

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ACTIVACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE COCCIÓN DE GRANOS DE
MAÍZ MEDIANTE UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR QUE DETECTA
CAÍDAS DE RENDIMIENTO COGNITIVO EN ESTUDIANTES DURANTE
SESIONES DE APRENDIZAJE BUSCANDO BRINDAR DESCANSOS SALUDABLES**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

AUTOR:

Jorge Armando Ramírez Castillo

ASESOR:

Juan Manuel Chau Delgado

Lima, Agosto, 2021



© 2020, JORGE ARMANDO RAMÍREZ CASTILLO

Se autoriza la reproducción total o parcial,
con fines académicos a través de cualquier
medio o procedimiento, incluyendo la cita
bibliográfica del documento.

Resumen

En la actualidad, se ha vuelto común que los estudiantes realicen actividades académicas durante largas horas sin tomar descansos, lo que los lleva a agotarse mentalmente y mermar su capacidad para aprender de manera efectiva. Debido a los cortos tiempos que tienen disponibles para prepararse algún alimento nutritivo, adquieren hábitos erróneos de alimentación en su día a día, comprometiendo a la vez su aprendizaje. Por esta razón, resulta importante conocer los momentos en que el rendimiento cognitivo es deficiente, para así dejar de realizar una actividad académica y tomar un descanso saludable, teniendo un periodo de desconexión total.

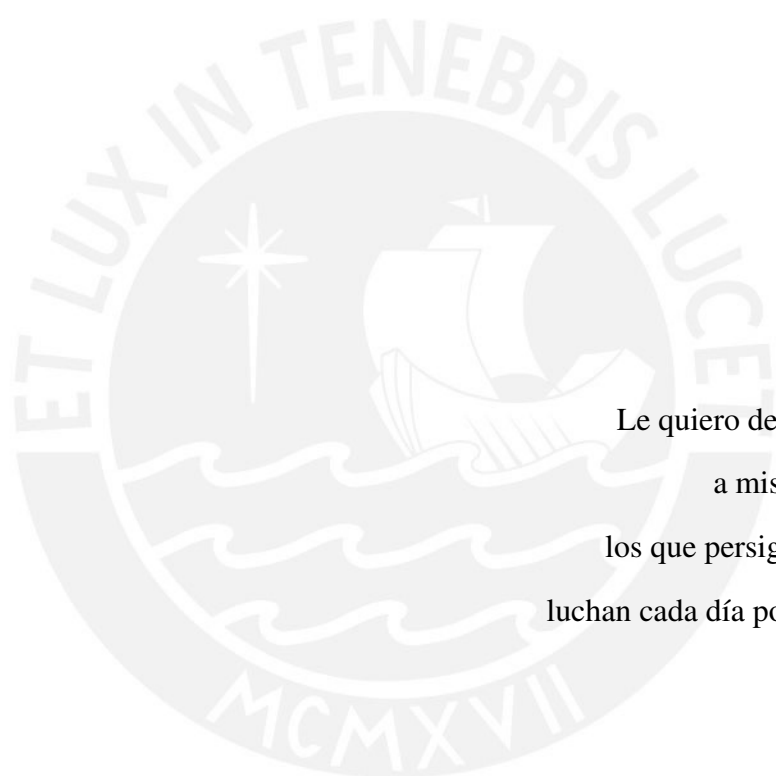
El presente trabajo, propone entonces el diseño de una máquina automática de cocción de granos de maíz basada en un sistema de aire caliente, la cual opera sin requerir la supervisión del usuario; y su sistema de activación mediante una Interfaz cerebro-computador (BCI), la cual detecta el momento previo a un bajo rendimiento cognitivo durante sesiones de estudio para brindar un descanso saludable mediante la preparación de un alimento nutritivo de tal manera que el usuario pasará a recoger el alimento una vez que esté listo, dependiendo si se detecta un bajo rendimiento cognitivo o no.

Para evaluar el desempeño cognitivo de las personas y realizar la activación de la máquina, se consideró el desarrollo de un método para evaluar las tendencias de tres estados mentales: atención, fatiga mental y estrés como los más representativos, en diferentes conjuntos de datos, el primero en experimentos en simuladores de manejo monótonos, y el segundo grabado con el dispositivo EEG g.Nautilus Pro durante sesiones de estudio específicamente para validar el método propuesto. Durante los primeros cinco minutos, que corresponden al periodo de calibración, se calculó un *baseline*, que permita re-referenciar los estados mentales asociados a dicha sesión, antes de aplicar un conjunto de reglas para enviar la señal de advertencia al usuario y producir la activación e indicándole cuando se haya terminado con el proceso de preparación para que se levante a recoger el alimento y descansar.

Los resultados obtenidos para 62 sesiones dentro de un simulador de manejo monótono, cuya duración promedio por sesión fue de 78.5 ± 22.4 minutos, y con un momento de detección

promedio a los 35.3 ± 18.9 minutos; y para 3 sesiones de estudio, con una duración promedio por sesión de 27.5 ± 5 minutos y con un tiempo de detección promedio de 11.5 ± 2.2 confirman la evidencia de que las actividades que demandan una carga cognitiva no pueden realizarse en periodos prolongados, ya que el rendimiento cognitivo no es constante, por lo que brindar un descanso para desconectarse resulta importante para recuperarse y volver con motivación para continuar con la actividad.





Le quiero dedicar este trabajo
a mis padres y a todos
los que persiguen sus sueños y
luchan cada día por conseguirlos...

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi asesor Juan Manuel Chau Delgado, por compartir sus conocimientos, ser guía en la realización del presente trabajo e inspirarme para involucrarme en el campo de las Interfaces cerebro-computador (BCI). También quiero agradecer a cada uno de los profesores que me enseñaron en la Facultad de Ciencias e Ingeniería por sus valiosas lecciones tanto en lo académico como en lo personal. Finalmente, un agradecimiento al Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA), por brindar el equipo g.Nautilus y el ambiente para la realización del presente trabajo.



Índice general

Resumen		i
Agradecimientos		iv
1. Introducción		1
1.1. Descripción de la problemática		2
1.2. Propuesta de solución		4
1.3. Objetivos de la tesis		5
1.3.1. Objetivo general		5
1.3.2. Objetivos específicos		5
2. Antecedentes		6
2.1. Estados mentales empleados en el presente estudio		6
2.2. Descripción de los canales EEG y su importancia para la extracción de señales .		10
2.3. Bandas de frecuencia de interés		11
2.4. Métodos para la representación de los estados mentales		11
2.4.1. Métodos para representar el estado de atención		11
2.4.2. Métodos para representar el estado de fatiga mental		13
2.4.3. Métodos empleados para representar el estrés		14
3. Diseño del sistema mecatrónico integrado		15
3.1. Descripción del sistema mecatrónico integrado		15
3.1.1. Diagrama de operaciones para el usuario del sistema mecatrónico . . .		16
3.1.2. Descripción de la máquina Automática de cocción de granos de maíz .		17
3.1.3. Arquitectura de hardware de la máquina de cocción de granos de maíz .		22
3.1.4. Selección de la fuente de energía para la máquina de cocción de granos de maíz		23

3.1.5.	Selección de procesos de fabricación y materiales	24
3.2.	Subsistema de carga de granos	27
3.2.1.	Componentes mecánicos del subsistema	27
3.2.2.	Selección de sensores	27
3.2.3.	Selección de actuadores	28
3.3.	Subsistema de preparación	29
3.3.1.	Componentes mecánicos del subsistema	29
3.3.2.	Selección de sensores	30
3.3.3.	Selección de actuadores	31
3.4.	Subsistema de descarga de granos	33
3.4.1.	Componentes mecánicos del subsistema	33
3.4.2.	Selección de sensores	34
3.5.	Diseño de control de la máquina automática de cocción de granos de maíz	34
3.5.1.	Diagramas de flujo de la máquina de cocción de granos de maíz	34
3.5.2.	Control de temperatura del recipiente de preparación	37
3.5.3.	Control de carga de granos	38
3.5.4.	Control de descarga de granos	38
3.5.5.	Selección de software para programación de la máquina	39
3.5.6.	Selección del controlador	39
3.6.	Selección de la interfaz de usuario de la máquina	41
3.7.	Subsistema de activación de la máquina de cocción de granos de maíz	41
3.7.1.	Comunicación con la máquina automática	42
3.8.	Lista de planos de la máquina automática de cocción de granos de maíz	42
3.9.	Diagramas esquemáticos de los circuitos de la máquina automática de cocción de granos de maíz	43
4.	Diseño de la Interfaz Cerebro-Computador	49
4.1.	Adquisición de datos	50
4.1.1.	Conjunto de datos 1: Experimentos realizados por Zehong Cao	50
4.1.2.	Conjunto de datos 2: Experimentos con el equipo <i>g.Nautilus</i>	51

4.1.3.	Dispositivo empleado para procesamiento y adquisición de datos	51
4.2.	Pre-procesamiento de señales EEG	52
4.3.	Procesamiento de las señales	53
4.4.	Representación de los estados mentales de Atención, Fatiga y Estrés	54
4.5.	Calibración para establecer el <i>baseline</i> para los estados mentales	55
4.6.	Desarrollo del algoritmo para la detección de caída de rendimiento cognitivo	55
4.7.	Implementación del algoritmo para detección de caída de rendimiento cognitivo	57
4.8.	Configuración experimental con el equipo g.Nautilus	58
4.8.1.	Grabaciones del experimento fuera de línea	58
4.8.2.	Grabaciones del experimento en línea	59
4.8.3.	Entorno de operación del sistema	59
4.8.4.	Prototipos y pruebas del sistema	60
5.	Resultados de la detección de estados mentales	63
5.1.	Evaluación de índices para la detección de estados mentales	63
5.1.1.	Conjunto de datos 1	64
5.1.2.	Conjunto de datos 2	66
5.2.	Análisis de las tendencias de los estados mentales	68
5.2.1.	Conjunto de datos 1	68
5.2.2.	Conjunto de datos 2	72
5.3.	Detección de los periodos de bajo rendimiento	73
6.	Costos del sistema integrado	75
6.1.	Costos del dominio mecánico	75
6.1.1.	Costo de componentes mecánicos	75
6.1.2.	Costos de manufactura	76
6.2.	Costos del dominio electrónico	78
6.3.	Costos de diseño	78
6.4.	Costos de programación	79
6.5.	Costos de prototipos	79

6.6. Costo total del sistema mecatrónico	79
6.6.1. Costo total de la máquina automática de cocción de granos de maíz . . .	80
6.6.2. Costo total de la Interfaz Cerebro-computador (BCI)	80
Conclusiones	81
Recomendaciones	83
Referencias	84



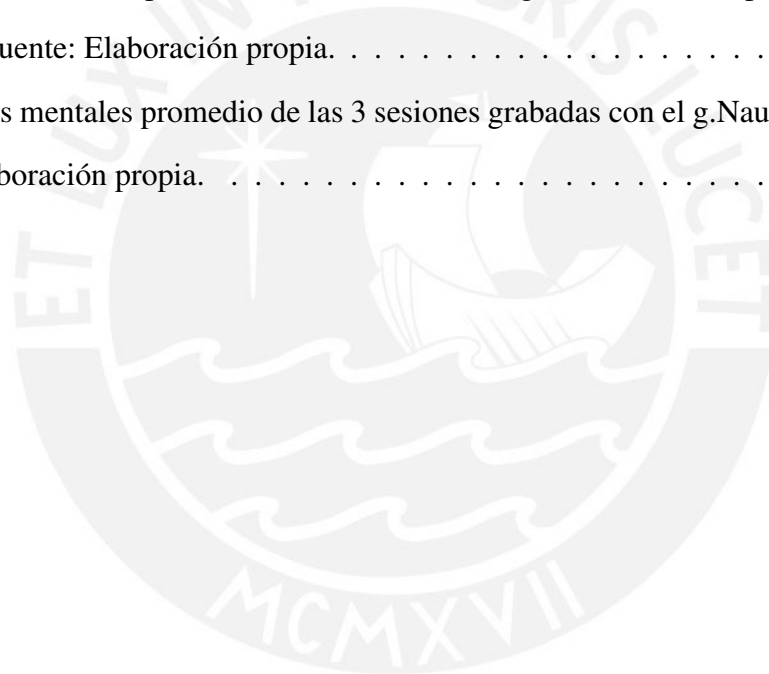
Índice de figuras

1.1. Número de horas de estudio y descansos por día. Fuente: Elaboración propia.	3
1.2. Preferencias de actividades durante los tiempos de descanso. Fuente: Elaboración propia.	3
2.1. Gráficos para representar el rendimiento de los estudiantes durante sesiones de estudio. Fuente: Extraído de (Bligh, 1998).	7
2.2. Ley de Yerkes y Dodson para representar el estado de carga cognitiva y el rendimiento. Fuente: Extraído de (Babilonio, 2019).	8
2.3. Fases del estrés de acuerdo a Hans Selye. Fuente: Extraído de (Sely, 1976).	9
2.4. Canales EEG empleados en el estudio. Fuente: Extraído de (Blanco-Díaz y Ruiz-Olaya, 2019).	10
3.1. Esquema del diagrama de funcionamiento del Sistema Mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.	16
3.2. Diagrama de operaciones del proceso realizado por el usuario. Fuente: Elaboración propia.	17
3.3. Vistas principales de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	18
3.4. Subsistemas que conforman la máquina. Fuente: Elaboración propia.	18
3.5. Componentes y mecanismos del subsistema de carga de granos. Fuente: Elaboración propia.	19
3.6. Componentes internos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	20
3.7. Elementos externos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	20
3.8. Componentes del subsistema de descarga de granos. Fuente: Elaboración propia.	21
3.9. Componentes mecánicos del subsistema de energía. Fuente: Elaboración propia.	21
3.10. Arquitectura de hardware del sistema. Fuente: Elaboración propia.	22
3.11. Componentes mecánicos del subsistema dosificador. Fuente: Elaboración propia.	27

3.12. Componentes mecánicos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	30
3.13. Componentes mecánicos del subsistema de descarga de granos. Fuente: Elaboración propia.	33
3.14. Diagrama de flujo principal de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	35
3.15. Diagrama de control de temperatura. Fuente: Elaboración propia.	38
3.16. Diagrama de control del proceso de carga. Fuente: Elaboración propia.	38
3.17. Diagrama de control del proceso de descarga. Fuente: Elaboración propia.	39
3.18. Diagrama de flujo para la detección de caída de rendimiento cognitivo. Fuente: Elaboración propia.	42
3.19. Diagrama electrónico de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.	44
3.20. Diagrama de conexiones del microcontrolador. Fuente: Elaboración propia.	44
3.21. Conexiones del sensor de ultrasonido HC-SR04. Fuente: Elaboración propia.	45
3.22. Conexiones del sensor de temperatura PT100 y el transmisor MAX6675. Fuente: Elaboración propia.	45
3.23. Circuito divisor de voltaje (12V a 5V). Fuente: Elaboración propia.	45
3.24. Conexiones del módulo WIFI ESP-01. Fuente: Elaboración propia.	46
3.25. Circuito de pines de 5V para alimentación de componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia.	46
3.26. Conexiones de la pantalla LCD ILI9225 de 2". Fuente: Elaboración propia.	46
3.27. Circuito de conexión del ventilador DC de 5V. Fuente: Elaboración propia.	47
3.28. Circuito de conexión del servomotor MG996R. Fuente: Elaboración propia.	47
3.29. Conexiones de los sensores de fin de carrera. Fuente: Elaboración propia.	47
3.30. Conexiones de alimentación y de la bobina eléctrica con el módulo Dimmer AC. Fuente: Elaboración propia.	48
4.1. (a) Diseño del experimento y comportamiento de las señales EEG. (b) Simulador de manejo basado en realidad virtual. Fuente: Extraído de: (Cao, Chuang, King, y Lin, 2019)	51

4.2.	Canales empleados de acuerdo al sistema 10/20. Fuente: Elaboración propia. . .	52
4.3.	Diagrama de flujo de la extracción de características. Fuente: Elaboración propia.	53
4.4.	Diagrama de flujo del proceso de detección. Fuente: Elaboración propia.	56
4.5.	Detección de los momentos de bajo rendimiento cognitivo para el sujeto 1 durante la sesión 3. Fuente: Elaboración propia.	57
4.6.	Línea de tiempo del experimento fuera de línea. Fuente: Elaboración propia. . .	58
4.7.	Línea de tiempo para una sesión del experimento. Fuente: Elaboración propia. .	59
4.8.	Entorno de operación del sistema. Fuente: Elaboración propia.	60
4.9.	Diagrama de funcionamiento del prototipo. Fuente: Elaboración propia.	60
4.10.	Entorno de operación del prototipo. Fuente: Elaboración propia.	61
4.11.	Interfaz gráfica para dar inicio al programa. Fuente: Elaboración propia.	61
4.12.	Sección 1 del programa de Simulink. Fuente: Elaboración propia.	62
4.13.	Sección 2 del programa de Simulink. Fuente: Elaboración propia.	62
4.14.	Interfaz gráfica para mostrar activación de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	62
5.1.	Gráficas de los métodos para analizar el estado de atención del sujeto 41. Fuente: Elaboración propia.	64
5.2.	Gráficas de los métodos para analizar el estado de atención del sujeto 43. Fuente: Elaboración propia.	64
5.3.	Gráficas de los métodos para analizar el estado de fatiga del sujeto 41. Fuente: Elaboración propia.	65
5.4.	Gráficas de los métodos para analizar el estado de fatiga del sujeto 43. Fuente: Elaboración propia.	65
5.5.	Gráficas del método para analizar el estado de estrés de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	66
5.6.	Gráficas del método para analizar el estado de estrés de los sujetos 4 y 5. Fuente: Elaboración propia.	66
5.7.	Gráficas para el estado de atención de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	67

5.8. Gráficas para el estado de fatiga de los sujetos 1 y 2 en distintas sesiones. Fuente: Elaboración propia.	67
5.9. Gráficas para el estado de estrés de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	68
5.10. Comparación del método β/α en el sujeto 11 con el índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.	69
5.11. Comparación del método $(\theta+\alpha) / \beta$ para la fatiga en el sujeto 5 con el índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.	70
5.12. Comparación del método de asimetría frontal para el estrés en el sujeto 15 respecto al índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.	71
5.13. Estados mentales promedio de las 62 sesiones grabadas en el experimento de Cao. Fuente: Elaboración propia.	72
5.14. Estados mentales promedio de las 3 sesiones grabadas con el g.Nautilus. Fuente: Elaboración propia.	73



Índice de tablas

3.1. Cálculo de potencia para cada componente del dominio electrónico. Fuente: Elaboración propia.	23
3.2. Comparación de 3 tipos de fuentes de alimentación para energizar el sistema. Fuente: Elaboración propia.	24
3.3. Tabla comparativa para seleccionar los materiales de fabricación del cuerpo de la máquina, ganchos de sujeción, subsistema dosificador, caja de circuitos y tapa de protección. Fuente: Extraído de (Universitat de Barcelona, 2019)	25
3.4. Tabla comparativa para seleccionar los materiales de fabricación para el reci- piente interno y el cuerpo del subsistema de preparación. Fuente: Extraído de (Universitat de Barcelona, 2019)	26
3.5. Comparación de sensores de fin de carrera disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.	28
3.6. Comparación de tres servomotores disponibles en el mercado. Fuente: Elabo- ración propia.	29
3.7. Comparación de sensores de temperatura para el subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	30
3.8. Comparación de transmisores de temperatura disponibles en el mercado. Fuen- te: Elaboración propia.	31
3.9. Comparación de tres distintos ventiladores de corriente directa para subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	32
3.10. Selección del elemento calentador para el subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.	32
3.11. Selección de driver para el control de cargas de corriente alterna (AC). Fuente: Elaboración propia.	33
3.12. Comparación de sensores de ultrasonido para el subsistema de descarga. Fuen- te: Elaboración propia.	34

3.13. Comparación entre lenguajes de programación para elaborar los algoritmos de control y automatización del proceso. Fuente: Elaboración propia.	39
3.14. Variables de entrada y salida de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.	40
3.15. Comparación de microcontroladores disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.	40
3.16. Comparación de 3 tipos de interfaz gráfica para la máquina. Fuente: Elaboración propia.	41
3.17. Características representativas del módulo WIFI ESP8266EX. Fuente: Elaboración propia.	41
3.18. Lista de planos de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.	43
4.1. Especificaciones de la computadora empleada para el análisis de las señales EEG. Fuente: Elaboración propia.	52
5.1. Resumen de los resultados para la detección del bajo rendimiento de los usuarios. Fuente: Elaboración propia.	74
6.1. Costos del sistema mecánico del sistema. Fuente: Elaboración propia.	76
6.2. Lista de los costos de componentes que conforman el dominio electrónico de la máquina. Fuente: Elaboración propia.	77
6.3. Lista de los costos de componentes pertenecientes al dominio mecánico. Fuente: Elaboración propia.	78
6.4. Lista de los costos de fabricación de prototipos. Fuente: Elaboración propia. . .	79
6.5. Costos totales de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.	80
6.6. Costos totales de la interfaz cerebro-computador. Fuente: Elaboración propia. .	80
6.7. Costos totales del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.	80



Capítulo 1

Introducción

El rápido flujo de información que experimentan los estudiantes dentro de la universidad los debería obligar a tomar medidas adecuadas, tanto para una eficiente gestión del tiempo, como para adoptar técnicas o métodos que les permitan agilizar y hacer efectivo el proceso de aprendizaje durante las horas de estudio que planifiquen a la semana, considerando dentro de estas los momentos para alimentarse y tomar descansos de manera adecuada.

