operador a calibrar la máquina.



Figura 3.8 Ventana de control manual

Las Figuras 3.9 y 3.10 hacen referencia a la creación y edición de un programa, respectivamente, estas opciones permiten establecer la estructura de un programa,

es decir, la secuencia de ejecución del proceso de tinción que el operador decida crear o editar.



Figura 3.9 Ventana de edición de un programa

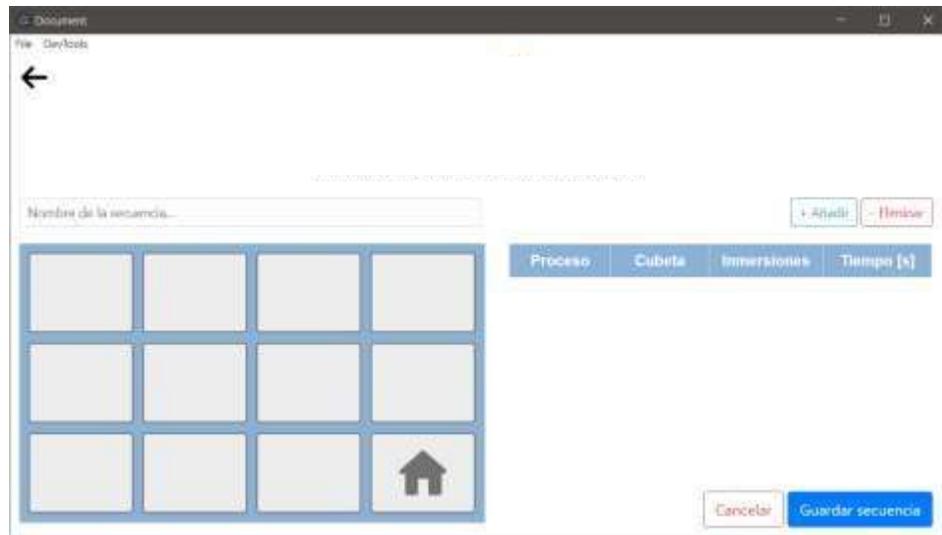


Figura 3.10 Ventana de creación de un programa

La ventana Calibrar (Figura 3.11) permite al operador calibrar la máquina desde la ventana principal, esta presenta una advertencia sobre el proceso y advierte al operador a verificar visualmente el estado de la máquina previo al proceso de calibración.



Figura 3.11 Ventana de calibración de un programa

3.4 Simulación de control y comunicación.

La simulación del control y la comunicación fue uno de los aspectos más importantes para la validación de resultados satisfactorios. El proceso de simulación que se realizó corresponde a una ejecución de archivos de código de programación que, en condiciones de producción, serían ejecutados sin alguna interfaz gráfica, pero por fines demostrativos se lo realizó implementando la terminal de comando de Linux.

La simulación consiste en la ejecución de los siguientes archivos de *bash* en el siguiente orden.

1. Runroscore.sh
2. Runmicrocontroller.sh
3. Runmaincontrol.sh

El *script* runmaincontrol.sh ejecutará el programa de control principal implementando el programa que se añade al lado derecho, en este caso se ejecutará el programa “*papanicolaou-estandar.txt*”. El archivo de la figura 3.12 contiene la información necesaria para cumplir con el proceso de Papanicolaou estándar descrito en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Proceso de tinción estándar

Tinción de Papanicolau Estandar		
Reactivo	Segundos	Inmersiones
Agua destilada	300	1
Hematoxilina colorante nuclear	60	1
Agua destilada	180	1
OH 98%	1	30
Policromo colorante citoplasmati	240	1
OH 98%	1	30
OH 98%	1	30

```
papanicolau_estandar.txt
saved-sequences > papanicolau_estandar.txt
1 1|A3|Agua Destilada 1|300|1
2 2|B3|Hematoxilina nuclear|60|1
3 3|A2|Agua Destilada 2|180|1
4 4|B2|OH 98%|1|1
5 4|B2|OH 98%|1|2
6 4|B2|OH 98%|1|3
7 4|B2|OH 98%|1|4
8 4|B2|OH 98%|1|5
9 4|B2|OH 98%|1|6
10 4|B2|OH 98%|1|7
11 4|B2|OH 98%|1|8
```

Figura 3.12 Archivo de configuración del programa Papanicolau estándar

El primer archivo por ejecutar es el runroscore.sh encargado de eliminar cualquier instancia del roscore o rosmaster iniciada previamente e iniciar una nueva, como se observa en la Figura 3.13.

```
winter@winter-ros:~$ runroscore.sh
Starting roscore:
roscore: no process found
rosmaster: no process found
... logging to /home/winter/.ros/log/0b8c5554-f4e1-11eb-8ebb-0b4d4e59...
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

started roslaunch server http://winter-ros:34457/
ros_comm version 1.15.9

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /rostdistro: noetic
* /rosversion: 1.15.9

NODES
```

Figura 3.13 Ejecución del runroscore.sh

Posteriormente, en la Figura 3.14, se inicia el *script* del microcontrolador, donde se observó que identificó el puerto de comunicación sería el “/dev/ttyACM1” a un *baudrate* de 9600 baud, también la instanciación de un publicador del *topic confirmation* y un suscriptor del *topic command*. En este punto el microcontrolador, alojado en la placa electrónica, está a la espera de los comandos que el control principal ejecutado en la computadora pueda enviar.

```
winter@winter-ros:~$ runmicrocontroller.sh
Iniciando comunicacion rosserial con el microcontrolador:
Usando el puerto: /dev/ttyACM1
[INFO] [1628053332.869224]: ROS Serial Python Node
[INFO] [1628053332.871982]: Connecting to /dev/ttyACM1 at 9600 baud
[INFO] [1628053334.991948]: Requesting topics...
[INFO] [1628053339.638226]: Note: publish buffer size is 512 bytes
[INFO] [1628053339.639235]: Setup publisher on confirmation [stainerpkg/confirmation]
[INFO] [1628053339.721952]: Note: subscribe buffer size is 512 bytes
[INFO] [1628053339.722799]: Setup subscriber on command [stainerpkg/command]
[INFO] [1628053340.718948]: Proceso realizado exitosamente...
```

Figura 3.14 Ejecución del runmicrocontroller.sh

En la Figura 3.15, se muestra el proceso del control principal ejecutando el programa “Papanicolau-estandar.txt”. El control muestra por pantalla el mensaje “[Enviando comando...]”, seguido de la descripción del comando enviado cuya señal denota el movimiento del motor Z en dirección de subida de un paso. Posteriormente se obtuvo

3.5 Análisis de costos

En el presente proyecto se calculó el costo de fabricación de la máquina de tinción, considerando los costos de componentes electrónicos (Tabla 3.4), mecánicos (Tabla 3.5) y de mecanizado de piezas (Tabla 3.6). Se determinó que el costo más representativo se encuentra en el mecanizado de las piezas, debido a que se tiene el costo adicional de la mano de obra del personal del taller.

Entre los costos electrónicos, la Raspberry Pi 4 y la pantalla HDMI 10.1" son las más representativas de esta sección. Sin embargo, el costo de la placa electrónica es el que puede reducirse, ya que se consideró que un proveedor con sede en China para su elaboración, lo que incrementa su valor de fabricación al tener que considerar costos de importación y aduana.

Tabla 3.4 Costos de componentes electrónicos

TIPO	MECÁNICO	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
ELECTRÓNICO	BRONERAS 3P	9	u	0.1	0.9
ELECTRÓNICO	BORNERAS 2P	2	u	0.1	0.2
ELECTRÓNICO	BORNERAS 4P	1	u	0.15	0.15
ELECTRÓNICO	JACK DC	1	u	0.25	0.25
ELECTRÓNICO	PIN HEADER FEMALE 8P	5	u	0.2	1
ELECTRÓNICO	PIN HEADER FEMALE 10P	1	u	0.2	0.2
ELECTRÓNICO	PIN HEADER FEMALE 36P	1	u	0.25	0.25
ELECTRÓNICO	DIODO 1A	3	u	0.4	1.2
ELECTRÓNICO	RESISTENCIA 10K	2	u	0.1	0.2
ELECTRÓNICO	MOSFET IRF520	2	u	0.45	0.9
ELECTRÓNICO	LM7805	1	u	0.3	0.3
ELECTRÓNICO	CAPACITOR 1uF	1	u	0.2	0.2
ELECTRÓNICO	CAPACITOR 100uF	1	u	0.25	0.25
ELECTRÓNICO	CAPACITOR 470uF	1	u	0.25	0.25
ELECTRÓNICO	PANTALLA HDMI 10"	1	u	150	150
ELECTRÓNICO	RASPBERRY PI 4	1	u	120	120
ELECTRÓNICO	ARDUINO MEGA	1	u	15	15
ELECTRÓNICO	FABRICACIÓN PCB	1	u	90.0	90.0
TOTAL					386.25

Entre los costos mecánicos, se tiene la ventaja que todos sus componentes son adquiridos localmente. Entre estos componentes se encuentran el tornillo de

potencia, los rodamientos lineales, varillas aceradas, etc. En esta sección el componente más costoso es el motor de pasos NEMA 23, pues se requieren tres para el movimiento de la máquina.