En años recientes, las Interfaces cerebro-computador (BCI) basadas en señales electroencefalográficas (EEG), han tomado una gran relevancia por ser un sistema capaz de monitorear la actividad cerebral de las personas de manera no invasiva para realizar acciones de control en dispositivos periféricos.

La presente tesis se enfocará en el desarrollo de un sistema que detectará el momento previo a una caída de rendimiento en un estudiante durante una sesión de aprendizaje, para advertirle que debe tomar un descanso, activando una máquina que cocinará de manera automática granos de maíz, un alimento ligero y saludable, el cual será consumido en el periodo de descanso de dicha sesión, ahorrándole el tiempo que se tardaría en prepararlo, convirtiéndose

este en un descanso efectivo.

1.1. Descripción de la problemática

Conocer los periodos en que el rendimiento cognitivo está decayendo, resulta vital para evitar agotarse mentalmente y mejorar la capacidad para aprender; sin embargo, muchos de los estudiantes realizan sus actividades académicas durante largas horas, y en los momentos de descanso, por la inmediatez, consumen alimentos poco saludables, pues no tienen ganas de preparar sus propios alimentos o a veces no cuentan con el tiempo suficiente para hacerlo (Sogari, Velez-Argumedo, Gómez, y Mora, 2018). Por este motivo, resulta esencial conocer el momento oportuno para dejar de realizar la actividad académica y tomar descansos efectivos, además de aprovechar para proceder con una alimentación saludable, teniendo un periodo de desconexión total de lo que estaba haciendo, ya que, como mencionaron Bannai y Tamakoshi, el rendimiento mental de un ser humano no es constante todo el tiempo (Bannai y Tamakoshi, 2014).

Un bajo rendimiento mental se traduce en que los estudiantes experimenten fatiga mental, se distraigan con facilidad, cometan errores absurdos, experimenten ansiedad y estrés, o simplemente pospongan lo que están haciendo. Se ha demostrado que invertir largas horas en realizar una actividad que demande una carga cognitiva sin descansar adecuadamente, esforzando a la mente más allá de sus límites, conduce a una caída de rendimiento cognitivo (Carmichael, 2015). En ese sentido, en una investigación previa (Ramírez, 2020), se realizó una encuesta sobre los hábitos durante sesiones de estudio a 30 alumnos de carreras de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú. En la Figura 1-1 (a), se tiene que los estudiantes, en su mayoría, dedican más de 4 horas a estudiar al día, lo cual muestra que esta actividad ocupa gran parte de su jornada diaria. Seguidamente, en la Figura 1-1 (b), se aprecia que el 36.7 % de estos estudiantes tiene de 3 a más periodos de descansos durante estas horas de estudio. Esto refleja la importancia del descanso para poder continuar con sus actividades académicas. Finalmente, en lo que corresponde a la Figura 1-2, se puede observar que el 73.3 % de estudiantes encuestados indican que prefieren usar sus teléfonos celulares en los periodos de descanso, lo que es un indicador de que los periodos de descanso no están siendo efectivos. Por otro lado,

los que prefieren comer algún alimento representan el 43.3 %, demostrando la importancia de la alimentación, aunque esto no necesariamente significa que lo hagan de manera saludable.

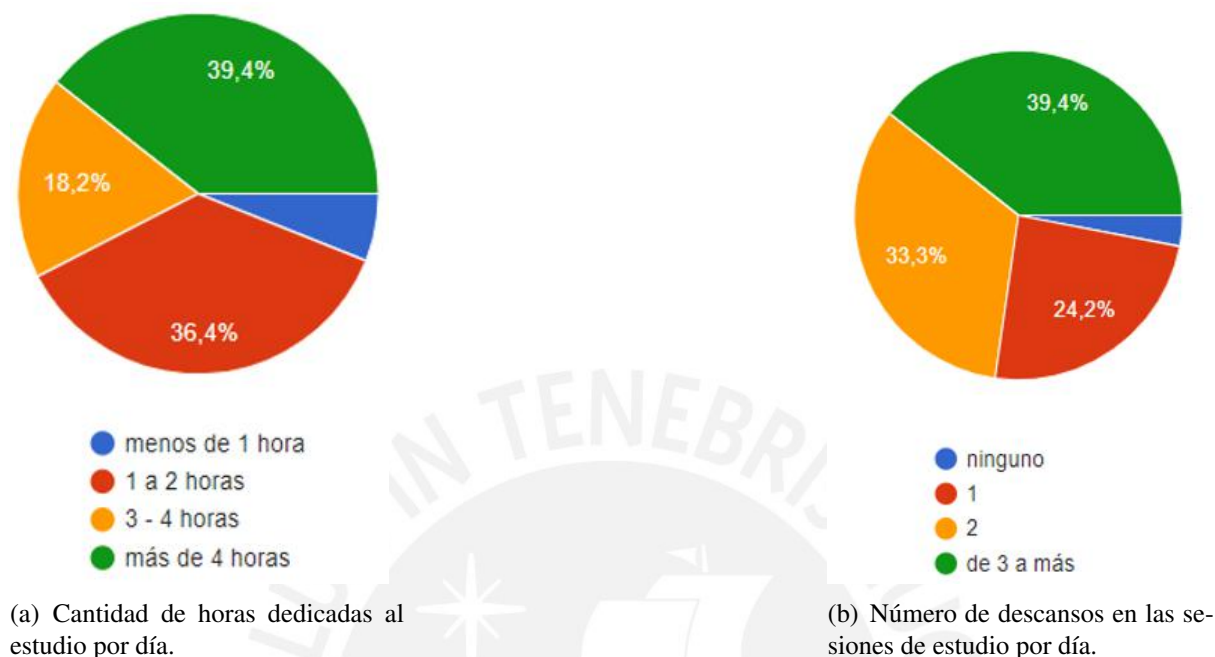


Figura 1.1: Número de horas de estudio y descansos por día. Fuente: Elaboración propia.

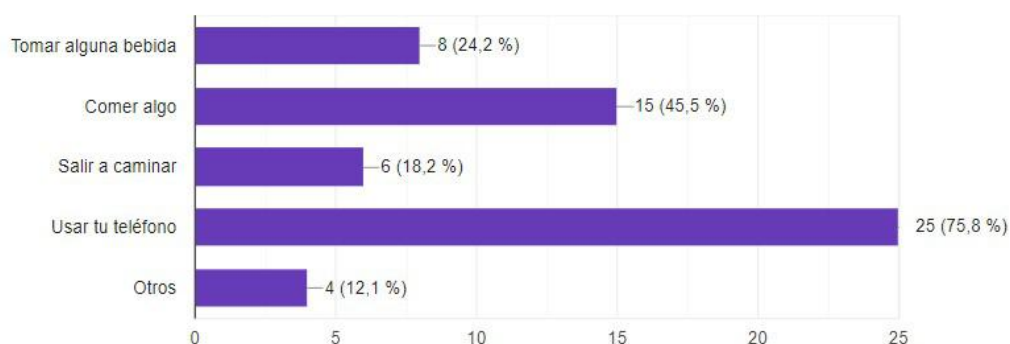


Figura 1.2: Preferencias de actividades durante los tiempos de descanso. Fuente: Elaboración propia.

Por esto motivo, conocer el momento en que el rendimiento ya no es óptimo, para tomar un descanso comiendo un alimento nutritivo que se prepare de manera automática, que ahorre tiempo para permitir verdaderamente a los estudiantes desconectarse de la actividad académica y regresar con mayor energía, es vital para no afectar su salud y continuar con el proceso de aprendizaje. Los estudiantes deben ser conscientes de la importancia que tienen los hábitos nutricionales para alcanzar el éxito académico. Un estudio realizado por Abraham y Noriega, mostró que si estos no se alimentan y relajan correctamente en los momentos disponibles de

descanso, no podrán regresar con la misma motivación y capacidad cognitiva para continuar con la actividad (Abraham, Noriega, y Shin, 2018).

En la actualidad, no existe una tecnología que combine la integración de la detección del momento de la caída de desempeño de un estudiante para activar una máquina que prepare un alimento provechoso de manera automática, para que, cuando tomen un tiempo de descanso, simplemente tengan que pasar a recogerlo y olvidarse del tiempo de preparación, aprovechando los cortos periodos de tiempo que tienen disponibles y usarlos para realizar otro tipo de actividades, evitando fatigarse mentalmente y aumentando su productividad.

1.2. Propuesta de solución

Frente a la problemática descrita en el acápite anterior, se propone el desarrollo de un sistema compuesto por una máquina personal automática de cocción de granos de maíz y su sistema de activación por medio de una BCI que detecta el momento previo a la caída de rendimiento de un estudiante, avisándole que tiene que tomar un descanso, de tal manera que el estudiante pueda ahorrar el tiempo que se tarda en preparar un alimento nutritivo durante este periodo, y no tenga que preocuparse por el proceso de preparación, teniendo un descanso fructífero.

La máquina operará sin necesidad que el estudiante supervise el proceso de preparación, cocinando granos de maíz, un alimento ligero y saludable. Un estudio realizado por Michael Coco Jr. y Joe Vinson, dos miembros del Departamento de Química de la Universidad de Scranton, demostró que este es un alimento que contiene alto nivel de fibra y polifenoles, una sustancia antioxidante que ayuda a promover las funciones cerebrales (Coco y Vinson, 2019). Se ha demostrado que los polifenoles favorecen procesos cognitivos y de memorización, pues potencian el nacimiento de nuevas neuronas (Scholey, 2018).

Asimismo, las señales electroencefalográficas (EEG) adquiridas serán decodificadas y analizadas a través de un software que permite realizar el procesamiento de señales, Matlab R2019b, para detectar el momento previo a una caída de rendimiento y darle a conocer al usuario que necesita tomar un descanso. Es importante definir una escala relativa para el usuario de acuerdo a los 5 minutos previos de la sesión para compararlo con los valores de estados

mentales leídos en adelante, teniendo así mayor precisión en la detección de este momento y haciéndola adaptable a la sesión presente.

1.3. Objetivos de la tesis

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una máquina automática de cocción de granos de maíz y su correspondiente activación a través de una Interfaz cerebro-computador (BCI) que detecta el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo durante sesiones de estudio y permite al usuario tomar descansos saludables.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar una máquina automática de uso personal de granos de maíz, considerando los diagramas de flujo de los algoritmos de programación y de control, los materiales, procesos de fabricación, planos eléctricos y mecánicos.
- Desarrollar el algoritmo de detección de periodos de bajo rendimiento para una BCI, partiendo del análisis de las señales provenientes del casco *g.Nautilus* para representar los estados mentales de atención, fatiga y estrés.
- Implementar un prototipo básico funcional del sistema con una máquina ya existente para mostrar el funcionamiento del método de detección diseñado.
- Elaborar las listas de costos vinculados al diseño, manufactura, programación, prototipado y componentes empleados.

Capítulo 2

Antecedentes

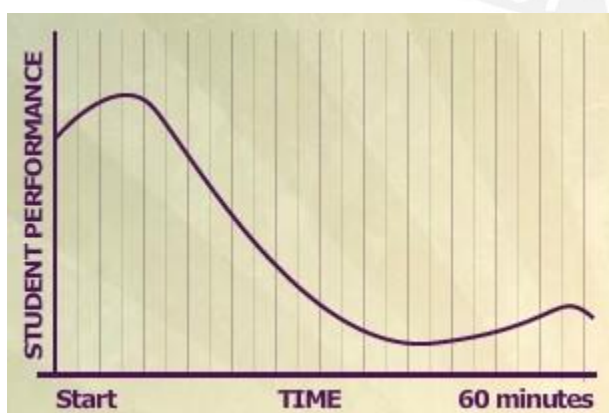
En el presente capítulo serán descritos los estados mentales analizados en el presente estudio, las funcionalidades de los distintos canales que emplea un dispositivo EEG, dependiendo de su ubicación sobre la cabeza de un usuario, las bandas de frecuencia de interés considerada para realizar el análisis de los estados mentales y los diversos índices neurofisiológicos que permiten generar una representación de los mismos.

2.1. Estados mentales empleados en el presente estudio

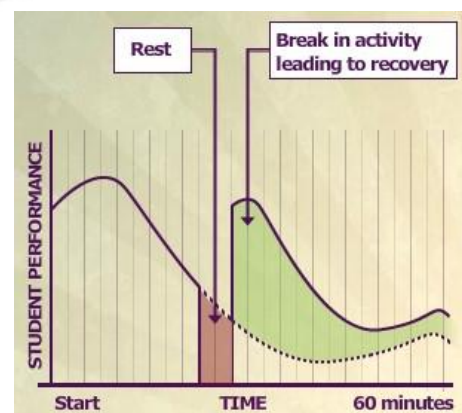
Durante cada momento de sus vidas, los humanos pasan por diversos estados mentales. Estos pueden estar vinculados a las emociones, procesos cognitivos, percepciones, entre otras y varían dependiendo del contexto en el que se encuentre la persona. Es así que la mente humana puede tener distintas tendencias, las cuales conforman el estado actual (Goldman, 2006). De acuerdo a la psicología cognitiva, la palabra "mentalidad" describe una configuración de los recursos de procesamiento disponibles para ser utilizados en una tarea. El estado de la mente es, entonces, una construcción dinámica que puede variar dependiendo de las circunstancias y

verse afectada las dimensiones cognitiva, conductual y emocional (Herz, Baror, y Bar, 2020). Comprender cómo funcionan estos estados es esencial para reconocer cómo se está sintiendo la persona. La presente investigación se centrará en la dimensión cognitiva de la mente, tomando en consideración tres estados mentales: atención, fatiga y estrés.

Respecto a la atención, esta se presenta cuando el sujeto permanece enfocado y concentrado en la tarea que está realizando durante un periodo prolongado de tiempo. Según estudios previos, esta permite pronosticar la capacidad de comprensión lectora de las personas (Rabiner, Coie, y Group, 2000), las habilidades para aprender un lenguaje (Ebert y Kohnert, 2011) o la competencia numérica (Anobile, Stievano, y Burr, 2013). Los niveles de atención se reducen cuando los sujetos se encuentran expuestos a eventos predecibles o monótonos y que proporcionan poca estimulación cognitiva. La atención suele fluctuar durante tareas monótonas y representa un problema cuando empieza a decrecer hasta llegar a un estado denominado hipovigilancia. Las personas no pueden mantener el nivel de atención constante durante tiempo prolongados al realizar tareas como estudiar, leer, manejar o escribir (Mackworth, 1948)(Ko, Komarov, Hairston, Jung, y Lin, 2017). Un ejemplo del comportamiento del estado de atención se aprecia en la Figura 2.1, donde generalmente al inicio de las sesiones de aprendizaje se presentan bajos niveles de atención, con un incremento hacia la etapa intermedia, y luego nuevamente un descenso del mismo hasta el final (Bligh, 1998).



(a) Rendimiento de los estudiantes en el tiempo.



(b) Rendimiento de estudiantes cuando se producen descansos.

Figura 2.1: Gráficos para representar el rendimiento de los estudiantes durante sesiones de estudio. Fuente: Extraído de (Bligh, 1998).

La fatiga mental aparece cuando la persona se encuentra realizando una tarea que demanda una alta carga cognitiva o que es monótona y repetitiva, alcanzando el límite de su capacidad para procesar la información, lo cual afecta la habilidad para continuar con la actividad en ejecución, provocando distracción, frustración y desconformidad (Taylor y Dorn, 2006)(Boksem, Meijman, y Lorist, 2005). Un estudio realizado por Zizheng Guo acerca de los efectos de la fatiga durante una tarea monótona de atención visual, demostró que esta tiene una tendencia a aumentar con el tiempo (Guo, Chen, Zhang, Pan, y Wu, 2016). Por otro lado, un experimento realizado en un simulador de manejo para medir los niveles de fatiga de conductores durante largas horas demostró que esta es acumulativa en el tiempo, sin embargo, los participantes continuaron realizando la actividad pese a tener fatiga acumulada, realizando un mayor esfuerzo para prestar atención y por tanto agotándose mucho más (Chuang et al., 2018).