Tabla 3.5 Costos de elementos mecánicos

TIPO	MECÁNICO	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
MECÁNICO	KFL08	6	u	2.99	17.94
MECÁNICO	SHF8	12	u	4.99	59.88
MECÁNICO	FINAL DE CARRERA	6	u	2.99	17.94
MECÁNICO	FUENTE DE PODER 12V	1	u	24.99	24.99
MECÁNICO	NEMA 23 57STH56	3	u	39.75	119.25
MECÁNICO	DRIVER DRV8825	1	u	2.75	2.75
MECÁNICO	SC8UU	12	u	4.5	54
MECÁNICO	KP08	2	u	3	6
MECÁNICO	SK8	4	u	4.5	18
MECÁNICO	ACOPLE FLEXIBLE 5MM A 8MM	1	u	4	4
MECÁNICO	ACOPLE FLEXIBLE 6.35 MM A 8MM	3	u	4	12
MECÁNICO	NEMA 17 1.2 A 0.4 NM	1	u	15	15
MECÁNICO	DRIVER TB6600 5A	3	u	27	81
MECÁNICO	CUBETAS DE VIDRIO	12	u	10	10
MECÁNICO	GRADILLA INOX	1	u	12	12
MECÁNICO	TORNILLO 8MM LARGO 1M + TUERCA	2	m	35	70
MECÁNICO	EJE 8MM LARGO 1M	4	m	12.5	50
MECÁNICO	TUERCA DE BRONCE 8MM 1 HILO	2	m	2.49	4.98
				TOTAL	592.73

Finalmente, el costo de mecanizado de las piezas mecánicas es la sección más costosa del proyecto. Sin embargo, se considera que se pueden reducir costos al proponer una manufactura a mayor volumen, debido a que el taller ya tendría conocimiento de las piezas a maquinar y se podría reducir tiempos de manufactura al reducir el tiempo que en la primera implementación se tardó el taller mecánico en definir de qué manera se mecanizarán las piezas.

Tabla 3.6 Costos de mecanizado de elementos mecánicos

TIPO	MECÁNICO	CANTIDAD	UNIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
MECANIZADO	PLACA SOPORTE EJE Y	2	u	10	20
MECANIZADO	PLACA SOPORTE EJE X	4	u	10	40
MECANIZADO	PLACA SOPORTE EJE Z	1	u	20	20
MECANIZADO	TUBO SEPARADOR	2	u	6	12
MECANIZADO	SOPORTE SEPARADOR DE CUBETAS	4	u	4	16
MECANIZADO	TUBO BANCADA FRONTAL-POSTERIOR	2	u	15	30
MECANIZADO	TUBO BANCADA LATERAL	2	u	10	20
MECANIZADO	TUBO BANCADA SOPORTE	4	u	4	16
MECANIZADO	SEPARADOR DE CUBETAS	1	u	35	35
MECANIZADO	BASE DE CUBETAS	1	u	30	30
MECANIZADO	ESPACIADOR DE MOTOR NEMA 23	12	u	4	48
MECANIZADO	BASE DE CIRCUITO ELECTRICO	1	u	12	12
MECANIZADO	PORTA-GRADILLA	1	u	15	15
MECANIZADO	MANO DE OBRA	1	u	286	286
				TOTAL	600

De esta forma, el costo de fabricación de la máquina es de 1578.98 USD. A este valor se le debe adicionar los honorarios para los autores intelectuales del proyecto, por lo que su precio de venta sería de 3000 USD.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El diseño estructural de los mecanismos cumple con los criterios de seguridad necesarios para que el proceso de tinción pueda realizarse de forma precisa y sin interferencias mecánicas, teniendo en cuenta que el factor de seguridad mínimo de sus elementos de transporte tuvo un valor aproximado a 6, con una deflexión máxima de 0.05 milímetros. Estos resultados, en conjunto con el ángulo de paso (0.225°) de los motores seleccionados, permitieron que el movimiento del conjunto actuador-gradilla, hacia las diferentes cubetas, se realice de forma exacta y precisa.

Adicionalmente, los elementos mecánicos fueron diseñados de tal forma que su fabricación sea sencilla, utilizando materiales como el Aluminio AISI 6061 y acero inoxidable 308L, muy comunes en el mercado ecuatoriano. Además, se seleccionaron componentes mecánicos estandarizados tales como las chumaceras, soportes de varillas, rodamientos lineales, varillas aceradas y tornillos de transporte con la finalidad de disminuir el tiempo de diseño, facilitar el montaje de la máquina y su mantenibilidad. De forma que se facilite el cumplimiento del reglamento para el funcionamiento de laboratorios clínicos, los elementos de la máquina que están ubicados en el espacio de trabajo fueron diseñados o seleccionados considerando materiales de grado quirúrgico como el acero inoxidable AISI 304 para la fabricación del separador de cubetas y la gradilla.

Se desarrolló una interfaz gráfica que permite al laboratorista crear, editar y ejecutar programas de diferentes secuencias de tinción, teniendo una disposición de las ventanas de la aplicación clasificadas en base a su funcionalidad. A su vez, cada una de las ventanas está diseñada de forma clara, sencilla y simplificada, para que el operador pueda navegar de forma intuitiva, disminuyendo sus tiempos de aprendizaje y adaptación.

4.2 Recomendaciones

Implementar un sistema de monitoreo de fallos que permita disminuir los tiempos de reparación usando sensores de corriente, señales de interruptores finales de carrera, información del *framework* de comunicación, que registren eventos como sobrecarga de corriente en los motores, interferencias mecánicas y fallos de comunicación en el sistema de control. Además, crear un acceso directo en la aplicación que muestre los archivos de registros con los fallos de la máquina.

Desarrollar un menú de configuración en la aplicación de tal forma que se puedan modificar variables como la velocidad de avance de los motores y el grado de agitación en el proceso de escurrido de la gradilla.

Mejorar el sistema de control para que sea capaz de realizar más de un proceso de tinción a la vez. De esta manera se puede agilizar el procesamiento de muestras en el laboratorio, al poder manejar un mayor volumen de muestras simultáneamente.

Implementar la funcionalidad del manejo en control manual, el cual permitiría la manipulación de los movimientos de la gradilla desde la interfaz gráfica por parte del operador. Esto también permitiría al usuario laboratorista realizar correcciones no previstas de un programa que esté en ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] World Health Organization, «WHO.INT,» [En línea]. Available: https://www.who.int/health-topics/cervical-cancer#tab=tab_1. [Último acceso: 01 Julio 2021].
- [2] The American Cancer Society medical and editorial content team, «Cancer.org,» 3 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/8933.00.pdf>. [Último acceso: 01 Julio 2021].
- [3] Edición Médica, «Ecuador debe invertir en programas de diagnóstico molecular de VPH para reducir las muertes por cáncer de cuello uterino,» Edición Médica, Quito, 2021.
- [4] Medlineplus, «Medlineplus,» 26 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/prueba-de-papanicolaou/>. [Último acceso: 01 Julio 2021].
- [5] World Helth Organization, «WHO.INT,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.who.int/initiatives/cervical-cancer-elimination-initiative>. [Último acceso: 01 Julio 2021].
- [6] Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva, «Academia Mexicana de Citopatología,» 2006. [En línea]. Available: <https://citopatologia.org/wp-content/uploads/2019/03/tincion.pdf>. [Último acceso: Julio 2021].
- [7] L. Jaramillo-Feijoo, R.-O. Ana, J.-B. Andrea y Q.-B. Rina, «Spatial distribution of the most frequent canceres in Guayaquil,» SOLCA, Guayaquil, 2018.
- [8] Ministerio de Salud Publica del Ecuador, Plan Nacional de Salud Sexual y Salud Reproductiva 2017 - 2020, Guayaquil: Ministerio de Salud Publica, 2017.
- [9] Subsecretaría Nacional de Provisión de Servicios de Salud, «Cumplimiento a SIGOBITO: Normativa sobre Papanicolaou e Información sobre tamizaje,» Ministerio de Salud Publica, Quito, 2014.