El mayor síntoma de la fatiga es el cansancio permanente, una sensación de inhibición y actividad disminuida (Marcora, Staiano, y Manning, 2009). En la Figura 2.2 se ilustra la relación entre la carga cognitiva y el rendimiento de una persona, basado en la Ley de Yerkes y Dodson (Babiloni, 2019), la cual muestra que un periodo de inactividad o de baja estimulación puede provocar un estado de monotonía y aburrimiento con bajos niveles de atención y vigilia. Por otro lado, realizar múltiples tareas y no enfocarse en una sola actividad conduce a altos niveles de sobrecarga cognitiva.

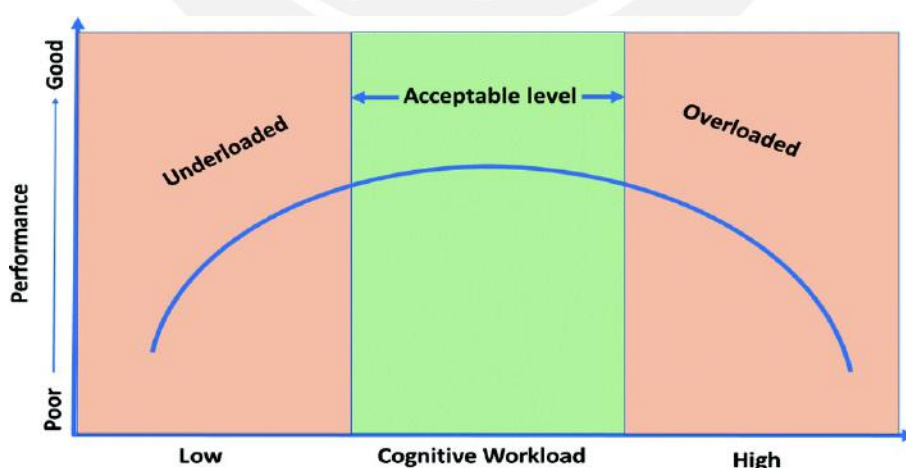


Figura 2.2: Ley de Yerkes y Dodson para representar el estado de carga cognitiva y el rendimiento. Fuente: Extraído de (Babiloni, 2019).

Por último se tiene el estado mental de estrés, el cual afecta el rendimiento de la persona y es reconocido como el principal causante de desórdenes mentales crónicos, pérdida de

productividad y rendimiento cognitivo. Por ejemplo, si se toma el caso del estrés académico, este se manifiesta en los estudiantes cuando no pueden retener la información que reciben y su capacidad de aprendizaje se ve reducida, generándoles tensión y desgano por realizar las labores académicas (Berrío García y Mazo Zea, 2011). Si bien, algunos estudios han mostrado que el estrés puede ser beneficioso para el aprendizaje, este será únicamente bajo condiciones concretas, pero generalmente, daña la capacidad cognitiva (Joëls, Pu, Wiegert, Oitzl, y Krugers, 2006).

Para explicar este fenómeno existen diversas gráficas y métodos que se pueden tomar en consideración, como la ley de Yerkes y Dodson que se mostró para el caso de la fatiga mental. No obstante, también existe un modelo conocido como el Síndrome de Adaptación General (GAS, por sus siglas en inglés), propuesto por Hans Selye, el cual afirma que existen tres fases a las que se encuentra sometido un ser humano ante un estímulo estresor (Selye, 1976). Como se aprecia en la Figura 2.3, en primer lugar, se tiene la fase de alarma, en la cual el cuerpo es advertido de la situación y proporciona la energía para manejarla. En segundo lugar, se presenta la fase de resistencia. Durante esta fase, el cuerpo trata de adaptarse al estímulo estresor. El cuerpo está listo para responder a cualquier estímulo, pero con menos intensidad respecto a la etapa inicial. Por último, está la fase de agotamiento, en la cual el cuerpo ya no puede resistir y esto puede traer consecuencias negativas para el sujeto, no solo a nivel cognitivo sino también físico.

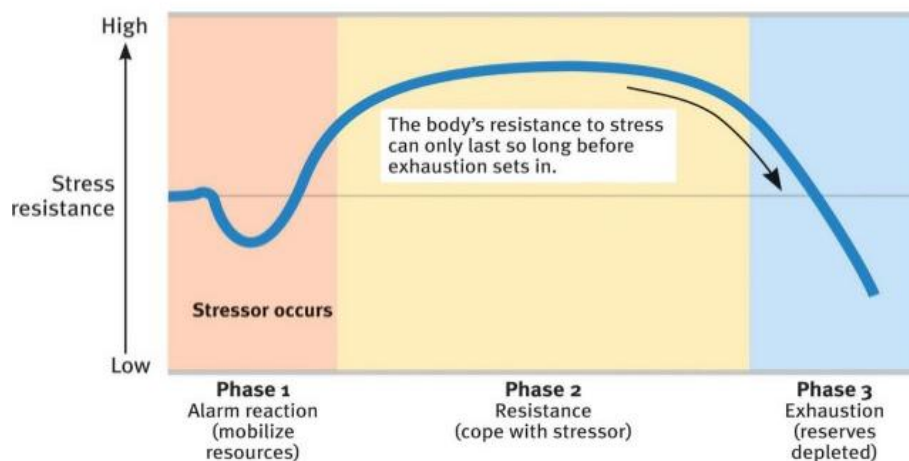


Figura 2.3: Fases del estrés de acuerdo a Hans Selye. Fuente: Extraído de (Selye, 1976).

2.2. Descripción de los canales EEG y su importancia para la extracción de señales

A lo largo de los años, las señales adquiridas por un EEG están siendo investigadas como una nueva forma de interacción humano-computadora, pues se ha encontrado que existen correlaciones entre estas señales y los estados mentales, significando en un nuevo método de control para manipular dispositivos externos. Estos dispositivos están compuesto por canales, los cuales corresponden a electrodos ubicados en distintas regiones de la cabeza. El cerebro está dividido en distintas zonas: frontal (F), temporal (T), parietal (P), occipital (O) y central (C). Si es que esta letra va acompañada de un número par, corresponde al lado derecho del cerebro, caso contrario, si lleva una letra impar, corresponde a la región izquierda. Esto se aprecia en la Figura 2-4, donde se encuentran las regiones descritas con los respectivos electrodos para el dispositivo *g.Nautilus*.

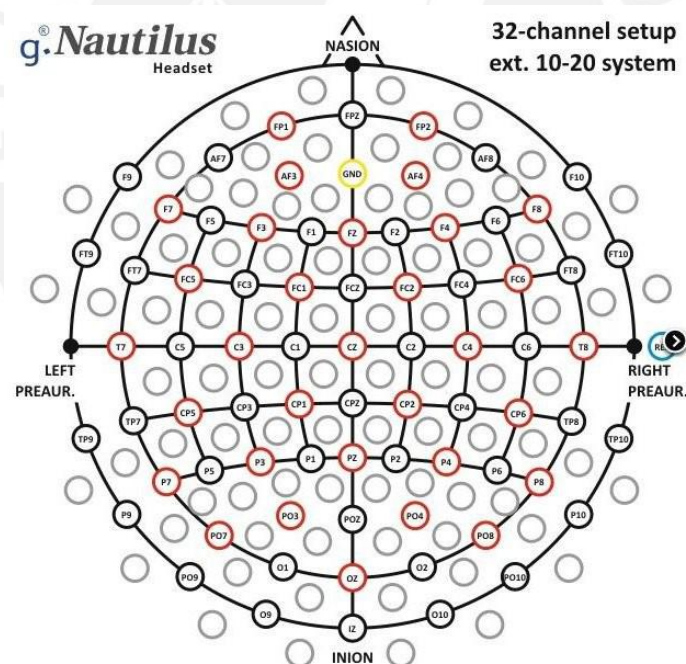


Figura 2.4: Canales EEG empleados en el estudio. Fuente: Extraído de (Blanco-Díaz y Ruiz-Olaya, 2019).

Dependiendo de la ubicación de los electrodos que se escojan para realizar un determinado análisis, se obtendrán resultados distintos. Se tiene el lóbulo frontal, del cual se ha encontrado que tiene relación con la producción del lenguaje, la memoria de trabajo, la función motora, la socialización y la espontaneidad. El lóbulo parietal está relacionado a la integración de la información sensorial y el procesamiento visual-espacial (Hathaway y Newton, 2019).

Seguidamente, el lóbulo temporal está vinculado a la comprensión, memoria verbal y funciones del lenguaje (Cheng y Hsu, 2011). Después, se encuentra el lóbulo occipital, encargado del procesamiento visual-espacial, distinción de colores y percepción del movimiento (Galetta, 2017). Finalmente, se tiene la sección central, que interactúa con los sistemas sensores (Cheng y Hsu, 2011).

2.3. Bandas de frecuencia de interés

Cuando se realiza un análisis con el EEG basado en el dominio de la frecuencia, se emplean bandas, las cuales aumentan o disminuyen su poder espectral dependiendo del estado mental en el que se encuentre una persona. Estas son: δ (*delta*, 2-4 Hz), θ (*theta*, 4-8 Hz), α (*alpha*, 8 -13 Hz), β (*beta*, 13- 30 Hz) y γ (*gamma*, 30- 50 Hz).

Generalmente, la banda *delta* está relacionada con actividades como el sueño profundo, despertarse y mantener la atención; la banda *theta*, con la somnolencia y estar en un estado de reposo; la banda *alpha* indica un estado de relajación sin atención; la banda *beta* permite caracterizar actividades como el pensamiento activo, la atención y concentración; y por último, la banda *gamma* está relacionada a percepción, atención, memoria, consciencia y control motor (Yang et al., 2020).

2.4. Métodos para la representación de los estados mentales

2.4.1. Métodos para representar el estado de atención

Cuando estas bandas de frecuencia se combinan, dan lugar a índices neurofisiológicos que permiten representar cualitativamente los estados mentales (Cheng, Lee, Shu, y Hsu, 2007). A continuación, se presentarán los diversos métodos que combinan las distintas bandas de frecuencia, considerados para representar cada uno de los estados mentales.

a) Índice β/α

El presente índice fue construido considerando que durante un proceso de atención, el poder en la banda β se incrementa (Pope, Bogart, y Bartolome, 1995). Por otro lado, el incremento de poder espectral en las bandas α y δ ocurre cuando existe una reducción en el proceso

de concentración y de alerta al realizar ciertas tareas cognitivamente demandantes (Andujar y Gilbert, 2013). En ese sentido, diversos estudios han aplicado este método para caracterizar y analizar el estado de atención sostenida o vigilancia. Por ejemplo, los realizados por Stefania Coelli para evaluar el desempeño de la atención sostenida de pacientes con lesión axonal difusa y para medir el nivel de afinidad con la actividad durante la atención sostenida, se encontró que esta métrica proporciona información valiosa acerca de este nivel de apego con la actividad, detectando los cambios que ocurren con los estados mentales y presentando una correlación con los tiempos de respuesta frente a determinados estímulos (Coelli et al., 2015) (Coelli, Barbieri, Reni, Zucca, y Bianchi, 2018).

b) Índice θ/γ

Este ratio ha demostrado resultados prometedores para predecir el rendimiento en tareas que requieren memorizar, teniendo un valor más alto cuando se obtienen mejores puntuaciones en las evaluaciones, implicando también tiempos de reacción (Kamiński, Brzezicka, y Wróbel, 2011). De acuerdo a un estudio realizado por Poltavski para evaluar este índice, aquellos sujetos que habían sufrido alguna conmoción cerebral presentaban una baja puntuación en este índice en comparación con aquellos que no tenían antecedentes (Poltavski, Bernhardt, Mark, y Biberdorf, 2019).

c) Índice β/θ

La presente métrica fue utilizada en un estudio realizado por Rodrak para determinar el estado de concentración en pacientes con TDAH en un sistema que proporcionaba *neuro-feedback* (Rodrak y Wongsawat, 2012). Otro estudio realizado por Perales reportó que en las fases de atención sostenida mientras los usuarios jugaban un videojuego, la banda α decrecía, mientras que la banda β incrementaba su poder espectral (Perales y Amengual, 2017). Investigaciones recientes muestran que este índice es prometedor para representar la capacidad de procesamiento cognitiva de las personas (Clarke, Barry, Karamacoska, y Johnstone, 2019).

d) Índice β/α

El presente índice fue evaluado previamente por Katahira y Yamazaki para evaluar la entrada en el estado de flujo y la atención sostenida de una persona durante la realización de una tarea matemática, quienes hallaron un alto incremento en el poder de la banda θ frontal y

un incremento moderado en la actividad α de las regiones frontal y occipital (Katahira et al., 2018).

Asimismo, estudios llevados a cabo por Lim, concluyeron que este índice es un indicador del estado de concentración e inmersión, pues aumentaba su valor cuando las personas entraban en un estado de atención sostenida (Lim, Yeo, y Yoon, 2019).

2.4.2. Métodos para representar el estado de fatiga mental

a) Índice $(\theta+\alpha)/\beta$

Eoh, utilizó este algoritmo como un indicador confiable para representar la fatiga, pues conforme este estado mental se acentuaba, también lo hacía el índice (Eoh, Chung, y Kim, 2005). Otro experimento realizado por Jap, puso a prueba esta métrica en usuarios que participaron en un simulador de manejo, encontrando que al decrecer los niveles de alerta, el poder en la banda β decrecía, lo que contribuía a que el valor del índice en conjunto se incremente notablemente (Jap, Lal, Fischer, y Bekiaris, 2009).

b) Índice θ/α

Diversos estudios han demostrado que cuando la persona experimenta una sobrecarga cognitiva, se produce un decrecimiento en el poder de la banda α y un aumento en el poder de la banda θ (Mecklinger, Kramer, y Strayer, 1992) (Capilla, Schoffelen, Paterson, Thut, y Gross, 2014) (Aricò, Borghini, Di Flumeri, Sciaraffa, y Babiloni, 2018). De la misma manera, este índice ha sido empleado por Cheng, demostrando que caracteriza de una manera confiable el nivel de fatiga mental de un usuario a lo largo de las diferentes etapas del experimento (Cheng y Hsu, 2011).

c) Índice θ/β

Investigaciones previas demostraron que se da un incremento en el poder de este ratio durante momentos de cansancio o sobrecarga cognitiva para actividades que se realizan durante largos periodos (Papadelis et al., 2007)(Nguyen, Ahn, Jang, Jun, y Kim, 2017) (Vuckovic, Radivojevic, Chen, y Popovic, 2002). Por otro lado, Rasmussen observó que durante la somnolencia se producía una reducción en la banda β (Rasmussen, Stie, Nybo, y Nielsen, 2004).

2.4.3. Métodos empleados para representar el estrés

a) Análisis de coherencia en las señales

Esta medida de coherencia se encarga de medir la similaridad entre dos señales. Corresponde a la densidad espectral cruzada entre ambas señales elevada al cuadrado y luego dividido entre el producto de la densidad espectral sobre x , G_{xx} , y la densidad espectral sobre y , G_{yy} , como se presenta en la Ecuación 2.1 (Giannakakis, Grigoriadis, y Tsiknakis, 2015). Una de las desventajas es que se debe elegir una muestra apropiada para analizar los datos porque, de lo contrario, se obtendrán resultados sesgados (Nolte et al., 2004).

$$Coherencia_{xy}(f) = \frac{G_{xy}^2}{G_{xx} * G_{yy}} \quad (2.1)$$

b) Asimetría frontal de la banda α

La asimetría frontal en la banda α ha demostrado ser un método confiable para representar el estrés (Giannakakis et al., 2015). Esta se calcula empleando el poder espectral de la banda α y restando ambos valores luego de aplicar un logaritmo natural, como se aprecia, por ejemplo, en la Ecuación 2.2. Para este cálculo se considera más conveniente emplear los canales F3-F4 o F7-F8, ya que los canales FP1-FP2 están contaminados con artefactos debido a parpadeos. Además, este cálculo debe realizarse en un par de electrodos simétricos entre los hemisferios central, parietal y occipital (Giannakakis et al., 2015).

$$\text{Índice de asimetría} = \log(\alpha(F8)) - \log(\alpha(F7)) \quad (2.2)$$

Capítulo 3

Diseño del sistema mecatrónico integrado

El presente capítulo presenta la descripción del sistema mecatrónico integrado. En los dos primeros subcapítulos se mostrará el diseño y proceso de funcionamiento del sistema, involucrando a la máquina automática de cocción de granos de maíz y la BCI. Desde el subcapítulo 3.3. hasta el 3.11., se presentarán los aspectos del diseño mecánico, electrónico y de control para la máquina automática de cocción de granos de maíz, cuyo diseño conceptual fue realizado en un trabajo de investigación previo (Ramírez, 2020). Esto contempla presentar el detalle de los respectivos subsistemas que conforman la máquina: activación, carga de granos, preparación, descarga, interfaz de usuario y alimentación, la selección de materiales y componentes, para cumplir con los requerimientos de funcionamiento. Asimismo, serán mostrados los diagramas electrónicos para la máquina y los planos mecánicos de ensamble y despiece.

3.1. Descripción del sistema mecatrónico integrado

El sistema propuesto se presenta en la Figura 3.1. Este consiste en una máquina de cocción de granos de maíz que se activará mediante una BCI, cuando esta última detecte el mo-

mento en que la persona, la cual porta un casco EEG *g.Nautilus* durante toda la sesión, necesite recibir un descanso, pues el desempeño en la actividad que está realizando está viéndose mermado.

Si se detecta que los estados mentales de la persona de atención, fatiga y estrés, de acuerdo a sus tendencias, no son adecuados dentro de los límites de tiempo establecidos, la BCI enviará una señal de activación, que será leída por un módulo WIFI conectado a un microcontrolador, para activar los sistemas de control de la máquina y empezar el proceso de preparación de los granos de maíz sin requerir la supervisión del usuario. De esta manera, cuando el sistema le informe al usuario que debe tomar un descanso, este recibirá un aviso y solo pasará a recoger el alimento.

La máquina de granos de maíz contiene componentes y una lógica de control que permite que el proceso de cocción se realice de manera automática, los cuales serán detallados en el subcapítulo 3.3.

3.1.1. Diagrama de operaciones para el usuario del sistema mecatrónico

El diagrama de operaciones de la máquina, como se aprecia en la Figura 3.2, contiene cada uno de los procesos que debe seguir el usuario para utilizar correctamente el sistema.

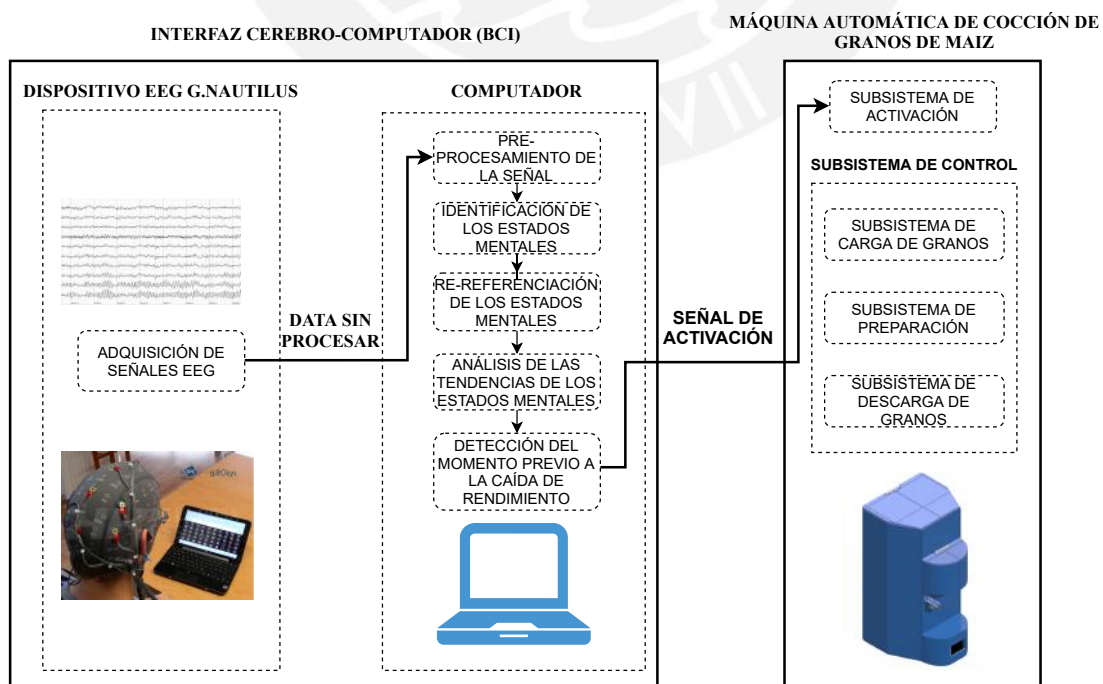


Figura 3.1: Esquema del diagrama de funcionamiento del Sistema Mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

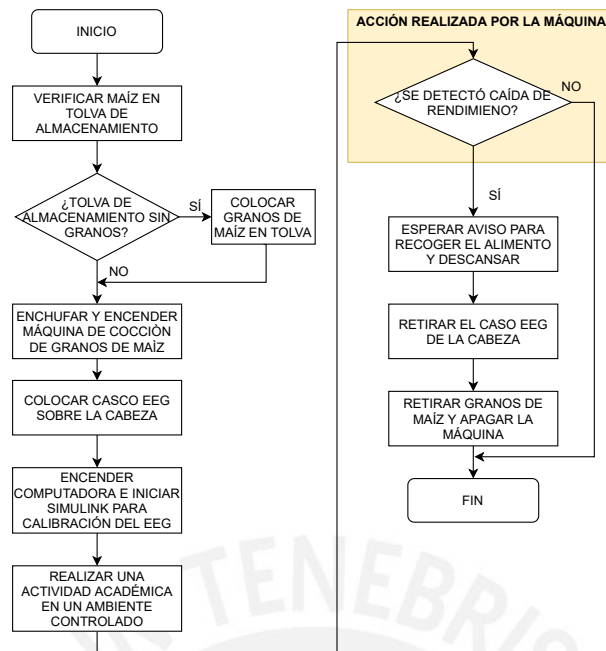


Figura 3.2: Diagrama de operaciones del proceso realizado por el usuario. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Descripción de la máquina Automática de cocción de granos de maíz

El presente apartado se enfocará en presentar a la máquina automática de cocción de granos de maíz. Partiendo del diseño conceptual de la máquina, realizado en el trabajo de investigación previo (Ramírez, 2020), considerando los requerimientos del diseño, la caja negra (*black box*, en inglés) con las entradas y salidas, la estructura de funciones de cada uno de los subsistemas y los 3 conceptos de solución, escogiendo el más óptimo en base a un análisis técnico-económico, como se presenta en el Anexo I, se realizó el diseño definitivo de la máquina.

Como se puede observar en las Figuras 3.3(a) y 3.3(b), es una máquina de uso personal, cuyas dimensiones son de 22cm x 25cm x 43cm. Cuenta con una carcasa de polipropileno (PP), la cual cumple con las normativas para el contacto seguro con alimentos. Asimismo, tiene una adecuada resistencia al calor y se ha considerado una modularidad en el diseño para realizar los procesos de mantenimiento, limpieza y un rápido acceso a los circuitos de la máquina y ranuras de ventilación, de tal manera que los componentes electrónicos y el interior del sistema no se sobrecalienten, disipando el calor contenido al interior de la cabina. Además, posee dos tapas una para acceder a la tolva del subsistema dosificador, y otro acceso para limpiar la boquilla de salida que forma parte del subsistema de descarga de granos.

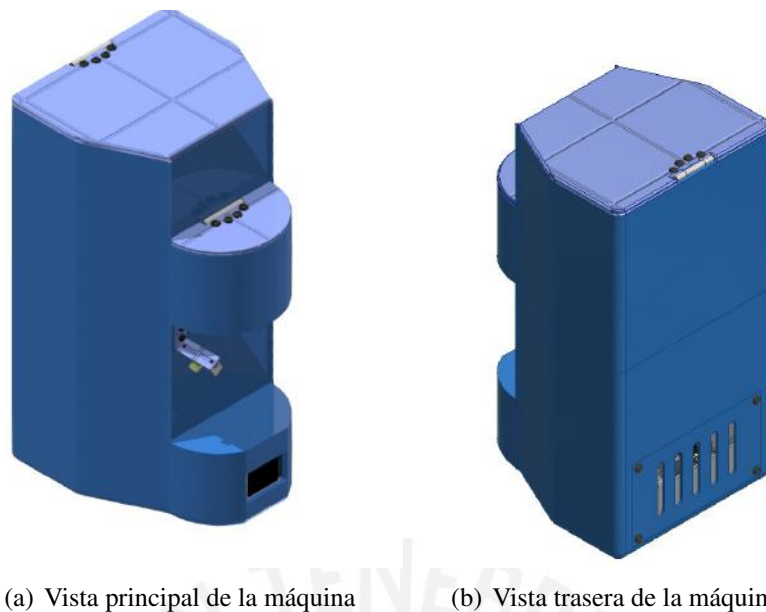


Figura 3.3: (a) Vista principal de la máquina automática de cocción de granos de maíz. (b) Vista trasera de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.

La alimentación de la máquina es de 220VAC monofásica. La interfaz gráfica sirve para visualizar información del proceso. En esta interfaz se muestran datos relevantes del proceso o activar la máquina manualmente. La máquina será activada remotamente por la BCI. En la Figura 3.4, se presenta de manera general la estructura de la máquina junto con cada uno de los subsistemas que la conforman y la interfaz para interacción con el usuario. Son 4 subsistemas importantes: activación, carga de granos, preparación y descarga de granos.

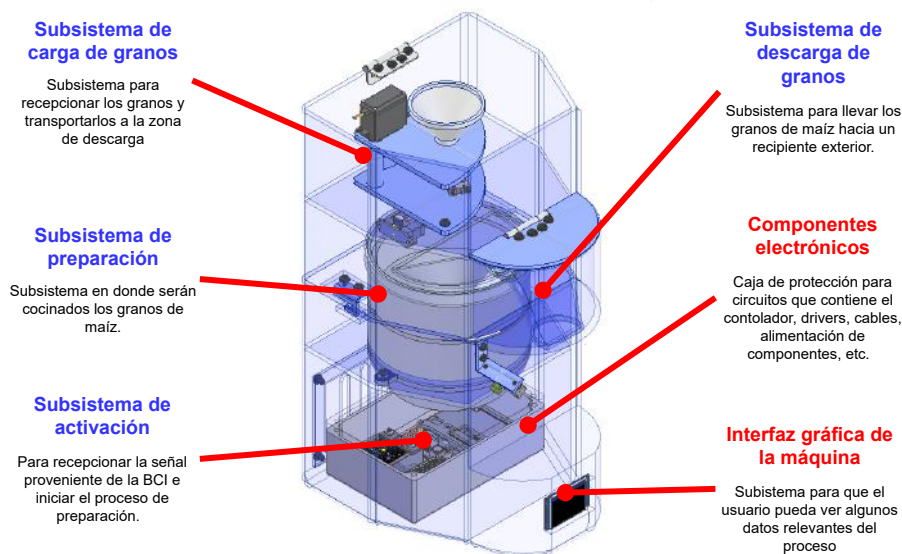


Figura 3.4: Subsistemas que conforman la máquina. Fuente: Elaboración propia.

a. Subsistema de activación

El proceso comienza cuando se recibe la señal de activación proveniente de la BCI enviada a través de un protocolo WIFI, como se verá más adelante, al detectarse una caída de rendimiento cognitivo en los estudiantes, para iniciar con el proceso de preparación de los alimentos. No obstante, el diseño y desarrollo de la BCI serán detallados en el capítulo 4, para completar la explicación del funcionamiento en conjunto del sistema mecatrónico.

b. Subsistema de carga de granos

El subsistema de carga de granos se aprecia en la Figura 3.5. Inicialmente, los granos se encuentran almacenados en la tolva de carga de granos. Cuando inicie el proceso, un servomotor moverá el mecanismo dosificador para llenar su recipiente cilíndrico con la porción adecuada de granos para trasladarlos a la salida, que consiste en un agujero por el que pasarán los granos para ser dirigidos hasta el recipiente de preparación.

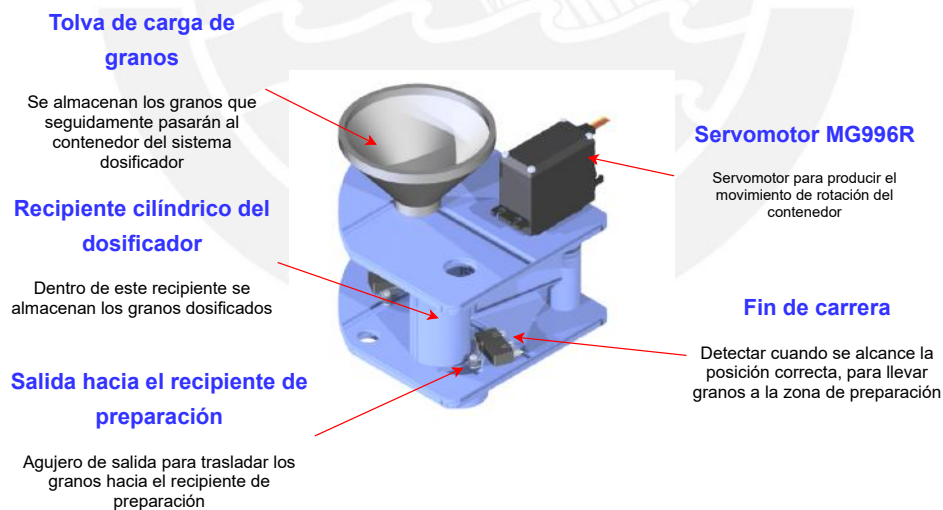


Figura 3.5: Componentes y mecanismos del subsistema de carga de granos. Fuente: Elaboración propia.

c. Subsistema de preparación

Este sistema entra en funcionamiento cuando el sensor de presencia detecta que los granos han entrado en el recipiente de preparación, activando los actuadores que realizarán el procedimiento de preparación, como se ilustra en las Figuras 3.6 y 3.7.

Luego de esta fase, se enciende el ventilador a una velocidad de flujo baja solo para mover los granos, mientras que un calentador se enciende hasta llegar a una temperatura de 170 °C, en donde se mantendrá aproximadamente por un minuto. Seguidamente, se lleva la temperatura hasta los 200 °C, temperatura para generar la cocción de los granos de maíz, y se mantiene 2 minutos hasta que los granos empiecen a reventar.

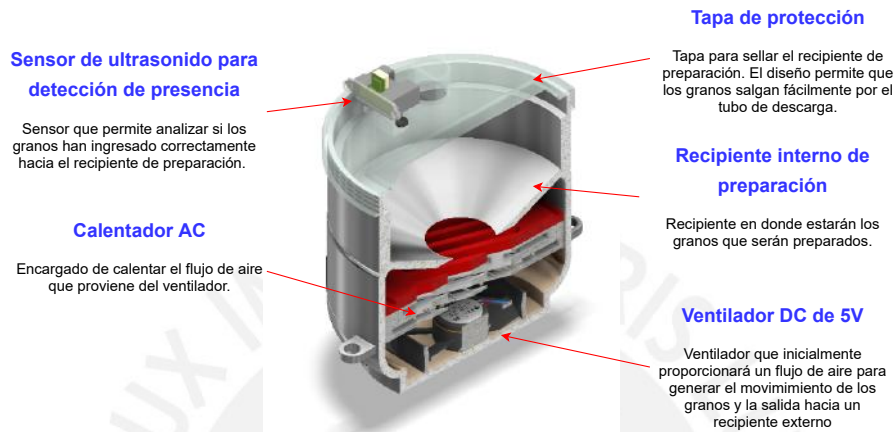


Figura 3.6: Componentes internos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.7: Elementos externos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.

d. Subsistema de descarga de granos

Finalmente, una vez que se ha alcanzado el subsistema de descarga (los granos ya están reventados), cuyo detalle se aprecia en la Figura 3.8, se reducirá la temperatura del calentador y el ventilador se coloca a la máxima potencia para permitir la salida de los granos preparados hacia un recipiente exterior, permaneciendo encendido hasta que un sensor de ultrasonido

ubicado a la salida detecte que se ha alcanzado la altura con el contenido deseado en el recipiente externo, reduciendo gradualmente la potencia conforme se va alcanzando el nivel deseado, mientras se extraen los granos cocidos.

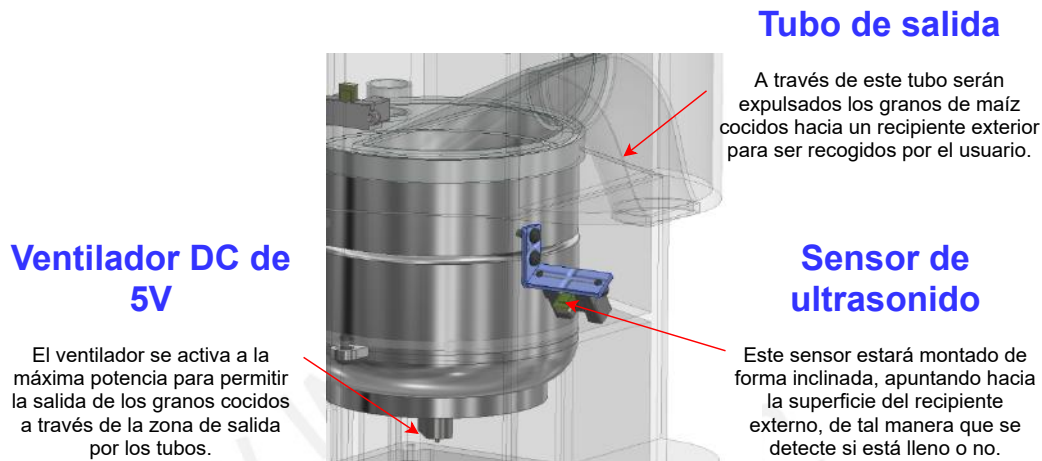


Figura 3.8: Componentes del subsistema de descarga de granos. Fuente: Elaboración propia.

e. Subsistema de energía

Para el dominio de energía, se diseñó una caja de circuitos con una tapa para proteger los componentes electrónicos de la máquina contra el polvo y la humedad del ambiente, cuyo detalle se aprecia en la Figura 3.9. Por otro lado, para disipar el calor que se produce durante la etapa de preparación, la compuerta de la zona de circuitos tiene unas ranuras que permite la circulación de aire y también dar acceso para realizar mantenimientos periódicos.

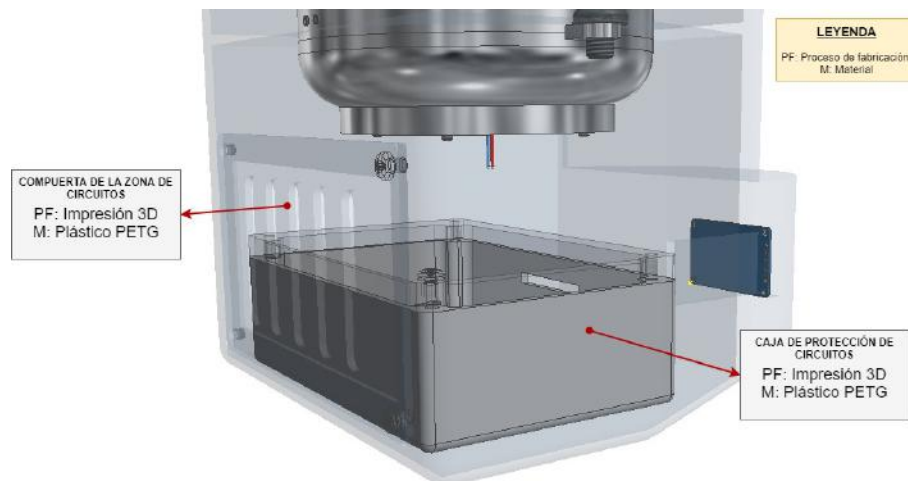


Figura 3.9: Componentes mecánicos del subsistema de energía. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Arquitectura de hardware de la máquina de cocción de granos de maíz

Para la elaboración la arquitectura de hardware de la máquina se han considerado las conexiones entre el microcontrolador Arduino Micro y cada uno de los componentes, tales como sensores, actuadores y la interfaz gráfica de usuario, los cuales se encuentran agrupados por subsistemas y alimentados a través de una fuente de alimentación.

En la Figura 3.10 se presenta lo descrito previamente, detallando cada una de las conexiones de manera detallada.