- [10] Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva., «Manual de Procedimientos. Tinción e interpretación,» Centro Nacional de Equidad de Género y Salud Reproductiva., México, D.F, 2006.
- [11] Hologic, «Hologic Web site,» 2017. [En línea]. Available: https://www.hologic.com/sites/default/files/package-insert/MAN-01390-001_006_02.pdf. [Último acceso: 2 Junio 2021].
- [12] E. Santambrosio, «Tinción y observación de microorganismos,» Universidad Tecnológica Nacional, Rosario, 2009.
- [13] LABOLAN, «Labolan Web site,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.labolan.es/es/producto/tincion-rapida-papanicolau-3-minutos-500test.html>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].
- [14] NIRCO, «Nirco Web site,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.nirco.com/es/consumible-de-laboratorio/gradillas/special-baskets-and-trays-for-slides.html>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].
- [15] P. M. Manuel Megías, «mmegias web site,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/tecnicas-tincion.pdf>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].
- [16] Especialidades Medicas Myr, S.L, «Myr Web site,» 2013. [En línea]. Available: <https://myr.com.es/>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].
- [17] Radical India, «Radical India Web site,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.radicalindia.com/>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].
- [18] RASPBERRY PI FOUNDATION, «RASPBERRY PI FOUNDATION,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [19] Arduino, «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [20] Electrostore Riobamba, «Electrostore Riobamba Web site,» 2021. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/>. [Último acceso: 18 Septiembre 2021].

- [21] Ecuarobotics, «Ecuarobotics web site,» 2021. [En línea]. Available: <https://ecuarobotics.com/>. [Último acceso: 2021].
- [22] W. Freire, M. J. Ramirez-Luzuriaga, P. Belmont, M. J. Mendieta, K. Silva Jaramillo, N. Romero, K. Sáenz, P. Piñeiros, L. F. Gómez y R. Monge, «Encuesta Nacional de Salud y Nutrición,» *ENSANUT*, vol. II, nº 1, p. 170, 2014.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cálculo de Tornillo de Potencia

Habiendo definido el motor, y la carga a desplazar, se procede a calcular la potencia requerida para mover la carga crítica, la cual corresponde a la del mecanismo del eje Y:

$$P = T\omega$$

En donde P representa la potencia mecánica del motor, T el torque de transporte y ω la velocidad angular del motor.

Para hallar el torque requerido, se toma en cuenta la ecuación para calcular el torque de acuerdo al tornillo utilizado (tornillo de rosca simple, 8mm y rosca ACME).

$$T = \frac{F_T d_m}{2} * \frac{\pi \mu d_m - L}{\pi d_m + \mu L}$$

En donde T es el torque requerido para mover la carga, F es la fuerza mínima necesaria para mover la carga correspondiente, d_m es el diámetro medio de la rosca del tornillo y L corresponde al avance del tornillo.

Por lo tanto, se tiene el correspondiente torque de subida:

$$T = \frac{(120.5 \text{ N})(0.008 \text{ m})}{2} * \frac{\pi(0.15)(0.008 \text{ m}) - 0.002 \text{ m}}{\pi(0.008 \text{ m}) + 0.15(0.002 \text{ m})}$$

$$T = 0.034 \text{ [Nm]}$$

Posteriormente, se procede a calcular el factor de seguridad de este elemento. Considerando que se trata del eje motor del mecanismo, se tiene un par de torsión correspondiente a la carga que quiere transportarse. En primer lugar, se calcula el esfuerzo cortante debido a la torsión:

$$\sigma_t = \frac{16T}{\pi d_i^3}$$

$$\sigma_t = \frac{16(0.0344 \text{ Nm})}{\pi(0.00725)^3}$$

$$\sigma_t = \mathbf{0.466 \text{ MPa}}$$

Ahora, conociendo que se trata de un acero inoxidable AISI 304, se tiene una resistencia de fluencia de 220 MPa con la que podemos calcular el factor de seguridad:

$$N = \frac{\sigma_s}{\sigma_t}$$

$$N = \frac{220 \text{ MPa}}{0.223 \text{ MPa}}$$

$$N = \mathbf{986}$$

Cálculo de Potencia del motor

Para poder hallar finalmente la potencia del motor, se debe definir un valor de velocidad angular que debe tener el mecanismo. Para hacerlo, se toma en cuenta la frecuencia de corte máxima dada por un controlador común en el mercado para motores de paso, el cual es de 50 kHz. A esta frecuencia de pulsos, se transforma a velocidad lineal considerando las características del tornillo previamente mencionado.

$$v = \frac{L}{rev} * \frac{rev}{360 \text{ pulsos}} * \frac{50000 \text{ pulsos}}{1 \text{ seg}}$$

$$v = \frac{2 * 50000}{360}$$

$$v = \mathbf{277 \text{ [mm/s]}}$$

Con este valor se puede calcular la velocidad angular y, por consiguiente, la potencia requerida por el motor.

$$\omega = \frac{v}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{0.277}{2\pi}$$

$$m = \mathbf{0.0444 \text{ [rad/s]}}$$

$$P = (0.035 \text{ Nm}) * (0.0444 \text{ rad/s})$$

$$P = \mathbf{0.00155 \text{ W}}$$

APÉNDICE B

Ventanas de la interfaz gráfica

B.1 Ventana de bienvenida.

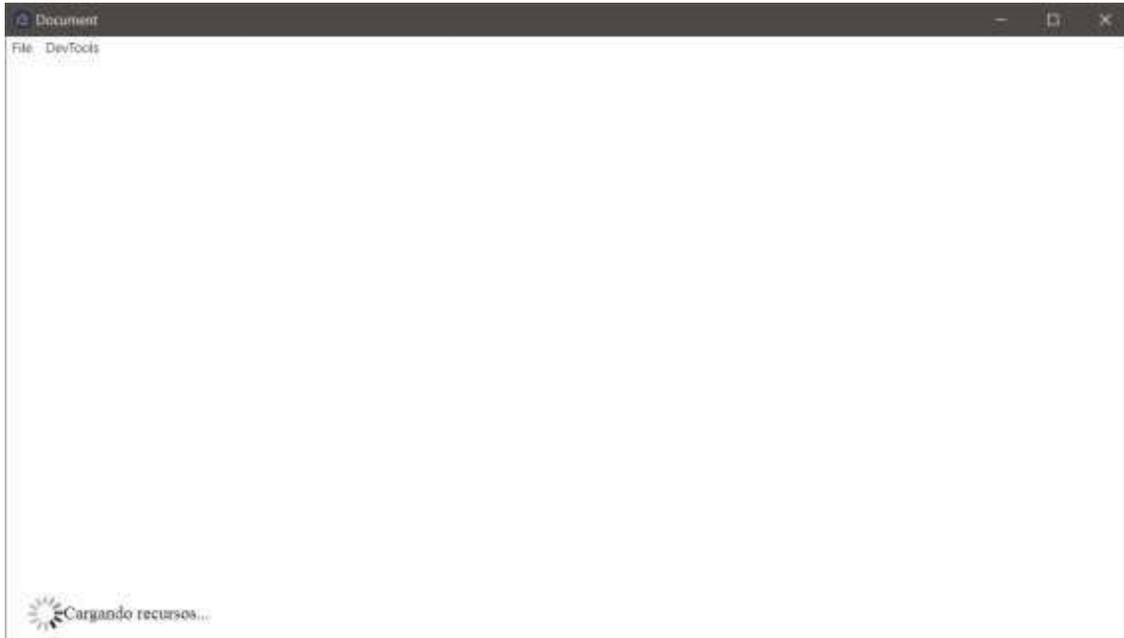


Figura B.1 Ventana de bienvenida de la interfaz

B.2 Ventana principal.



Figura B.2 Ventana principal de la interfaz

B.3 Ventana de seleccionar una secuencia para ejecutar.