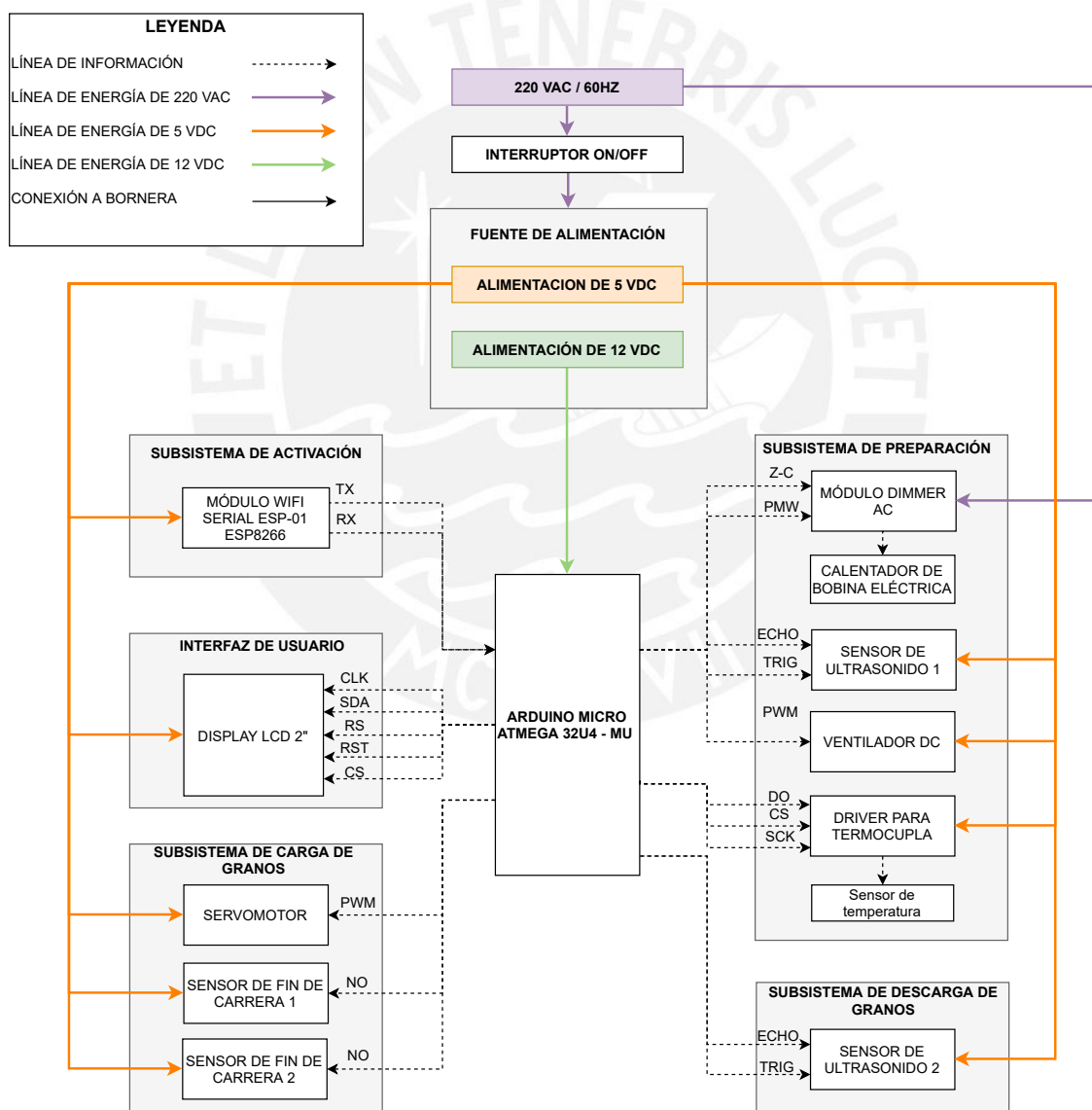


Figura 3.10: Arquitectura de hardware del sistema. Fuente: Elaboración propia.

A. Fuente de alimentación de la máquina

La máquina se alimentará con una fuente de 220VAC/60 Hz. En la Tabla 3.1, se presentan los valores de corriente y el voltaje de cada uno de los componentes, para luego calcular la potencia total que consumirá la máquina y poder seleccionar una fuente que pueda cumplir con estos requerimientos, como se mostrará más adelante.

Debe notarse que no se ha incluido el elemento calentador, pues este estará controlado por el módulo Dimmer AC. En el Anexo E, se puede encontrar el precio de los componentes seleccionados. En la Tabla 3.1 se obtuvo que los elementos electrónicos empleados consumen una potencia total de 30.55W.




Tabla 3.1: Cálculo de potencia para cada componente del dominio electrónico. Fuente: Elaboración propia.

Subsistema	Nombre del componente	Modelo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Activación	Microcontrolador	Arduino Micro Atmega32u4 - MU	1	12	0,5	6
	Módulo WIFI	Módulo WIFI Serial ESP-01 ESP8266	1	5	0,08	0,4
	Módulo Dimmer AC	DRV-DIMMER	1	5	2	10
Carga de grano	Servomotor	Servo MG996R 11kg	1	5	0,5	2,5
	Sensor de fin de carrera	AVL3825613-A	2	5	1	10
	Ventilador DC	Delta Electronics ASB0305HP-00CP4	1	5	0,2	1
	Driver para termocupla	Transmisor para termocupla MAX6675	1	5	0,05	0,25
	Sensor de ultrasonido	Sensor Ultrasonido HC-SR04	1	5	0,015	0,075
Descarga de granos	Sensor de ultrasonido	Sensor Ultrasonido HC-SR04	1	5	0,015	0,075
Interfaz de usuario	Pantalla LCD	Display LCD ILI9225	1	5	0,05	0,25
Total (W)						30.55

3.1.4. Selección de la fuente de energía para la máquina de cocción de granos de maíz

Después de calcular el valor total de la potencia que consume la máquina, se procedió a realizar la comparación de tres fuentes de alimentación que cumplen con este requerimiento, para hacer la selección de la más adecuada, en términos de funcionamiento, características y costo, como se observa en la Tabla 3.2. Tomando en cuenta las características que presentan, se seleccionó la fuente de la marca *Mean Well*, modelo RPS-60-12, pues tiene la potencia, costo y tamaño adecuados.

Tabla 3.2: Comparación de 3 tipos de fuentes de alimentación para energizar el sistema. Fuente: Elaboración propia.

		RPS-60 -12	RS-50-12	RAC45-12SG/OF
Características	Requisitos			
Marca	-	Mean Well	Mean Well	RECOM Power
Voltaje de alimentación (VAC)	220	220	220	220
Potencia (W)	40	60	50	45
Dimensiones (mm)	100x100	101.6 x 50.8	99 x 97	101.6 x 51
Precio unitario (S/.)	30	47.6	51	59

3.1.5. Selección de procesos de fabricación y materiales

En el presente apartado serán mostrados los materiales seleccionados para la fabricación de cada uno de los elementos mecánicos de la máquina, junto con los respectivos procesos de fabricación. Estos materiales son aptos para la industria alimentaria y no tóxicos.

a. Cuerpo o carcasa de la máquina





Para la carcasa de la máquina se consideró emplear plástico polipropileno (PP), pues es un material que soporta altas temperaturas, es duradero, con buena dureza, rigidez, su precio es accesible y se pueden usar múltiples procesos de fabricación para adaptarlo a la forma que se requiera.

Considerando la limpieza y mantenimiento que se hará continuamente a la máquina, cuenta con una excelente resistencia química. Sus características más relevantes se presentan en la Tabla 3.3, comparándolo junto con otros materiales considerados. El proceso de fabricación seleccionado será impresión 3D, que permitirá darle la forma, medidas y color deseados, y es una alternativa económica para construir formas complejas a un bajo costo.

b. Ganchos de sujeción, bisagras y soporte de sensores

Estos elementos serán fabricados con plástico tereftalato glicol (PETG), ya que es un material que presenta una buena resistencia mecánica y densidad, lo que será necesario para mantener la rigidez entre la parte superior e inferior de la carcasa. La descripción detallada de este material se presenta en la Tabla 3.3. Respecto al procedimiento de fabricación, se empleará la impresión 3D.

Tabla 3.3: Tabla comparativa para seleccionar los materiales de fabricación del cuerpo de la máquina, ganchos de sujeción, subsistema dosificador, caja de circuitos y tapa de protección. Fuente: Extraído de (Universitat de Barcelona, 2019)

	Resina High Temp	ABS	PP	PETG
Características				
Densidad (g/cm³)	1.10	1.01 – 1.21	0.89 - 0.91	1.08
Resistencia mecánica a la tracción (MPa)	48.7	27.6 – 55.2	27.6 - 41.4	42
Resistencia química	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia a los impactos y al desgaste. - Resistencia a disolventes orgánicos. - Resistencia a la humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja resistencia a cualquier tipo de ácido. - Sensible a los disolventes orgánicos. - Adecuada resistencia a la humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a ácidos fuertes y débiles. - Buena resistencia a disolventes orgánicos. - Humedad no afecta el material. - Inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estable y resistente frente a ácidos y bases. - Humedad no afecta el componente. -No absorbe agua.
Resistencia a la temperatura (°C máx.)	289	80	100	85
Propiedades eléctricas	Dieléctrico	Dieléctrico	Dieléctrico	Dieléctrico
Precio relativo	Alto	Medio	Bajo	Medio - Alto

c. Subsistema de dosificación completo

Cada uno de los elementos del subsistema dosificador serán fabricado con plástico polietileno PETG, un polímero que presenta una resistencia y dureza similar al acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), con la ventaja que no es tóxico y puede entrar en contacto con los alimentos. La descripción de sus características se presenta en la Tabla 3.3 El proceso de fabricación a emplear será igualmente impresión 3D.

d. Caja de circuitos electrónicos

Esta parte de la máquina será fabricada con plástico PETG, un material con buena resistencia térmica. Esta selección se basa en que dentro de la caja se producirán temperaturas elevadas, producto del calentamiento de los componentes electrónicos internos y el calor generado por la bobina eléctrica, por lo que resulta importante contar con un material resistente y duradero. Las características más resaltantes de este material se puede observar en la Tabla 3.3. El proceso de fabricación considerado es impresión 3D.

e. Tapa de protección del recipiente de preparación

Este elemento será diseñado con resina resistente a altas temperaturas, resistencia al calor y durabilidad. El proceso de fabricación para este material será manufactura digital a través de la impresión 3D. El detalle de este material se observa en la Tabla 3.3.

Por otro lado, respecto al subsistema de preparación, se deben considerar materiales para el recipiente interno que puedan resistir altas temperaturas, aproximadamente 200 °C y que puedan entrar en contacto con los granos de maíz sin contaminar el alimento. Por este motivo, serán presentados en la Tabla 3.4 algunas de las opciones de materiales disponibles. Los componentes en donde será empleado el material seleccionado corresponden a la tapa de protección del recipiente de preparación, el recipiente interno extraíble y el cuerpo interno del subsistema de preparación. Estos estarán en contacto directo con las altas temperaturas producidas por el elemento calentador.




a. Recipiente interno extraíble

El material empleado para este componente será aluminio 3003, ya que presenta excelente resistencia térmica frente a temperaturas elevadas y puede entrar en contacto con los alimentos. Asimismo, es capaz de resistir altas temperaturas y presenta una buena conductividad térmica en comparación con los otros dos materiales de la Tabla 3.4. El proceso de fabricación empleado será realizar el corte de una plancha, seguido de un rolado y luego un proceso de soldadura.

b. Cuerpo del subsistema de preparación

El material utilizado, al igual que el caso del recipiente interno extraíble, también será aluminio 3003, cuyas características se presentan en la Tabla 3.4. El proceso de fabricación de este elemento será en un embutido, seguido de un cortado, para darle la forma y dimensiones deseadas.

Tabla 3.4: Tabla comparativa para seleccionar los materiales de fabricación para el recipiente interno y el cuerpo del subsistema de preparación. Fuente: Extraído de (Universitat de Barcelona, 2019)

	Vidrio de borosilicato	Aluminio 3003	Acero inoxidable AISI 304
Características			
Densidad (g/cm³)	2.23	2.73	7.93
Máxima temperatura (°C)	500	162	16.2
Resistencia química	Resistente a la corrosión y rotura frente a ácidos	Adecuada resistencia a la corrosión	Excelente resistencia a la corrosión y ácidos oxidantes
Aplicaciones	Cristalería de laboratorio, utensilios de cocina, dispositivos de iluminación, entre otros.	Utensilios de cocina, ollas, recipientes a presión, intercambiadores de calor, tanques de almacenamiento, entre otros.	Cacerolas, utensilios de cocina, tuberías, resortes, tuercas o pernos, entre otros.
Precio relativo	Medio	Bajo	Bajo

3.2. Subsistema de carga de granos

Dentro de este subcapítulo se presentará la selección de los sensores y actuadores para el presente subsistema. El presente subsistema es el que almacena los granos de maíz y permite transportarlos hacia el sistema de preparación una vez que se reciba la señal de activación proveniente de la interfaz cerebro-computador.

3.2.1. Componentes mecánicos del subsistema

El subsistema está conformado por cuatro elementos: una tolva para almacenamiento de granos, la cual tiene forma cónica y se encarga de almacenar una cantidad determinada de granos para ser preparados posteriormente cuando se inicie la preparación. Tiene una capacidad de aproximadamente 72 cm^3 . También cuenta con una tapa superior, el mecanismo dosificador y la tapa inferior del dosificador. Estos elementos se pueden ver en la Figura 3.11, así como los materiales y procesos de fabricación considerados.

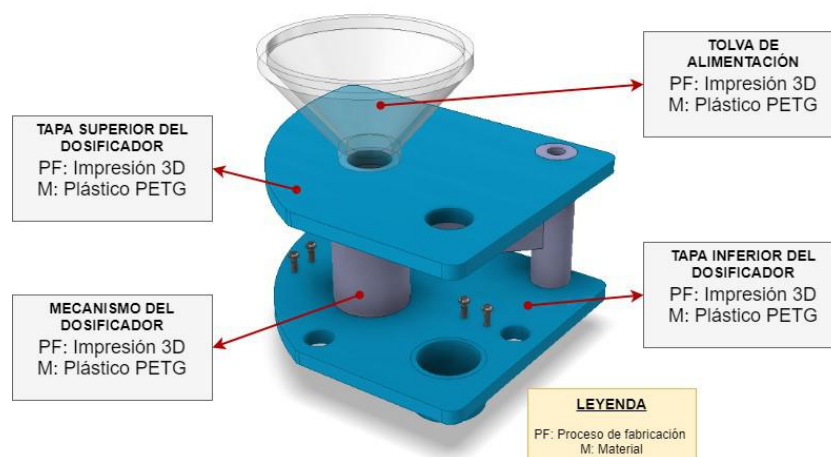


Figura 3.11: Componentes mecánicos del subsistema dosificador. Fuente: Elaboración propia.




3.2.2. Selección de sensores

Se presenta una comparación de los sensores que conforman el subsistema de carga de granos, realizando la comparación de características entre tres opciones distintas, para finalmente seleccionar la que se adecúa a los requerimientos de funcionamiento de la máquina. En el Anexo E, se puede encontrar el precio de los componentes seleccionados.

a. Sensores de fin de carrera

En el subsistema de carga serán empleados dos sensores de fin de carrera para poder lograr tener un control de la posición del mecanismo dosificador. En la tabla 3.5 se observa la comparación entre tres distintos sensores comerciales usados para este tipo de aplicaciones.

Tabla 3.5: Comparación de sensores de fin de carrera disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.

		D2F-L-A1	AVL3825613-A	V-156-1A5
Características	Requisitos			
Marca	-	Omron Electronics Inc	Panasonic Electric Works	Omron Electronics Inc
Voltaje de alimentación (VDC)	5	30	30	125
Temperatura de funcionamiento (° C)	0 a 50	-25 a 65	-25 a 85	-25 a 85
Duración eléctrica (# de ciclos)	50	30	200	100
Duración mecánica (# de ciclos)	1'000,000	1'000,000	10'000,000	50'000,000
Precio unitario (S/.)	>5	6.8	7.5	14.3

De esta manera, el primero será empleado para determinar si el mecanismo dosificador se encuentra en la posición de recepción de granos, es decir, la posición en la que los granos de la tolva ingresan en el recipiente de este mecanismo.

Por otro lado, el segundo será ubicado para determinar si el mecanismo dosificador alcanzó la posición para depositar los granos en el subsistema de preparación y bloqueando la salida de granos proveniente de la tolva de almacenamiento.

3.2.3. Selección de actuadores




Se presenta una comparación de los actuadores que conforman el subsistema de carga de granos, realizando una comparación entre 3 opciones distintas disponibles en el mercado local, para finalmente seleccionar la que cumple con los requerimientos de operación de la máquina.

a. Servomotores para rotación de mecanismo de carga

Los servomotores permitirán la rotación y posicionamiento del mecanismo dosificador para trasladarlo a través de tres posiciones predefinidas: inicial o de reposo, recepción de granos y salida para depósito de granos. En la Tabla 3.6 se presenta la comparación de tres distintos servomotores considerados, tomando en cuenta las características más relevantes. Para la se-

lección de este componente fue necesario realizar el cálculo del torque necesario para mover el dosificador con el contenido de granos de maíz, el cual se encuentra en el Anexo C.

Tabla 3.6: Comparación de tres servomotores disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.

		MG996R	SG - 5010	MG 946R
Características	Requisitos			
Marca	-	TowerPro	TowerPro	TowerPro
Voltaje de alimentación (VDC)	5	4.8 – 7.2	4.8- 6	4.8 – 7.2
Torque (kg- cm, operando a 4.8 V)	1.405	9.4	3.1	10.5
Velocidad de operación (seg/60°, operando a 4.8 V)	0.2	0.2	0.17	0.2
Peso (g)	<100	55	39	55
Dimensiones (mm)	-	40,6 x 19,8 x 42,9	40.2 x 20.2 x 43.2	40.7 x 19.7 x 42.9
Precio unitario (S/.)	35	35	30	45

3.3. Subsistema de preparación

Este subsistema es el encargado del proceso de cocción de los granos de maíz. De esta manera, en el presente subcapítulo, se ha realizado la comparación y selección de sensores y actuadores considerados para la implementación, así como los *drivers* para el control de sensores. Asimismo, en el Anexo E, se puede encontrar el precio de los componentes seleccionados en base a la disponibilidad del mercado.

3.3.1. Componentes mecánicos del subsistema

Este dominio presenta algunos componentes mecánicos, entre los que se encuentran la cubierta superior del recipiente de preparación, la cual se enrosca con el recipiente interno extraíble. Esta tiene un soporte para sensor atornillada, para colocar un sensor que detecta la entrada de granos a este subsistema. Además, tiene una boquilla de salida, a través de la cual salen los granos una vez preparados.

Por otro lado, el recipiente interno extraíble se coloca sobre el cuerpo interno de preparación. En la Figura 3.12, se presentan los elementos antes descritos junto con los materiales y procesos de fabricación.

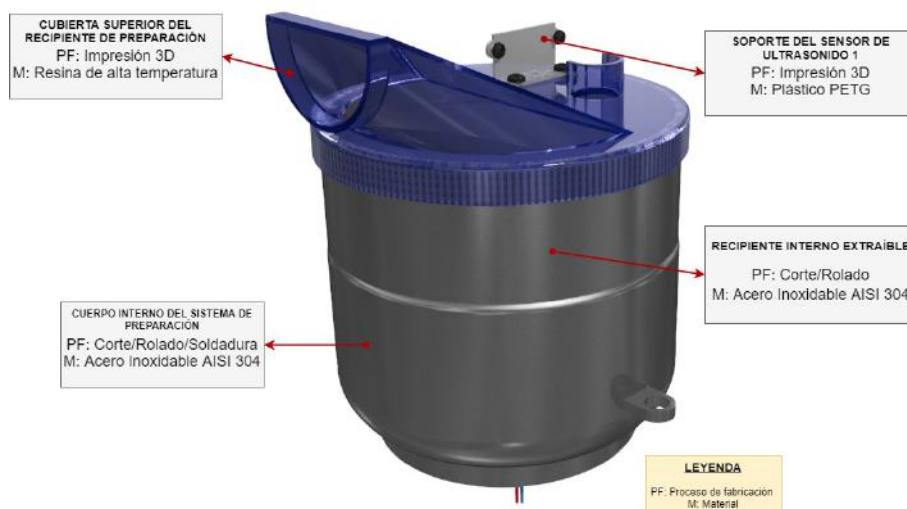


Figura 3.12: Componentes mecánicos del subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.