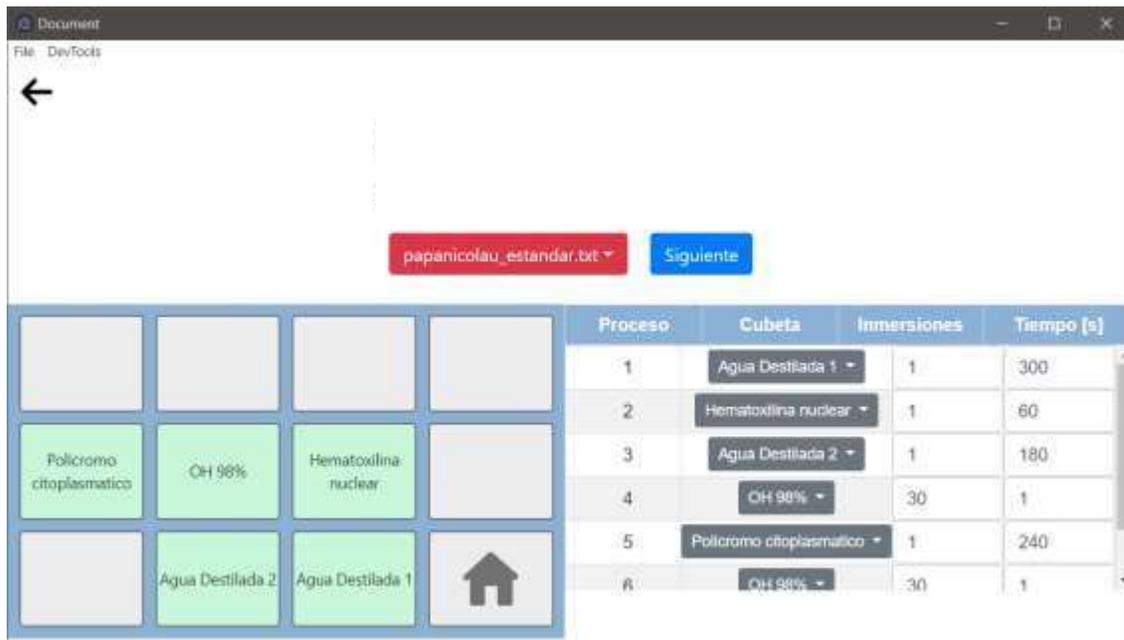


Figura B.3 Ventana de seleccionar secuencia

B.4 Ventana de ejecución de secuencia.

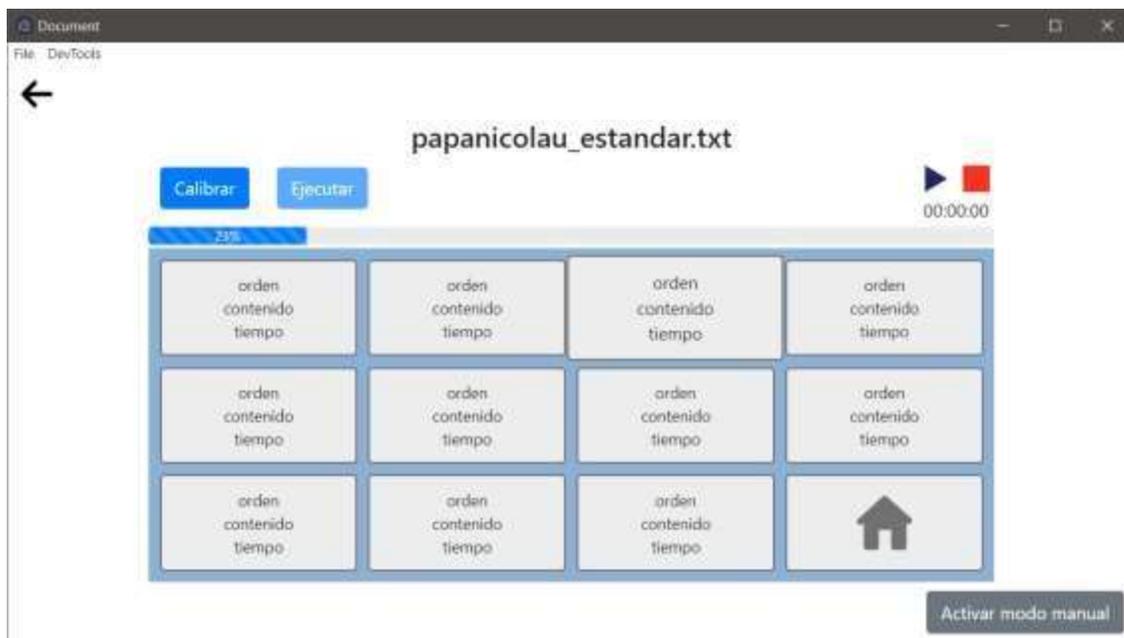


Figura B.4 Ventana de ejecución de una secuencia

B.5 Ventana de modo manual.

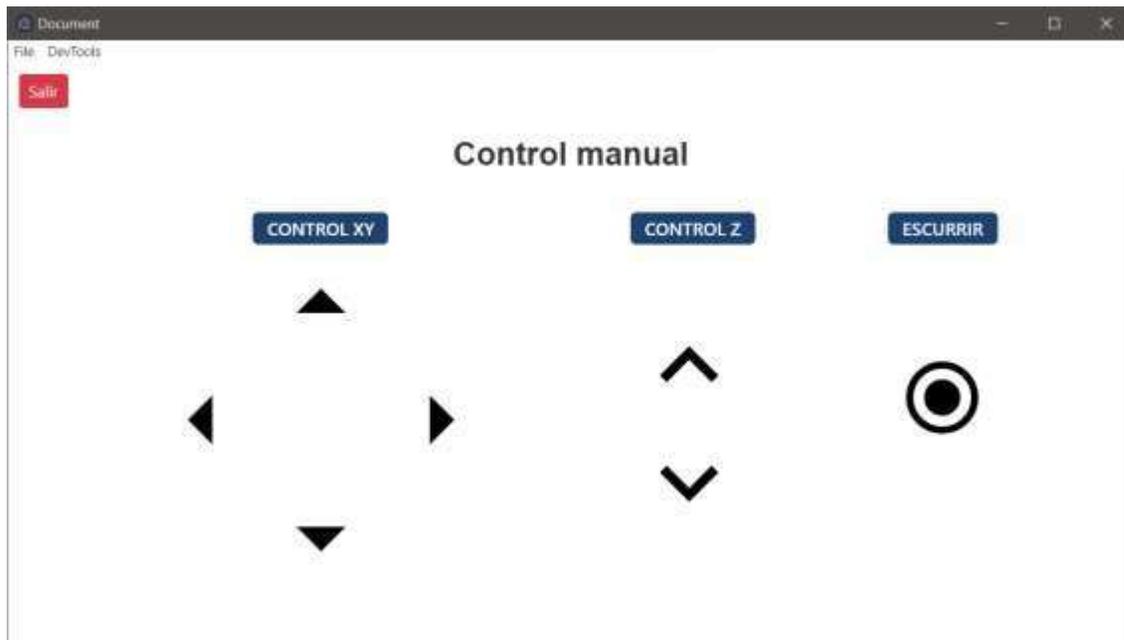


Figura B.5 Ventana de modo manual

B.6 Ventana de selección editar y crear.



Figura B.6 Ventana de editar y crear una secuencia

B.7 Ventana de editar secuencia.



Figura B.7 Ventana de edición de una secuencia

B.8 Ventana de crear secuencia.

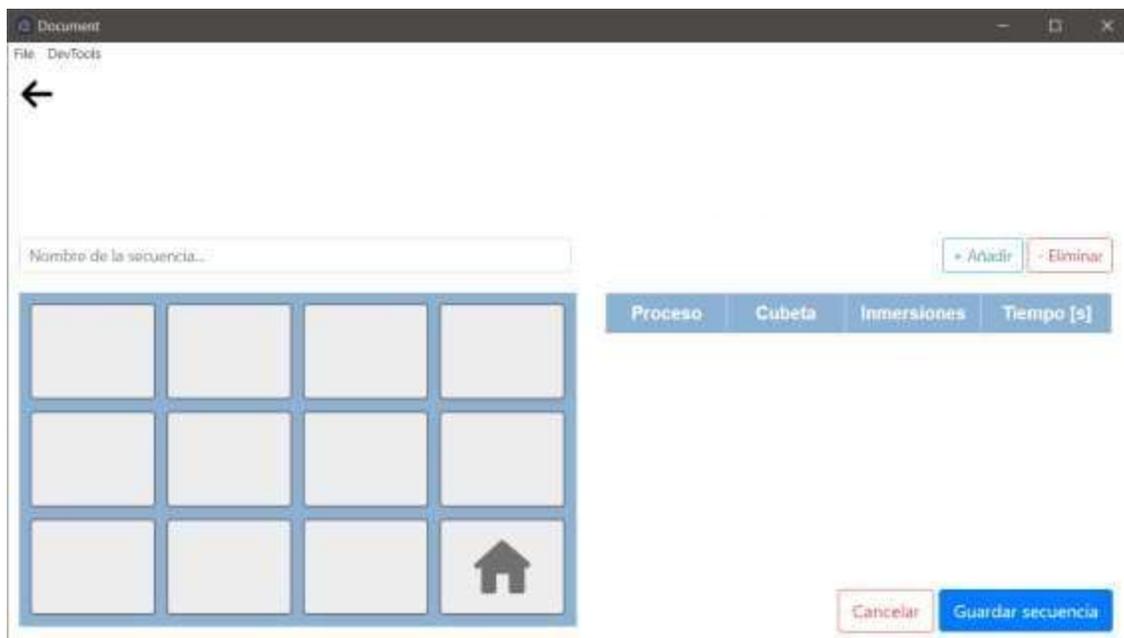


Figura B.8 Ventana de crear una secuencia

B.9 Ventana de calibrar la máquina.