3.3.2. Selección de sensores

a) Sensor para medir temperatura del recipiente

Con este sensor se podrá medir la temperatura generada al interior del recipiente de preparación debido al elemento calentador, para establecer el lazo de control que permita controlar esta variable con precisión y evitar problemas de sobrecalentamiento.




En la Tabla 3.7 se presenta la comparación de sensores para medir la temperatura de los granos que se encuentran disponibles en el mercado, considerando las características de funcionamiento más relevantes. Se escogió el sensor de temperatura RTD PT100 ya que cumple con las características requeridas para el control de temperatura y es el que tiene un costo más económico sin perder la precisión en la toma de datos.

Tabla 3.7: Comparación de sensores de temperatura para el subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.

		RTD PT100 (2 hilos)	Termocupla tipo K 3245	Termocupla tipo K 240-080
Características	Requisitos			
Marca	-	Nanmac	Adafruit	Digilent, Inc.
Rango de trabajo (°C)	0 a 250	-100 a 400	-100 a 500	-73 a 482
Tipo de terminal	-	Terminal de cables	Conductor a placa	Terminal de cables
Precio unitario (\$/.)	<40	15	34	34

Adicionalmente, para manipular este elemento desde el microcontrolador, es importante contar con un dispositivo transmisor, que permita la lectura de los datos proporcionados por la termocupla. Para ello, se empleará el transmisor MAX6675. Las características de este elemento son descritas en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Comparación de transmisores de temperatura disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.

		Transmisor MAX6675	MAX31855	MAX31865
Características	Requisitos			
Marca	-	Genérico	Adafruit	Adafruit
Voltaje de operación (VDC)	5	5	5	5
Corriente de alimentación (mA)	-	50	0.9	1.5
Rango de temperatura de termocupla (°C)	0 a 250	-200 a 1200	-200 a 1350	-200 a 1350
Dimensiones (mm)	-	25 x 13 x 15	20 x 20 x 3.28	28 x 25.5 x 3
Precio unitario (\$/.)	<30	20	51	35




3.3.3. Selección de actuadores

Se presenta una comparación de los actuadores que conforman el subsistema de preparación, realizando una comparación entre tres opciones distintas disponibles en el mercado, para finalmente seleccionar la que se adecúa a los requisitos de operación. Estos componentes serán detallados dentro de las tablas correspondientes para detallar las características más relevantes para realizar la selección.

a) Ventilador con motor DC

En el caso del motor DC, como se ilustra en la Tabla 3.9, se eligió el de la marca Delta Electronics, ya que tiene las dimensiones adecuadas para ser implementado dentro de la máquina y la potencia necesaria en la rotación del motor para mover los granos de maíz. Si bien no es el más económico comparado con los otros, es el que otorga una potencia adecuada para generar el movimiento de aire al interior del recipiente de preparación.



Tabla 3.9: Comparación de tres distintos ventiladores de corriente directa para subsistema de preparación.
Fuente: Elaboración propia.

		F310R-05LC	ASB0305HP-00CP4	FAD1-04010BBLW11
Características	Requisitos			
Marca	-	Nidec Copal Electronics	Delta Electronics	Qualtek
Potencia (W)	1	0.35	1	0.35
Dimensiones (mm)	30 x 30	30 x 30	30 x 30	40 x 40
Velocidad de giro (RPM)	-	7000	9500	4200
Caudal de aire (m³/min)	-	90	143	118
Precio unitario (S/.)	<40	26.4	32	19.8

b) Elemento calentador de aire


Para este elemento, se analizaron los componentes que se presentan en la Tabla 3.10, analizando sus características de operación. Debido a los requerimientos y dimensiones apropiadas, se seleccionó la bobina eléctrica YDX-02327, cuya función es calentar el aire proporcionado por el ventilador DC hasta una temperatura de aproximadamente 200 °C y puede ser adaptada para el sistema de preparación. Este producto es de uso comercial para ser empleado en máquinas de cocción de granos de maíz.

Tabla 3.10: Selección del elemento calentador para el subsistema de preparación. Fuente: Elaboración propia.

		Bobina eléctrica YDX-02327	Placa de calefacción de acero inoxidable Airex 2000W
Características	Requisitos		
Marca	-	Genérico	Genérico
Voltaje de operación (VAC)	220	220	240
Material de calentamiento	-	Cr20Ni80	Acero inoxidable
Temperatura máxima (°C)	200	1200	2000

Por otro lado, esta bobina se encontrará conectada al microcontrolador por medio de un driver que controla cargas de corriente alterna de alimentación. A diferencia de un relé, este elemento permite regular la potencia del calentador resistivo, de tal manera que pueda ser llevado hasta las temperaturas deseadas, de 170° C y 200° C, y mantenerlas el tiempo necesario, que como se mencionó previamente es 1 minuto y 1:30 minutos, respectivamente mediante un algoritmo de control PID. El elemento descrito se presenta en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Selección de driver para el control de cargas de corriente alterna (AC). Fuente: Elaboración propia.

Módulo Dimmer AC	
Características	
Marca	Genérico
Voltaje de operación (VDC)	5
Voltaje de carga (VAC)	220
Corriente nominal de carga (A)	2
Precio unitario (S/.)	28

3.4. Subsistema de descarga de granos

Dentro del presente subcapítulo se mostrará el proceso de selección del sensor empleado para la detección de la altura de los granos en el recipiente de salida. Este subsistema representa la etapa final del proceso, en la que los granos son trasladados hacia un recipiente exterior que será recogido por el usuario. En el Anexo E, se puede encontrar el precio de los componentes seleccionados.

3.4.1. Componentes mecánicos del subsistema

Para el presente subsistema, los elementos mecánicos más importantes son la tubería de descarga, que favorece la salida de granos hacia el recipiente exterior. También cuenta con un sensor de ultrasonido, el cual se encuentra acoplado a la carcasa de la máquina y está ubicado en un soporte de sensor que apunta diagonalmente hacia el recipiente externo, de tal manera que se pueda detectar la altura de los granos. Lo antes descrito se muestra en la Figura 3.13.

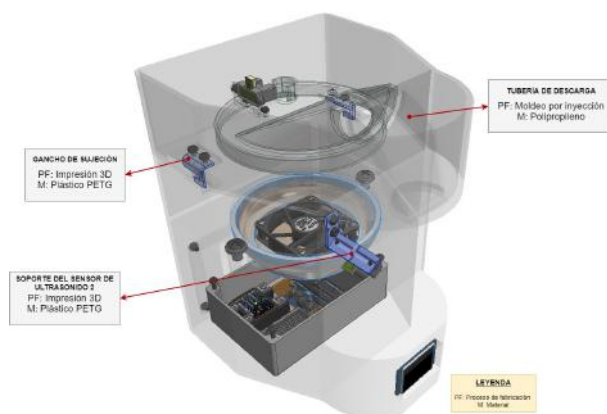


Figura 3.13: Componentes mecánicos del subsistema de descarga de granos. Fuente: Elaboración propia.




3.4.2. Selección de sensores

Se presenta una comparación de los sensores que conforman el subsistema de descarga de granos, realizando una comparación entre 3 opciones distintas disponibles en el mercado para finalmente seleccionar la que se adecúa a los requisitos.

a) Sensor de para detectar el nivel de llenado del recipiente de salida

Estos sensores serán empleados para garantizar que los granos de maíz han sido colocados en el recipiente de preparación. En caso no se detecta la caída de ningún grano, significará que: el recipiente de carga está vacío o el mecanismo dosificador está atascado. A continuación, se presenta en la Tabla 3.12 con esta información a detalle.

Tabla 3.12: Comparación de sensores de ultrasonido para el subsistema de descarga. Fuente: Elaboración propia.

		Sensor Ultrasonido US-100	Sensor Ultrasonido HC-SR04	Sensor infrarrojo E18-D80NK
Características	Requisitos			
Voltaje de alimentación (VDC)	5	5	5	5
Rango de detección (cm)	2- 450	2 - 450	2 - 450	3 - 80
Ángulo de detección (°)	15	15	15	
Dimensiones (mm)	-	45 x 20 x 15	45 x 20 x 15	18 x 50
Precio unitario (\$/.)	<10	24	8	25

3.5. Diseño de control de la máquina automática de cocción de granos de maíz

En este subcapítulo, se presentará la tarjeta de control seleccionada para controlar la operación de la máquina de cocción automática de granos de maíz y procesar la señal de activación proveniente de la BCI. Asimismo, se mostrarán los diagramas de flujo de los programas principales, subprogramas, las estrategias de control empleadas y la selección del software en el que serán programados estos algoritmos.

3.5.1. Diagramas de flujo de la máquina de cocción de granos de maíz

El control de la máquina requiere el desarrollo de una lógica de funcionamiento que sea robusta, permita que opere de la forma más simple posible y correcta. Es por ello que

a continuación, se ilustrarán los distintos diagramas de flujo, los cuales ponen en evidencia a detalle cómo funciona la máquina, empezando por el programa principal de la máquina y luego desarrollando cada una de las subrutinas que lo conforman.

a. Programa principal de la máquina

En la Figura 3.14 se tiene el diagrama principal de la máquina de cocción de granos de maíz. Se tiene 2 modos de operación, uno activado manualmente y otro activado por medio de la señal de la BCI. En el primer caso, solo basta que el usuario encienda la máquina para dar inicio al proceso. Para el segundo caso, el proceso empieza una vez que se recibe la señal de activación de la BCI. De esta manera, se inicializarán cada una de las variables internas del subsistema de control. Seguidamente, se realiza un subprograma para verificar que los actuadores y sensores estén en las posiciones y otorguen las mediciones correctas, respectivamente. Si algún componente no pasa la verificación, no se iniciará el proceso de cocción y será mostrado un aviso en la interfaz de la máquina para alertar que el proceso no pudo empezar debido a un error en el posicionamiento inicial. En el caso contrario, cuando los estados sean adecuados, se iniciará de manera secuencial los subprogramas de carga de granos, preparación de granos y descarga de granos. Finalmente, se apagará la máquina una vez que termine todo el proceso descrito.

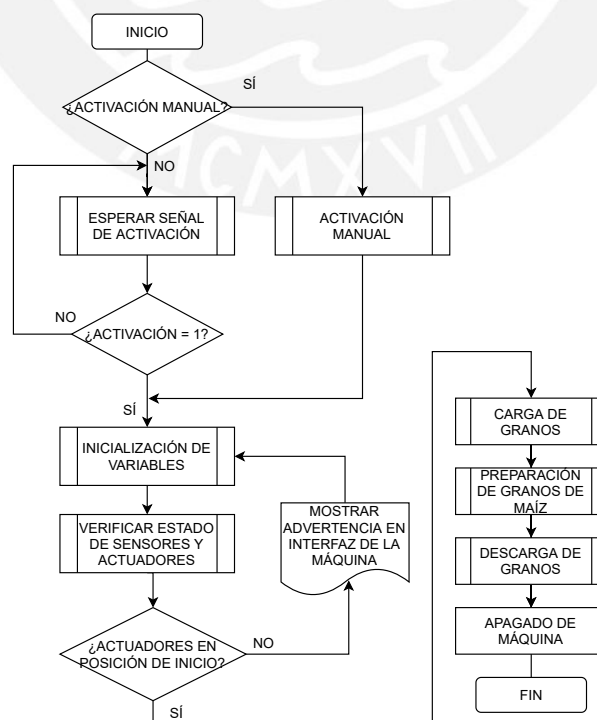


Figura 3.14: Diagrama de flujo principal de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

b) Subprograma para esperar señal de activación

Este subprograma, ilustrado en el Anexo G.1, consiste en esperar a que el módulo WIFI recepciona la señal de activación que proviene de la BCI. Una vez que esta señal se reciba, la máquina está lista para funcionar e iniciar con las demás subrutinas.

c) Subprograma para inicializar variables

El presente subprograma consiste en iniciar los valores de las variables con valores pre-definidos para el correcto arranque del sistema, como se observa en el diagrama de flujo y en la tabla de detalle con el nombre de las variables que se encuentra en el Anexo G.2. Este es ejecutado de manera inmediata cuando se recibe la señal de activación proveniente de la BCI.

d) Subprograma para verificar estado de componentes

La presente subrutina es para garantizar que la máquina puede empezar a funcionar sin inconvenientes. Como se aprecia en el diagrama del Anexo G.3, primero, analizando los sensores de fin de carrera representados por las variables FDC1 y FDC2 del sistema de carga, verificando que no estén presionados. Luego, verifica los sensores ultrasónicos SU1 y SU2. Finalmente, verificando el valor del sensor de temperatura, ubicado en el subsistema de preparación. En caso uno de estos componentes no tenga los valores adecuados, se mostrará un mensaje de error y la máquina no podrá iniciar con los siguientes procesos. En el Anexo G.3, se presenta una tabla con el nombre de las variables y sus funciones.

e) Subprograma para el proceso de carga de granos

En la imagen del Anexo G.4 se muestra el proceso de carga de granos. Al inicio, cuando se recibe la señal de activación, el servomotor pasa de la posición inicial hacia la posición para la recepción de granos dentro del recipiente del mecanismo dosificador. Una vez que FDC1 (primer sensor de fin de carrera) esté en alta, quiere decir que esta posición ha sido alcanzada correctamente. Posteriormente, se espera un corto periodo de tiempo de 2 s hasta que el contenedor del subsistema dosificador se llene con la cantidad de granos deseada, para que luego el servomotor pueda llevarlo esta vez hacia la zona de descarga, la que será alcanzada cuando se haya activado FDC2 (segundo sensor de fin de carrera) y permanecerá quieto por 2 segundos, hasta depositar los granos en el sistema de preparación, para luego regresar a su posición inicial cuando termine este proceso.

f) Subprograma para el proceso de preparación de granos

Tal como se presenta en el diagrama de flujo de la figura mostrada en el Anexo G.5, la preparación de los granos de maíz inicia si es que el sensor de ultrasonido 1 está activo, lo que indica que los granos han pasado correctamente al recipiente de cocción. Una vez pasada esta etapa, el ventilador se activará rotando a su velocidad más baja, estado en el que se mantendrá mientras el calentador se enciende, para alcanzar las temperaturas críticas del subsistema que permitan cocinar los granos.

g) Subprograma el proceso de descarga de granos

Una vez terminado el proceso de preparación, el ventilador permanecerá rotando a la velocidad más lenta y se apagará el elemento calentador, para enfriar los granos dentro del recipiente. Cuando la temperatura interna haya alcanzado aproximadamente 40 °C, se ajustará la velocidad del ventilador a la máxima capacidad para expulsar los granos de maíz dentro del recipiente de cocción hacia el recipiente de descarga. El sensor de ultrasonido ubicado a la salida medirá el contenido del recipiente para verificar que se alcanzó la altura deseada y el ventilador se apagará dando fin a este subprograma. Este procedimiento se encuentra graficado en la figura ilustrada en el Anexo G.6.

3.5.2. Control de temperatura del recipiente de preparación

El control de la temperatura para el calentamiento de los granos de maíz consiste en controlador PID en lazo cerrado, el cual permite alcanzar rápidamente y mantener la temperatura deseada de cocción, para realizar un proceso de preparación adecuado y evitar que el sistema se sobrecaliente. En la Figura H.1, se puede observar el diagrama de esta acción de control. Dentro de los actuadores involucrados en este proceso, está implicado el módulo Dimmer AC y una bobina eléctrica, la cual permitirá calentar el aire caliente para que posteriormente un ventilador DC lo transmita por convección. La temperatura requerida para lograr que los granos revienten es de aproximadamente 200 °C y deberá mantenerse en esa temperatura por un minuto aproximadamente, subiendo gradualmente. Para disipar el calor generado en la zona de preparación, el ventilador se activará a una velocidad media, expulsando el aire caliente de la cámara interna a través de la tubería de descarga.

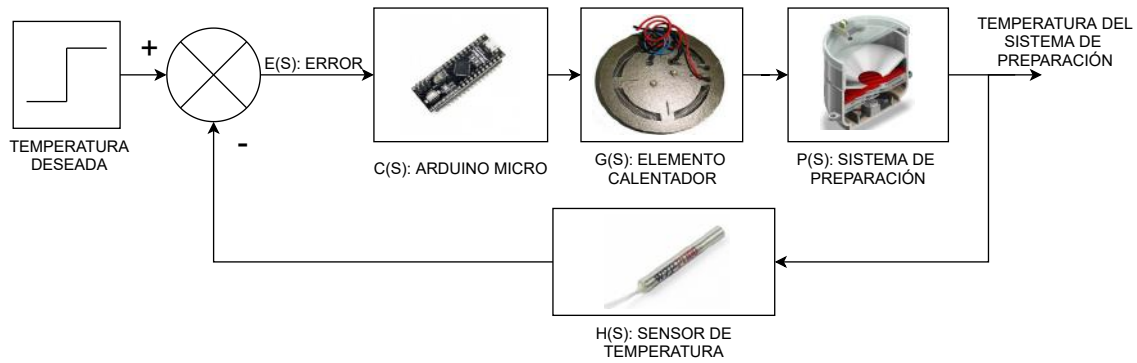


Figura 3.15: Diagrama de control de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Control de carga de granos

Este proceso se basa en un lazo de control cerrado, como se aprecia en la Figura incluida en el Anexo H.2. Cuando se detecte que se ha alcanzado la zona de depósito de granos de la tolva hacia el pequeño contenedor del subsistema dosificador y se reciba la señal de este sensor de fin de carrera. Luego, se esperan aproximadamente 3 segundos para que el servomotor se traslade hacia la zona para colocar los granos en el recipiente de preparación.