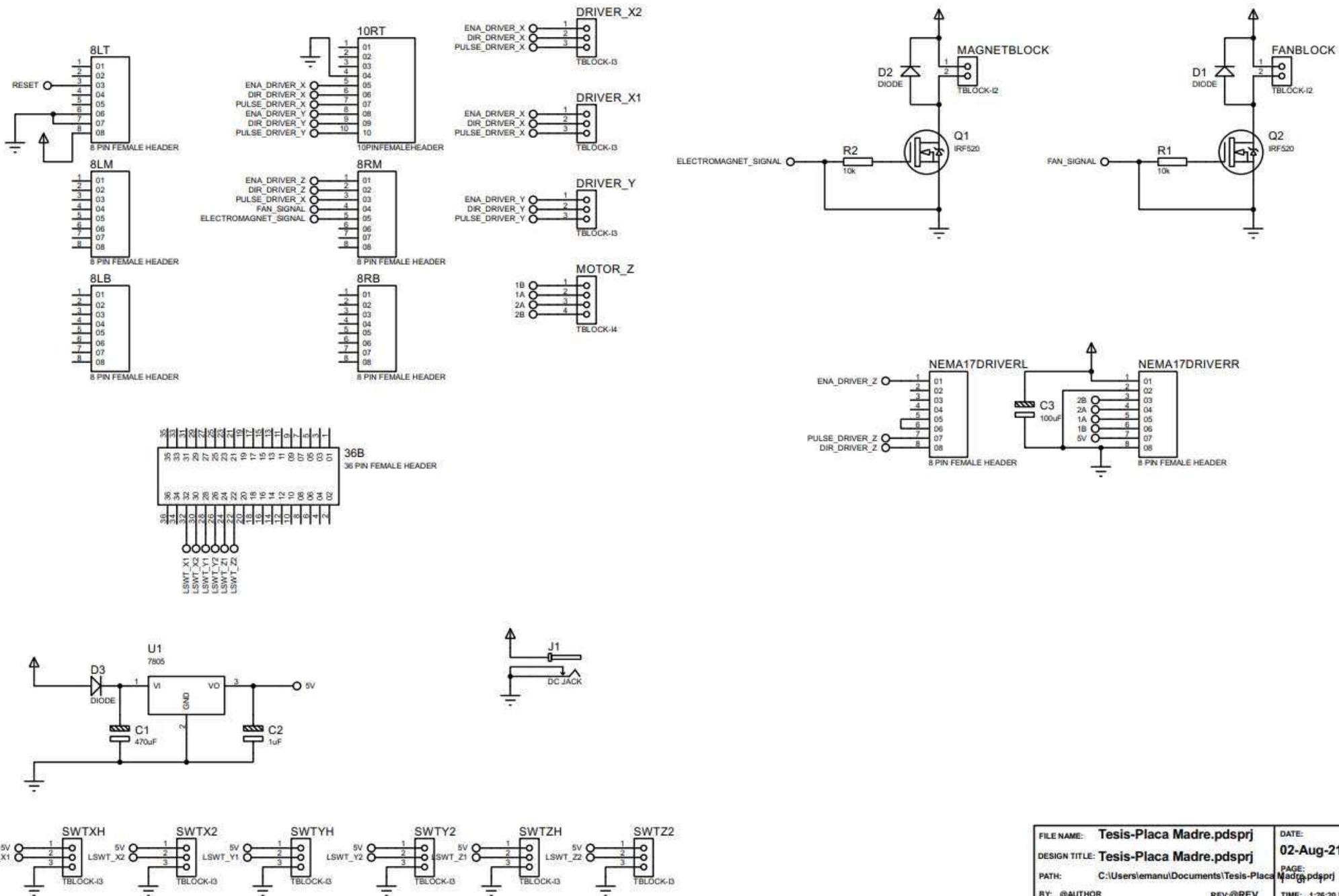


Figura B.9 Ventana de calibración de la máquina

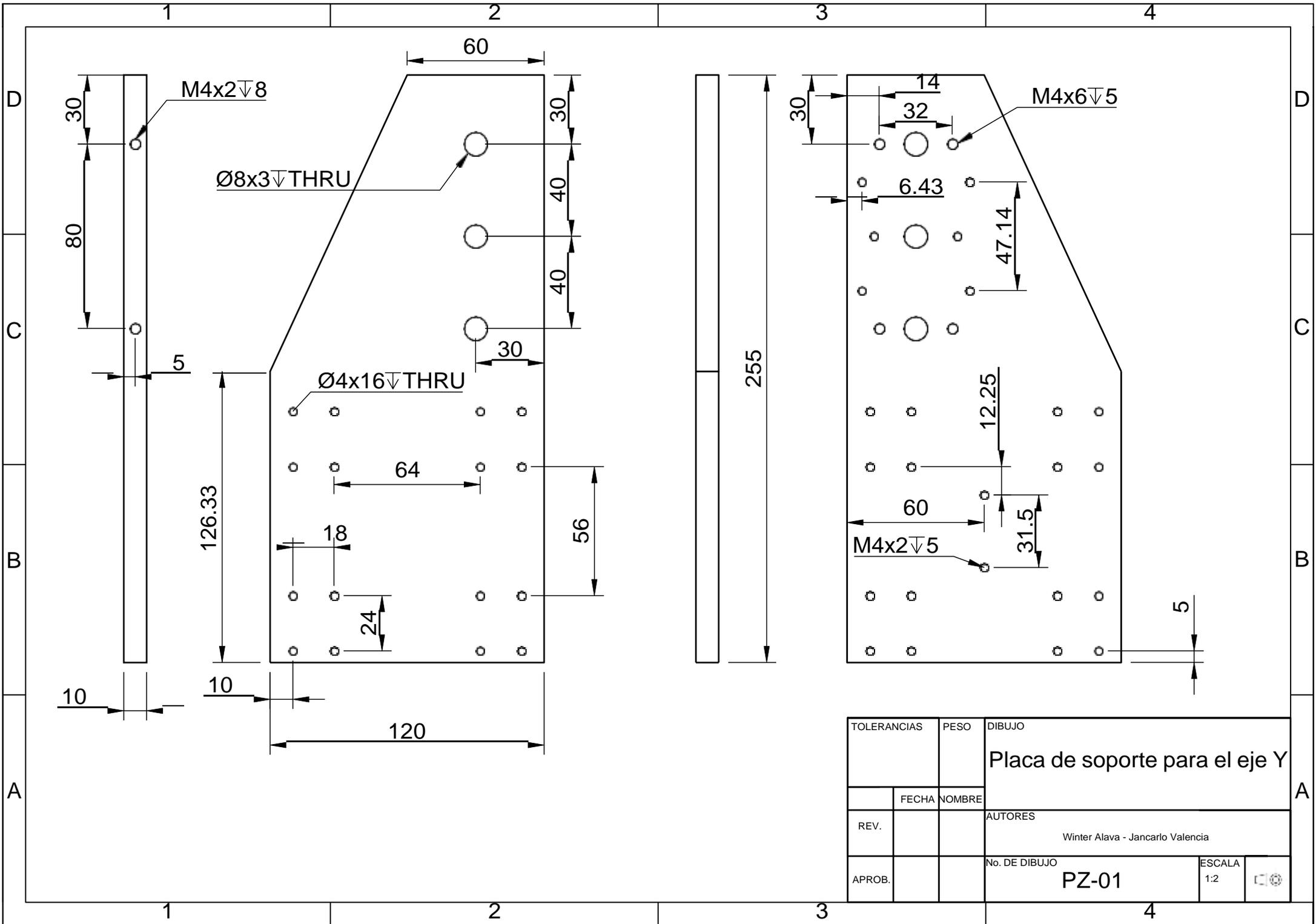
APÉNDICE C

PLANOS ELECTRÓNICOS Y MECANICOS

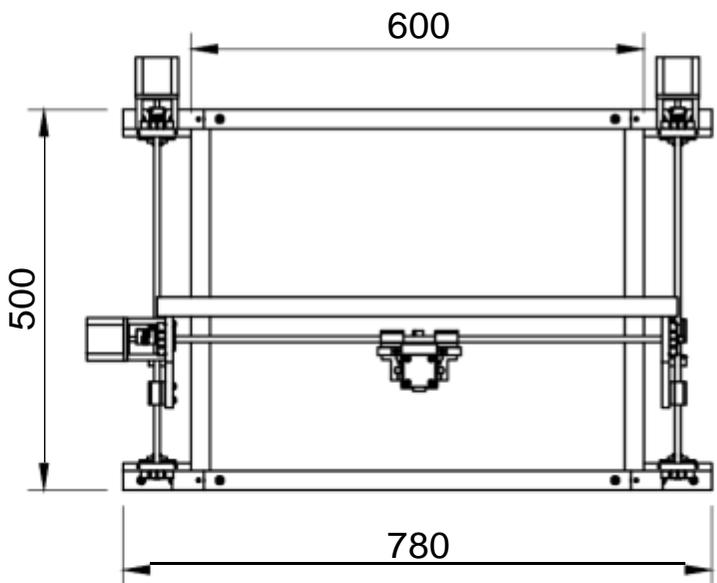
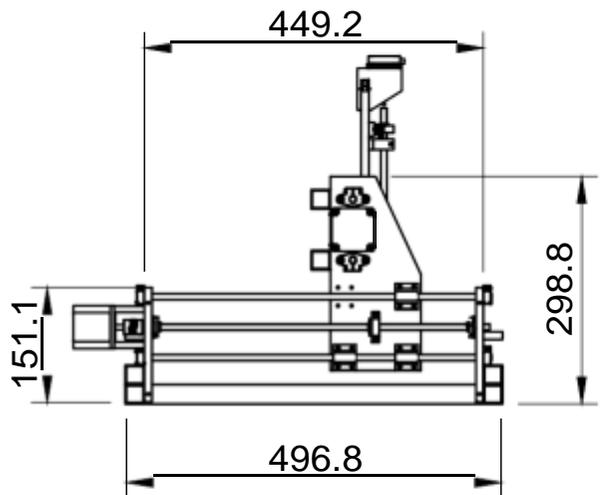
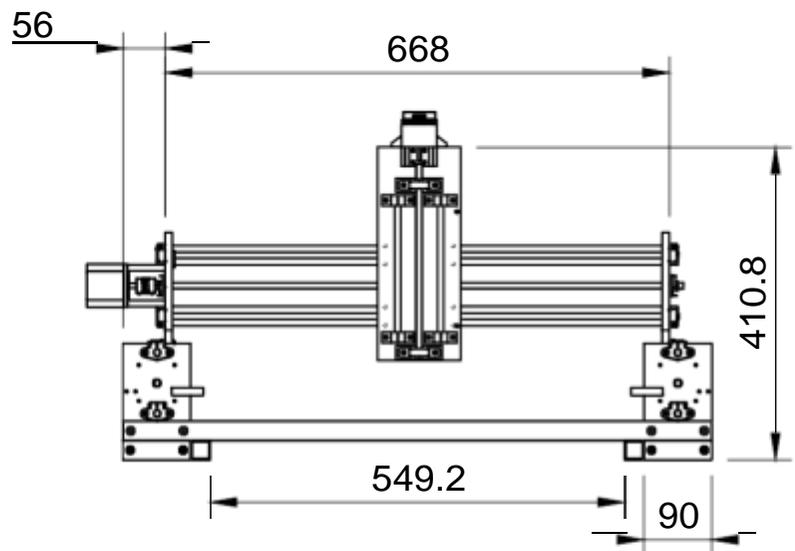
PLANO 1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES



FILE NAME: Tesis-Placa Madre.pdsprj	DATE: 02-Aug-21
DESIGN TITLE: Tesis-Placa Madre.pdsprj	PAGE: 1
PATH: C:\Users\emanu\Documents\Tesis-Placa Madre.pdsprj	BY: @AUTHOR
REV: @REV	TIME: 1:26:20 PM

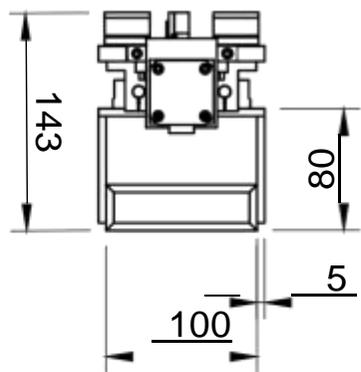
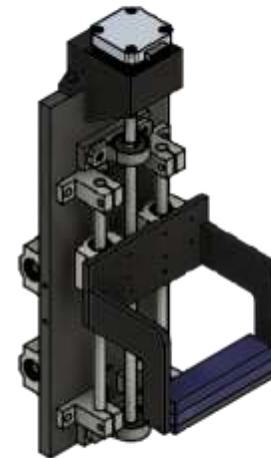
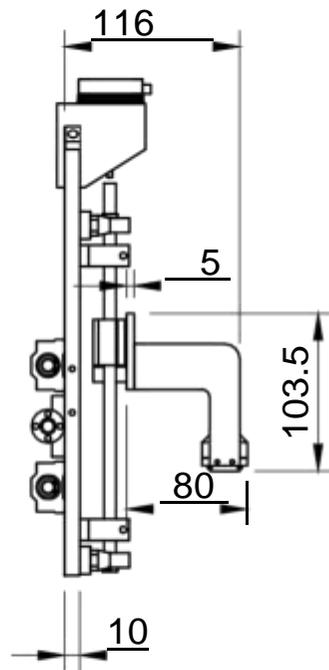
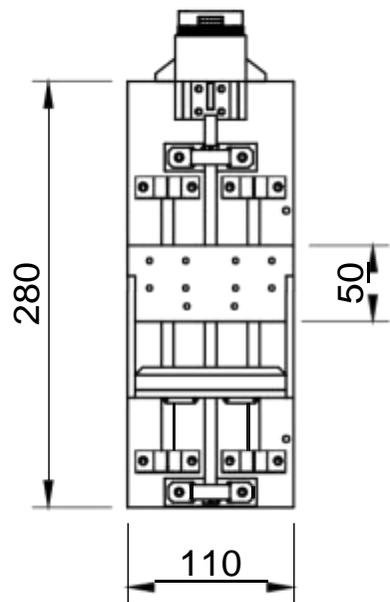


TOLERANCIAS		PESO		DIBUJO	
				Placa de soporte para el eje Y	
	FECHA	NOMBRE			
REV.				AUTORES	
				Winter Alava - Jancarlo Valencia	
APROB.		No. DE DIBUJO		ESCALA	
		PZ-01		1:2	

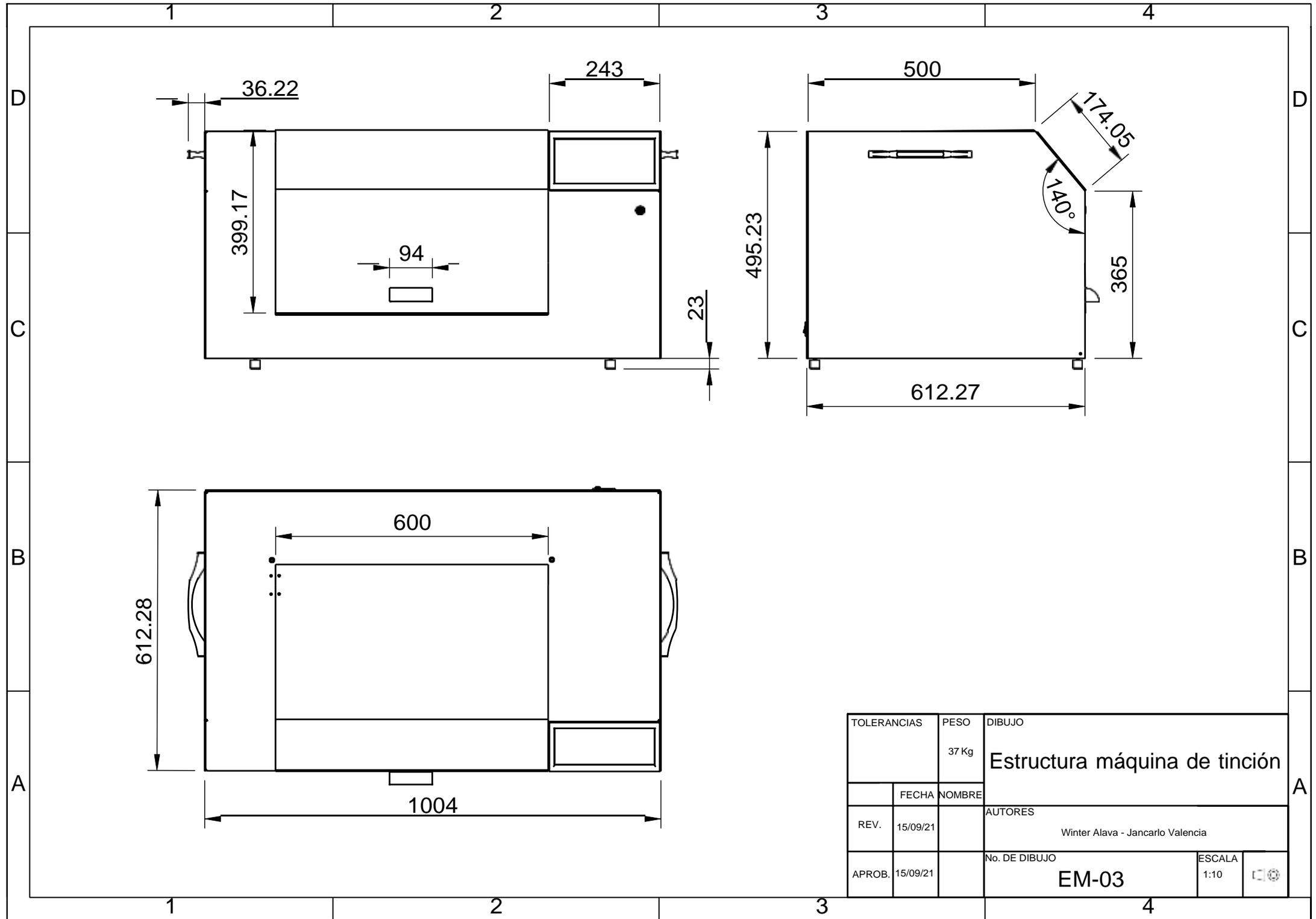


TOLERANCIAS		PESO	DIBUJO	
		20.9 Kg	Estructura de movimientos de ejes x,y,z.	
	FECHA	NOMBRE	AUTORES	
REV.	15/09/21		Winter Alava - Jancarlo Valencia	
APROB.	15/09/21		No. DE DIBUJO	ESCALA
			EM-01	1:10

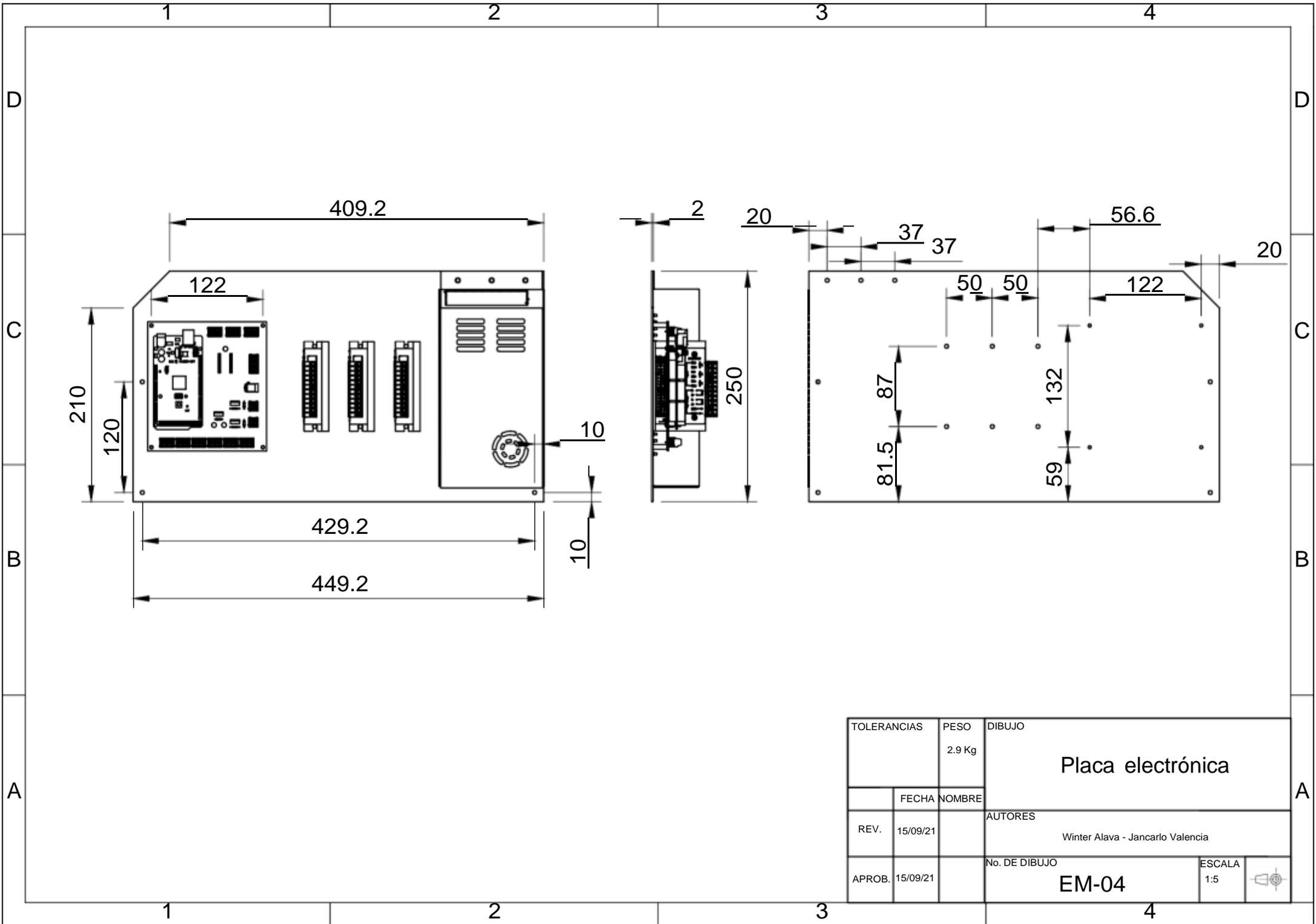




TOLERANCIAS		PESO	DIBUJO	
		5.17 Kg	Estructura del eje z y actuador	
	FECHA	NOMBRE		
REV.	15/09/21		AUTORES	
		Winter Alava - Jancarlo Valencia		
APROB.	15/09/21	No. DE DIBUJO	ESCALA	
		EM-02	1:5	