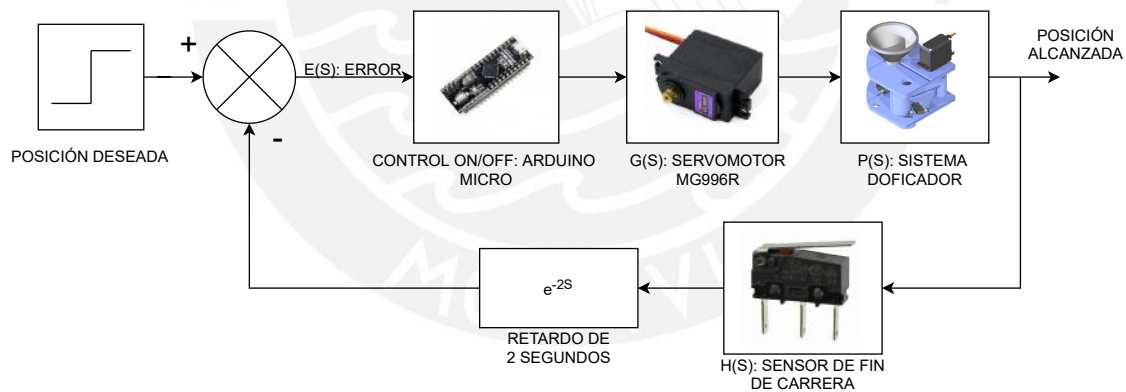


Figura 3.16: Diagrama de control del proceso de carga. Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Control de descarga de granos

Para la descarga de granos se empleará un control de lazo cerrado, como se ilustra en la Figura del Anexo H.3, en el cual se tendrá que encender el ventilador a la máxima potencia, de tal manera que pueda expulsar los granos del recipiente, para luego ir reduciendo gradualmente la velocidad conforme se va llenando el recipiente externo. Cuando el sensor de ultrasonido ubicado en la parte exterior indique que se ha alcanzado la altura máxima, se detendrá el ven-

tilador.

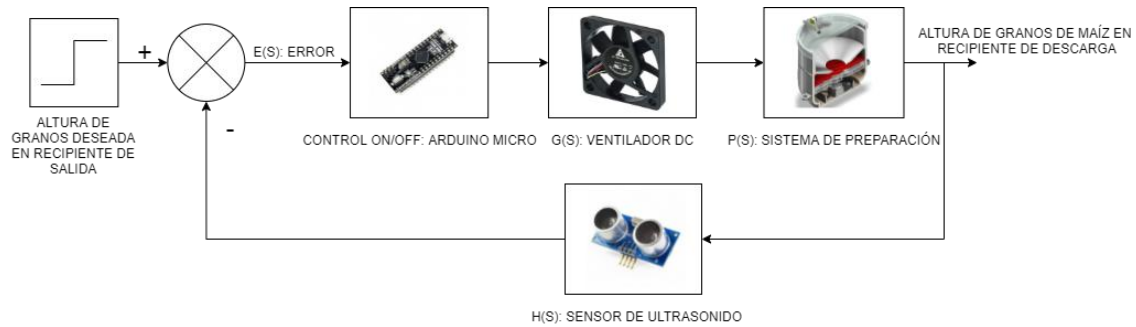


Figura 3.17: Diagrama de control del proceso de descarga. Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Selección de software para programación de la máquina

En la Tabla 3.13, se realizó la comparación de 3 diferentes softwares de programación para la elaboración de los algoritmos de control y automatización del proceso de preparación de los granos de maíz en el microcontrolador. Se seleccionó el más adecuado y que cumple con los requerimientos.

Tabla 3.13: Comparación entre lenguajes de programación para elaborar los algoritmos de control y automatización del proceso. Fuente: Elaboración propia.

Software	C++	Programación gráfica	Java
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Accesible en configuración y adaptabilidad. <ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento • Actualizaciones constantes <ul style="list-style-type: none"> • Multiplataforma • Compilación de código en bajo nivel antes de ejecutarse. • Versatilidad, gran cantidad de librerías y de uso extendido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación gráfica del flujo de datos. • Herramientas de depuración interactiva. • Lenguaje orientado a objetos. <ul style="list-style-type: none"> • Es multiplataforma • Representar fácilmente algoritmos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Accesible en configuración y adaptabilidad <ul style="list-style-type: none"> • Es robusto y maneja automáticamente la memoria <ul style="list-style-type: none"> • Multiplataforma • Gran cantidad de código Open Source.

Luego de haber presentado las características de estos lenguajes de programación, se escogió C++ debido a que es un lenguaje didáctico, fácil de aprender, tiene librerías múltiples para su programación, es flexible y, mediante este software, es posible compilar el código para realizar una comprobación de los errores del sistema.

3.5.6. Selección del controlador

En el presente apartado será realizada la selección del controlador en base a las señales de entrada y salida de la máquina, tal como se aprecia en la Tabla 3.14. Todas las variables del sistema son discretas. Las señales de entrada al controlador son 6. Estas corresponden a

la señal de activación para iniciar el sistema, la medición de la temperatura del recipiente de preparación, la posición del dosificador en la zona de carga y descarga de granos, la presencia de granos en el sistema de preparación y la altura de granos en el recipiente de salida. Las señales de salida son 5 y corresponden a el accionamiento del servomotor del sistema de carga, la temperatura del calentador, el accionamiento del ventilador, la señal de fin de proceso y una señal de emergencia.

Tabla 3.14: Variables de entrada y salida de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.

Entrada	Variable	Salida	Variable
1	Señal de activación (discreta)	1	Accionar servomotor de sistema de carga (discreta)
2	Temperatura de recipiente de preparación (discreta)	2	Variar temperatura de calentador (discreta)
3	Dosificador en posición de carga (discreta)	3	Accionar ventilador (discreta)
4	Dosificador en posición de recepción (discreta)	4	Fin de proceso (discreta)
5	Presencia de granos en sistema de preparación (discreta)	5	Emergencia (discreta)
6	Altura de granos en recipiente de salida (discreta)		

Luego de haber realizado el análisis de las señales del sistema, se evaluaron diferentes opciones de sistemas de control disponibles en el mercado, presentadas en la Tabla 3.15, para finalmente, en base a las características deseadas, optar por el microcontrolador Arduino Micro, el cual cuenta con los pines de entrada y salida necesarios para recibir señales, capacidad de memoria para realizar el procesamiento de la información y tamaño adecuado para la flexibilidad en su implementación.




Tabla 3.15: Comparación de microcontroladores disponibles en el mercado. Fuente: Elaboración propia.

Características	Requisitos	Arduino Uno	Arduino Micro 32U4	Arduino Nano
Marca	-	Arduino	Arduino	Arduino
Frecuencia de reloj (MHz)	-	16	16	16
Voltaje de alimentación (VDC)	7-12	7-12	7-12	7-12
Voltaje de operación (VDC)	5	5	5	5
Pines digitales	>12	14	20	14
Dimensiones (mm)		68 x 53	48.3 x 17.8	18.5 x 43.2
Precio unitario (\$/.)	<50	40	35	20

3.6. Selección de la interfaz de usuario de la máquina

En este subcapítulo serán evaluadas las distintas interfaces para realizar la interacción entre el usuario y la máquina, y para que pueda visualizar el proceso y conocer algunos parámetros importantes de la operación. En el Anexo E, se puede encontrar el precio del componente seleccionado. Como se observa en la Tabla 3.16, han sido comparados tres modelos comerciales de pantallas LCD, eligiendo finalmente el modelo ILI9225 pues tiene el tamaño, tiempo de respuesta, resolución, precio adecuados a los requerimientos.


Tabla 3.16: Comparación de 3 tipos de interfaz gráfica para la máquina. Fuente: Elaboración propia.

		Display LCD 3.5"	Display LCD ILI9225	Display LCD 2.4"
Características	Requisitos			
Marca	-	Genérico	Genérico	Genérico
Voltaje de alimentación (VDC)	-	5	3.3 - 5	5
Tamaño (")	<2	3.5	2	2.4
Resolución (px)	100x100	320x480	176x220	240x320
Precio unitario (S/.)	<50	70	35	45

3.7. Subsistema de activación de la máquina de cocción de granos de maíz

Para la recepción de la señal de activación proveniente de la BCI, se empleará el dispositivo ESP8266, el cual es un componente utilizado en proyectos de Internet de las cosas (*IoT*, en inglés), por tener buena capacidad para procesamiento de información, ser compacto y bajo consumo energético. En la Tabla 3.17 con las características más representativas.

Tabla 3.17: Características representativas del módulo WIFI ESP8266EX. Fuente: Elaboración propia.

	ESP8266EX
Características	
Marca	Arduino
Voltaje de operación (VDC)	2.5 a 3.6
Corriente de alimentación (mA)	80
Rango de temperatura de funcionamiento (°C)	-40 a 125
Protocolo WIFI	802.11 b / g / n (HT20)
Precio unitario (S/.)	20

3.7.1. Comunicación con la máquina automática

Enlazando cada una de las etapas previas se elaboró un diagrama de flujo, ilustrado en la Figura 3.18 para la detección. Este diagrama considera la etapa de representación de los estados mentales, el cálculo del *baseline* de cada una de las señales, la nueva cuantificación respecto a este valor, la detección del momento de bajo rendimiento y finalmente el envío de la señal para activar la máquina.

El envío de datos se realizará a través de un protocolo *TCP/IP*, realizando operaciones de lectura y escritura entre *Matlab* y el módulo *WIFI ESP8266*. El desarrollo e implementación de esta comunicación no se encuentra contemplada en el presente trabajo.

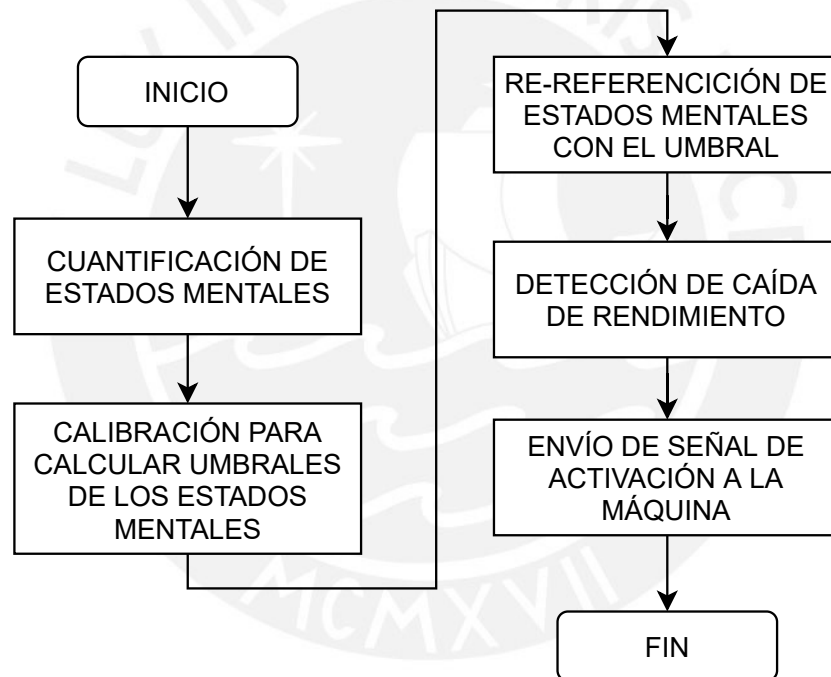


Figura 3.18: Diagrama de flujo para la detección de caída de rendimiento cognitivo. Fuente: Elaboración propia.

3.8. Lista de planos de la máquina automática de cocción de granos de maíz

En la Tabla 3.18 se muestra la lista de planos de la máquina, que incluye los planos de ensamble y despiece para cada uno de los subsistemas y el cuerpo principal. Cada uno de los planos tiene un código para ser identificado, el cual identifica si se trata de ensamble o despiece y el tamaño considerado para la página. Para observar a detalle las dimensiones de los componentes, revisar el Anexo C.

Tabla 3.18: Lista de planos de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.

Partes de la máquina	Tipo de plano	Código	Nombre del plano
Cuerpo de la máquina	Ensamble	E01-A1	Máquina de cocción de granos de maíz
		E02-A3	Bisagra
	Despiece	D01-A3	Gancho de sujeción derecho
		D02-A3	Gancho de sujeción izquierdo
		D03-A3	Pin de bisagra
		D04-A3	Bisagra placa inferior
		D05-A3	Bisagra placa superior
D06-A2	Cuerpo superior de la carcasa		
D07-A2	Cuerpo inferior de la carcasa		
Subsistema de carga de granos	Ensamble	E03-A3	Dosificador de granos
	Despiece	D08-A3	Tapa superior del dosificador
		D09-A3	Tapa inferior del dosificador
		D10-A3	Tolva de alimentación
		D11-A3	Mecanismo del dosificador
D12-A3	Tapa del sistema principal		
Subsistema de preparación	Ensamble	E04-A3	Recipiente de preparación
		E05-A3	Cubierta superior del recipiente
		E06-A3	Sistema de ventilación
	Despiece	D13-A3	Tapa del sistema de preparación
		D14-A3	Cuerpo interno del sistema de preparación
		D15-A3	Recipiente interno extraíble
		D16-A3	Base de calentamiento
D17-A3	Soporte del sensor de ultrasonido 1		
Subsistema de preparación	Ensamble	E07-A3	Detector de altura de granos
	Despiece	D18-A3	Soporte de sensor de ultrasonido 2
		D19-A3	Tapa del sistema de descarga
		D20-A3	Tubería de descarga
Subsistema de energía	Ensamble	E08-A3	Caja de protección de circuitos
	Despiece	D21-A3	Tapa de caja de protección de circuitos
		D22-A3	Cuerpo de caja de circuitos
		D23-A4	Compuerta de la zona de circuitos

3.9. Diagramas esquemáticos de los circuitos de la máquina automática de cocción de granos de maíz

En la Figura 3.19, se muestra el diagrama electrónico principal de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Esta se puede apreciar con más detalle en el Anexo D. Asimismo, se ilustran detalladamente cada una de las conexiones de los componentes electrónicos del sistema.

Las conexiones a nivel interno son digitales y el sistema se alimenta externamente con 220VAC. Todo estará controlado por el microcontrolador Arduino Micro Atmega 32U4 – MU, cuyo diagrama eléctrico es presentado en la Figura 3.20.

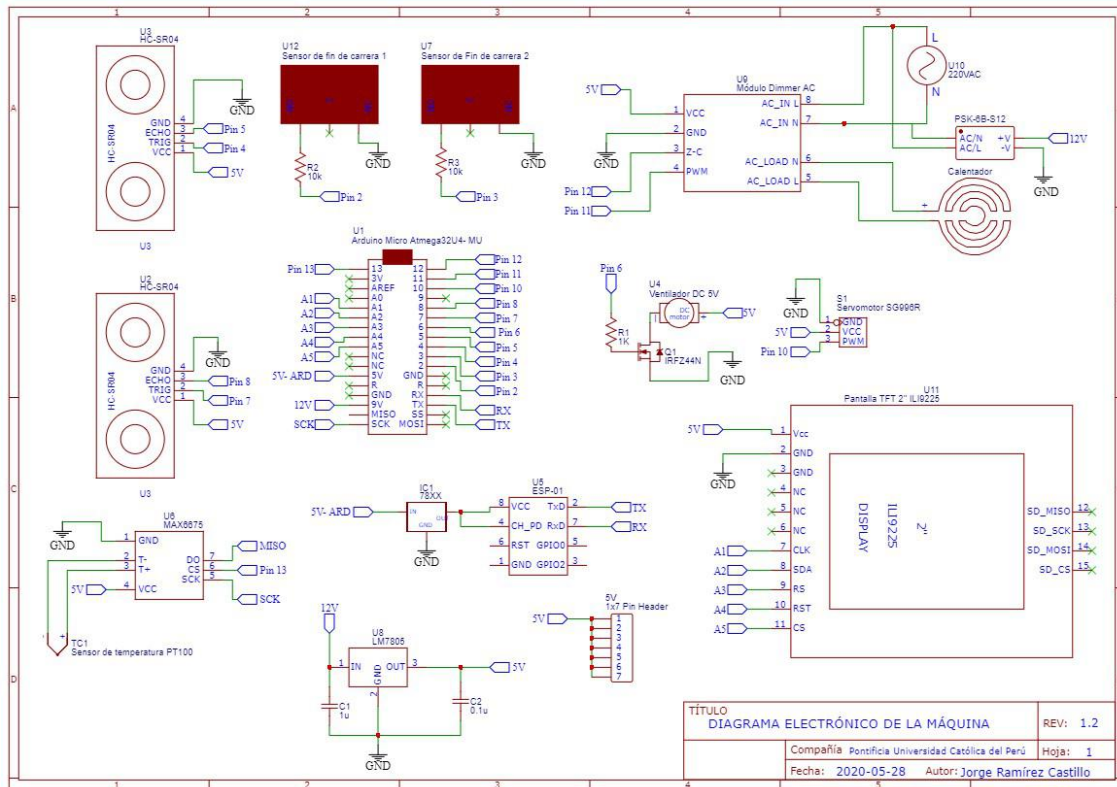


Figura 3.19: Diagrama electrónico de la máquina de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.

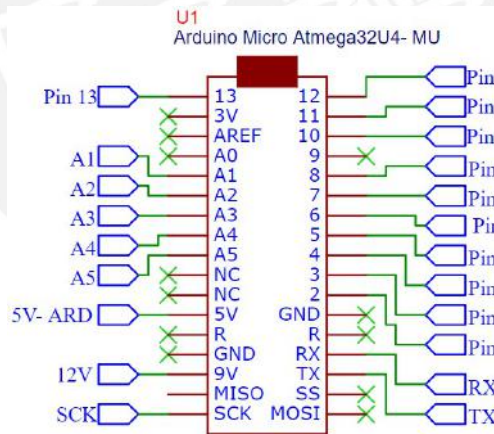


Figura 3.20: Diagrama de conexiones del microcontrolador. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.21, se ilustran las conexiones para los dos sensores de ultrasonido, los cuales son alimentados cada uno con 5V y emplean los pines 4-5 y 7-8 respectivamente. Estos pines corresponden a una entrada llamada *trig*, que es el que genera una onda sónica y otro denominado *echo*, el cual recibe una señal cuando las ondas rebotan en algún objeto. Gracias a esto, se pueden realizar dos cosas: medir la distancia o detectar presencia hacia un objeto.

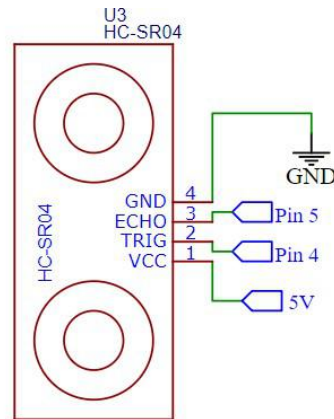


Figura 3.21: Conexiones del sensor de ultrasonido HC-SR04. Fuente: Elaboración propia.

Otro componente electrónico del sistema es el sensor de temperatura de dos hilos PT100, el cual va conectado hacia el transmisor MAX6675, el cual amplifica y transforma el voltaje proporcionado por el sensor en una señal digital, como se observa en la Figura 3.22.

Las conexiones con el microcontrolador corresponden a los pines seriales *MISO* (Master Slave Input Output, es el pin por donde se reciben los datos), *CS* (Chip Select, habilitar el envío de información) y *SCK* (la señal del reloj) del Arduino.

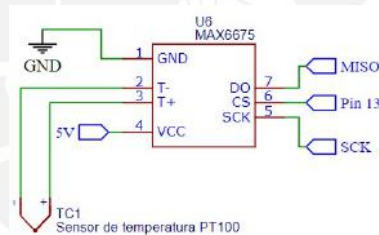


Figura 3.22: Conexiones del sensor de temperatura PT100 y el transmisor MAX6675. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.23 se presenta un circuito divisor de voltaje, que permite transformar los 12V proporcionados por la fuente de alimentación en 5V, los cuales permitirán alimentar cada uno de los componentes electrónicos que forman parte de la máquina.