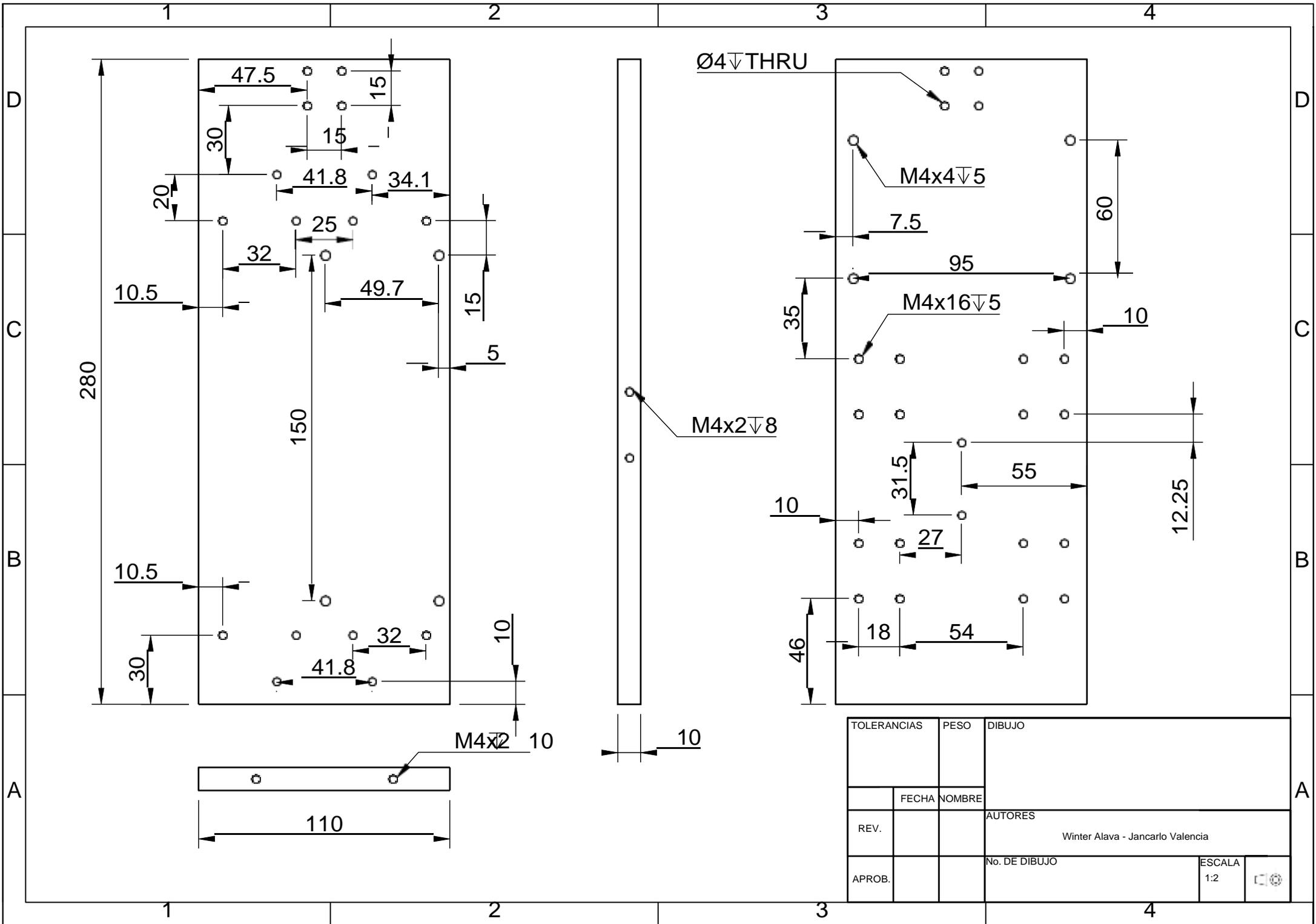


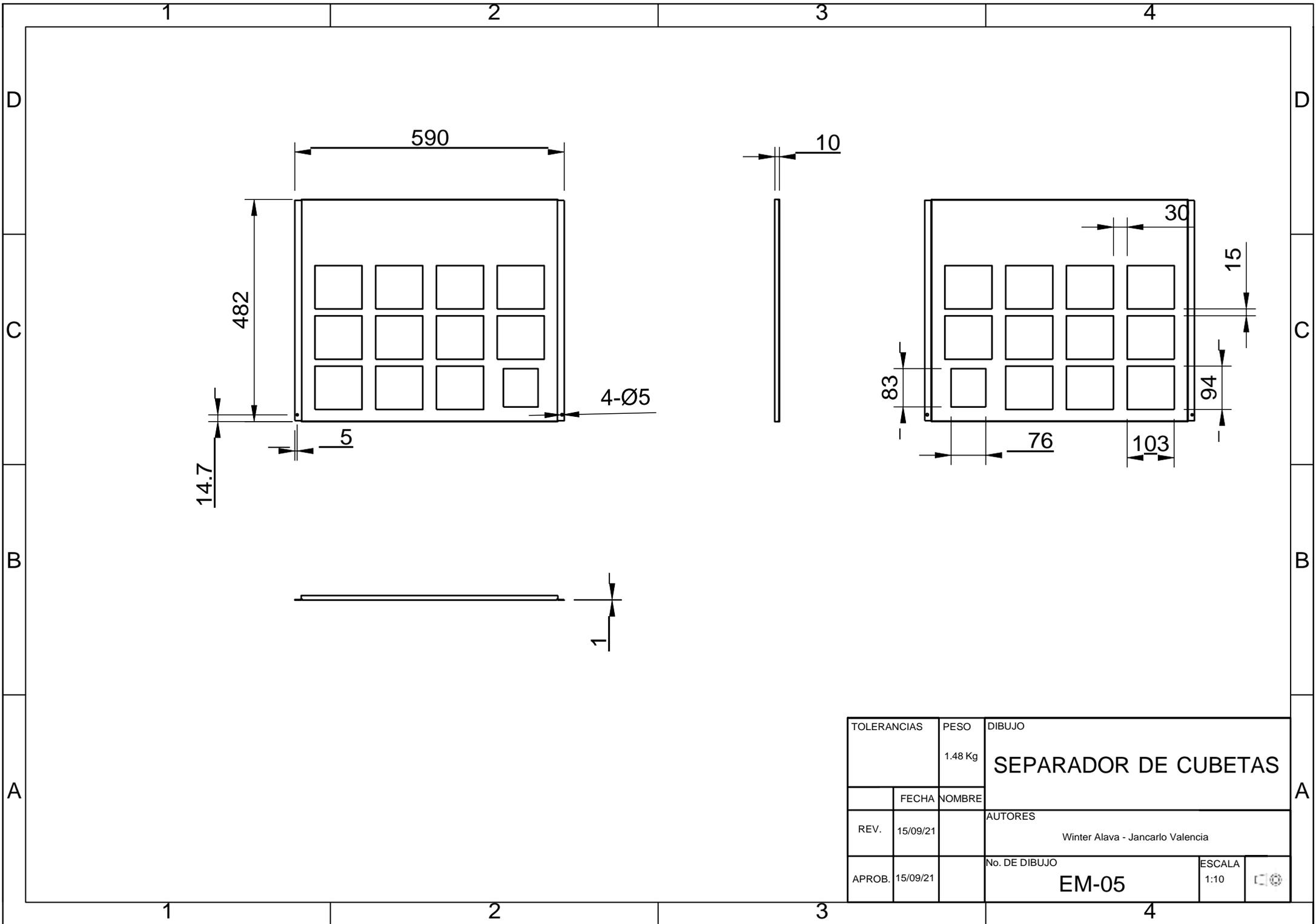
TOLERANCIAS		PESO	DIBUJO		
		37 Kg	Estructura máquina de tinción		
	FECHA	NOMBRE	AUTORES		
REV.	15/09/21		Winter Alava - Jancarlo Valencia		
APROB.	15/09/21		No. DE DIBUJO	ESCALA	
			EM-03	1:10	



TOLERANCIAS		PESO	DIBUJO	
		2.9 Kg	Placa electrónica	
	FECHA	NOMBRE		
REV.	15/09/21		AUTORES	
		Winter Alava - Jancarlo Valencia		
APROB.	15/09/21	No. DE DIBUJO		ESCALA
		EM-04		1:5







TOLERANCIAS		PESO	DIBUJO		
		1.48 Kg	SEPARADOR DE CUBETAS		
	FECHA	NOMBRE			
REV.	15/09/21		AUTORES		
		Winter Alava - Jancarlo Valencia			
APROB.	15/09/21		No. DE DIBUJO		ESCALA
			EM-05		1:10