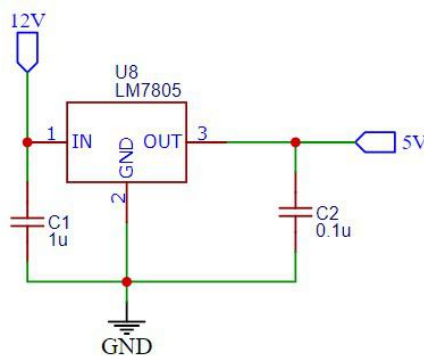


Figura 3.23: Circuito divisor de voltaje (12V a 5V). Fuente: Elaboración propia.

El módulo WIFI modelo ESP-01, es el encargado de recibir la señal de activación. Este componente trabaja a 3.3V, por lo cual se empleó un regulador de voltaje 78XX, el cual permite reducir el voltaje de entrada de 5V proporcionado directamente por el Arduino. Asimismo, va conectado a los pines *TX* y *RX*, los cuales permiten transmitir y recibir datos seriales. Esto se encuentra detallado en la Figura 3.24.

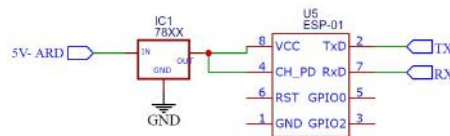


Figura 3.24: Conexiones del módulo WIFI ESP-01. Fuente: Elaboración propia.

El presente circuito, que se ilustra en la Figura 3-31, representa la división del voltaje de 5V para permitir alimentar cada uno de los componentes, en 7 pines distintos. Este va de la mano con el circuito divisor de voltaje de la Figura 3.25.

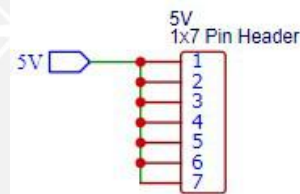


Figura 3.25: Circuito de pines de 5V para alimentación de componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia.

Ahora, se presenta la conexión de la pantalla LCD para la interfaz de usuario, modelo ILI9225 de 2". Se observa en la Figura 3.26 que los pines *CLK*, *SDA*, *CS*, *RST* van conectados a los pines analógicos del microcontrolador. El protocolo de comunicación que usa este dispositivo es I2C, el cual es un protocolo de comunicación serial en donde solo se tienen dos canales de comunicación. Esto pines pines permiten ser definidos en la programación como pines digitales.

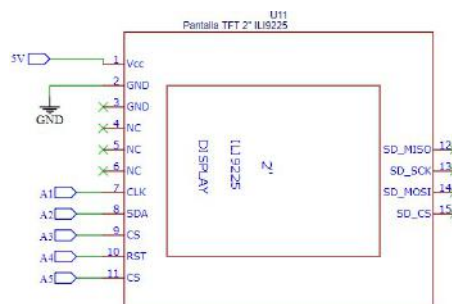


Figura 3.26: Conexiones de la pantalla LCD ILI9225 de 2". Fuente: Elaboración propia.

Luego, se cuenta con un circuito para la conexión del ventilador, como se presenta en

la Figura 3.27, que funciona con un motor DC de 5V. El pin 6 corresponde al pin PWM del Arduino, y se encuentra conectado a un MOSFET IRFZ44N con una resistencia de 1K en la puerta del mismo. Por otro lado, la entrada de fuente va conectada a tierra y la de drenaje hacia el motor DC, que a su vez se encuentra conectado a la fuente de 5V.

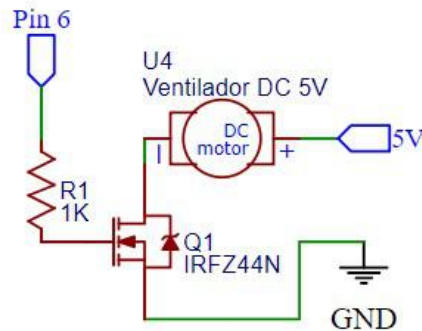


Figura 3.27: Circuito de conexión del ventilador DC de 5V. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las conexiones del servomotor, como se ve en la Figura 3.28. Este componente, al igual que el motor DC, tiene una conexión hacia un pin PWM y se alimenta con una tensión de 5V. El modelo empleado es un servomotor MG996R.

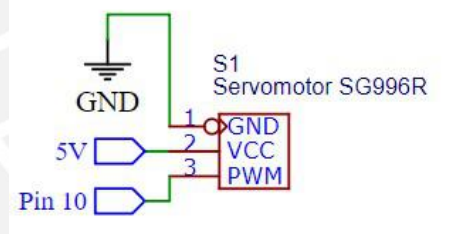


Figura 3.28: Circuito de conexión del servomotor MG996R. Fuente: Elaboración propia.

El sistema también cuenta con dos sensores de fin de carrera, que van a permitir detectar los momentos en que el sistema dosificador alcanza una posición deseada. En la Figura 3.29 se ilustra que estos componentes van conectados a los pines 2 y 3, a los que se les enviará una señal cuando los interruptores sean presionados.

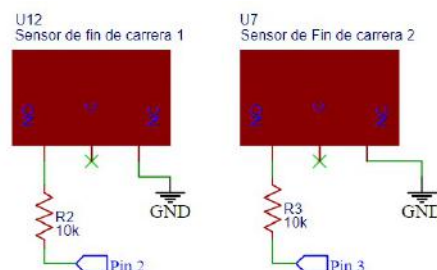


Figura 3.29: Conexiones de los sensores de fin de carrera. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se tiene el módulo *Dimmer AC*, un componente electrónico empleado para el control de cargas de corriente alterna por medio del microcontrolador, ilustrado en la Figura 3.30. Tal como se explica en la hoja de datos, cuenta con 2 tipos de circuito: un detector de cruce por cero y un triac. El primero es el encargado de detectar los momentos en que el voltaje de corriente alterna se encuentra en 0V, mientras que el segundo se encarga de permitir el paso de la corriente alterna. Los conexiones van hacia los pines 11 y 12 del Arduino. El pin 11, es PWM y el pin 12 corresponde a una salida digital. El uso de este componente va a permitir controlar la temperatura que alcance la bobina eléctrica, para el proceso de cocción de los granos de maíz. Asimismo, se observa la conexión de la fuente de alimentación PSK-6B-S12, la cual convierte una entrada de 220VAC en 12V, para alimentar los dispositivos electrónicos del sistema.

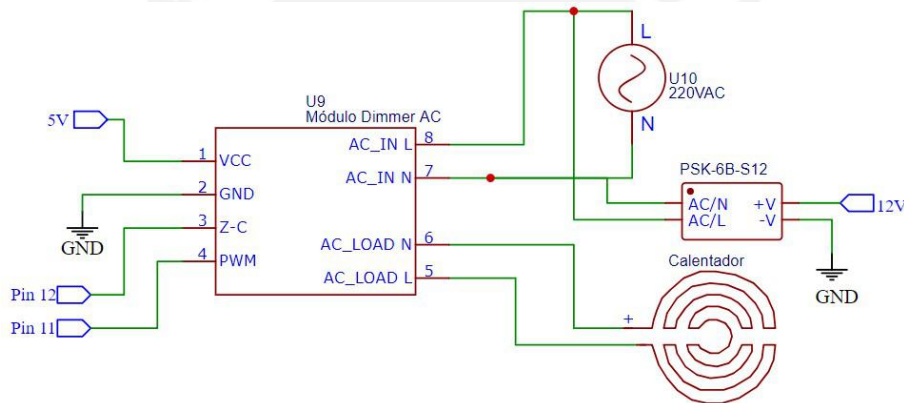


Figura 3.30: Conexiones de alimentación y de la bobina eléctrica con el módulo Dimmer AC. Fuente: Elaboración propia.



Capítulo 4

Diseño de la Interfaz Cerebro-Computador

La Interfaz Cerebro-computador (BCI) es el componente del sistema que permite realizar la detección del momento previo a una caída del rendimiento cognitivo en los estudiantes, analizando las señales cerebrales provenientes del casco EEG y obteniendo la representación de los estados mentales de atención, fatiga y estrés, para posteriormente realizar el envío de la señal de activación hacia la máquina automática de cocción de granos de maíz.

El presente capítulo abarcará la descripción del desarrollo del paradigma del experimento con ayuda del equipo *g.Nautilus*, utilizado para la recolección de las señales electroencefalográficas (EEG). Asimismo, serán descritos cada uno de los métodos, procedimientos y algoritmos empleados para realizar la detección del momento de bajo rendimiento cognitivo en los conjuntos de datos analizados, tanto para los estudiantes universitarios como para los conductores en los simuladores de manejo.

4.1. Adquisición de datos

En este subcapítulo serán descritos los conjuntos de datos considerados para el desarrollo del presente trabajo, los sujetos que participaron del experimento, los canales EEG empleados y el equipo utilizado para el procesamiento de información.

El primer conjunto de datos correspondiente al estudio de Zehong Cao fue seleccionado específicamente para el desarrollo, pruebas y validaciones del método de detección de bajo rendimiento. Por otro lado, el conjunto de datos, que corresponde a las grabaciones con el equipo g.Nautilus Pro, fue utilizado únicamente para realizar las pruebas finales y validación del prototipo para el método propuesto.

4.1.1. Conjunto de datos 1: Experimentos realizados por Zehong Cao

27 voluntarios (25 ± 4.2 años) sin ninguna discapacidad visual, motora y sin ningún registro de problemas para dormir o abuso de drogas, fueron considerados para el experimento. Asimismo, se les pidió a los sujetos que no consuman alcohol, estimulantes o realicen ejercicio físico de alta intensidad previo a la realización de las grabaciones. Fueron grabadas 62 sesiones con una duración de 90 minutos, muestreadas a 500 Hz, con un equipo alámbrico *Quick-Cap* de 32 canales Ag/AgCl de la marca *Compumedics NeuroScan*. Los electrodos fueron colocados de acuerdo al sistema 10/20.

El paradigma del experimento se basó en mantener el vehículo en el centro de un carril, en un entorno visualmente monótono, formado por 4 carriles sin tráfico. Eventos de desviación de carril eran introducidos de manera aleatoria moviendo el vehículo hacia la izquierda o la derecha. Los participantes tenían que compensar rápidamente esta perturbación regresando el carro hacia el carril inicial.

Para evitar la influencia de otros factores durante la tarea, los participantes debían limitarse únicamente a girar el volante, sin controlar el acelerador o el pedal del freno, pues el carro de movía a una velocidad de crucero. En la Figura 4.1(a) se muestra el diseño experimental, mientras que en la Figura 4.1(b), se muestra la vista del entorno del simulador.

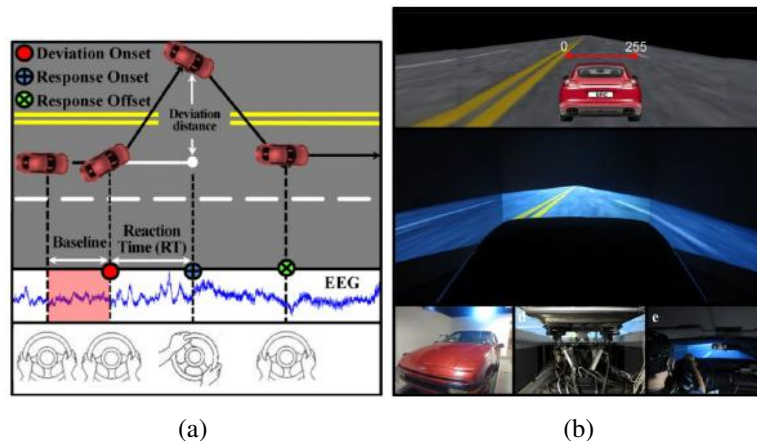


Figura 4.1: (a) Diseño del experimento y comportamiento de las señales EEG. (b) Simulador de manejo basado en realidad virtual. Fuente: Extraído de: (Cao et al., 2019)

4.1.2. Conjunto de datos 2: Experimentos con el equipo *g.Nautilus*


Dos estudiantes con 22 y 23 años sin antecedentes por desórdenes neurológicos o abuso de drogas participaron de las grabaciones. Previo al experimento se les indicó no ingerir sustancias estimulantes, como café, alcohol o tabaco, ni hacer ejercicio físico extenuante hasta 48 horas antes de la participación. Fueron grabadas 7 sesiones en total muestreadas a 500 Hz con una duración de 30 minutos, de las cuales solo 3 contenían información relevante. Se empleó el casco EEG *g.Nautilus* de 32 electrodos secos, dispuestos de acuerdo al sistema 10/20.

El paradigma del experimento se basó en que los estudiantes debían sentarse en un ambiente tranquilo y sin distracciones a estudiar cursos de sus facultades, mientras portaban el casco en todo momento. De esta manera, fueron realizados dos tipos de pruebas con las grabaciones: fuera de línea y en línea. Las primeras para recolectar las señales y analizarlas posteriormente; y las segundas, para probar en tiempo real el funcionamiento del método diseñado.

4.1.3. Dispositivo empleado para procesamiento y adquisición de datos

Todos los conjuntos de datos obtenidos fueron procesados y analizados en una laptop de la marca HP con las características que se muestran en la Tabla 4.1. Esta tiene las especificaciones adecuadas para realizar la programación de los algoritmos, procesar los conjuntos de datos y realizar pruebas en tiempo real.

Tabla 4.1: Especificaciones de la computadora empleada para el análisis de las señales EEG. Fuente: Elaboración propia.

HP Envy 15- Q002la	
Características	
Procesador	Intel® Core™ i7-4712HQ a 2.3 GHz
Memoria RAM (GB)	SDRAM DDR3L de 12 GB
Gráficas de video	NVIDIA GeForce GTX 850M con memoria de video DDR3 dedicada de 4096 MB + 10206 MB de memoria de gráficos en total
Sistema operativo	Windows 10 de 64 bits

4.2. Pre-procesamiento de señales EEG

La etapa de pre- procesamiento consistió en aplicar un filtro IIR pasa-banda de orden $N=142$ a las señales EEG, entre las frecuencias de 0.5 y 50 Hz. Se seleccionó este tipo de filtro debido a la baja latencia para el procesamiento en tiempo real y también el bajo consumo de memoria. Los canales seleccionados para evaluar los datos en ambos experimentos fueron 10: F7, F8, FT7, FT8, T7, T8, TP7, TP8, PZ Y OZ, junto con 2 electrodos de referencia colocados en la zona mastoidea del cráneo, tal como se muestra en la Figura 4.2. De acuerdo a la literatura, las cortezas pre-frontales (Hathaway y Newton, 2019), parietales (Patel, He, y Corbetta, 2009) y occipitales (Galetta, 2017) están relacionadas a todos los procesos de atención, comportamiento y procesamiento de información del entorno, a través de los sentidos de las personas.

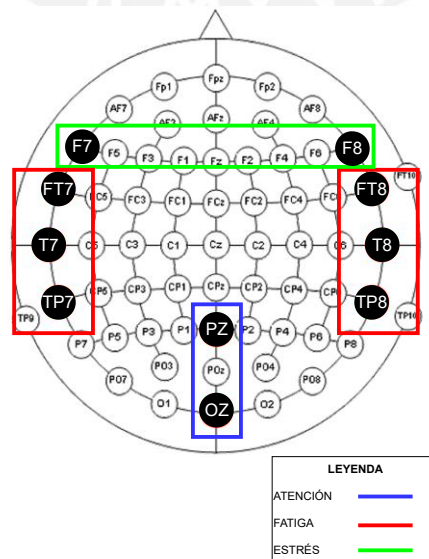


Figura 4.2: Canales empleados de acuerdo al sistema 10/20. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Procesamiento de las señales

Este procedimiento consiste en seleccionar los datos más representativos. Debido a que las señales proporcionadas por el dispositivo *g.Nautilus* consisten en matrices de 2 dimensiones, canales por puntos de tiempo, se empleó el software de análisis fue MATLAB R2019b de la empresa The Mathworks, Inc, por ser una herramienta muy versátil para el análisis y operaciones con matrices. El proceso de cuantificación de los estados mentales empieza con el diagrama de flujo presentado en la Figura 4.3, la cual es una fase extracción de la señales en las bandas de frecuencia de interés.

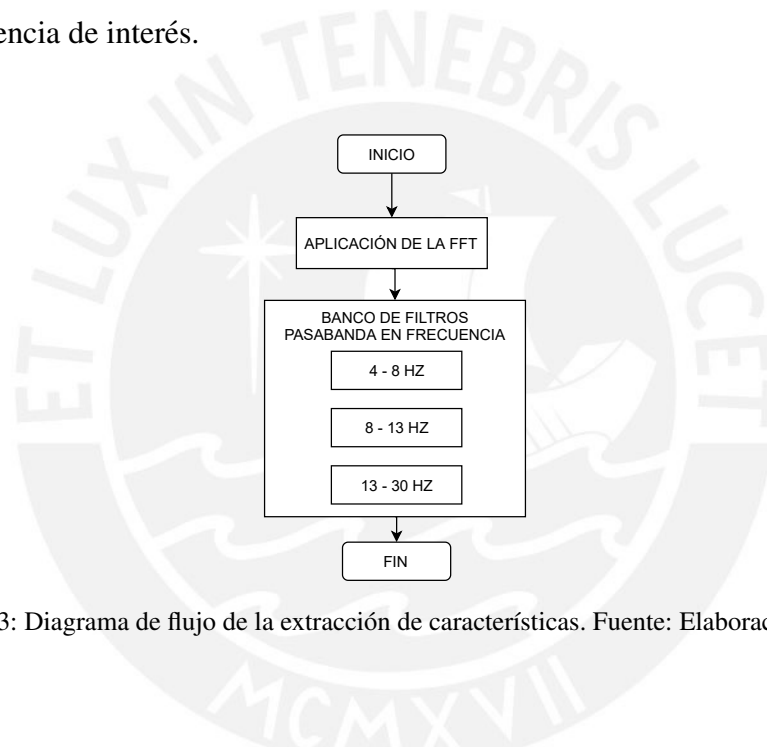


Figura 4.3: Diagrama de flujo de la extracción de características. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se realizó un análisis en frecuencia, empleando la Transformada rápida de Fourier (FFT) en ventanas de tiempo con una longitud de tres segundos y un traslape del 50 %, en cada una de las señales EEG. Una vez hecho esto, se calculó la potencia absoluta promedio $P_{X_i}(f)$ en las bandas de frecuencia de interés $[f_L, f_H]$ en cada punto de tiempo sobre un subconjunto de n canales X . Los rangos de frecuencia empleados en cada banda son los siguientes: *theta* (θ) $\in [4,8]$ Hz, *alpha* (α) $\in [8,13]$ Hz y *beta* (β) $\in [13,30]$ Hz. Esta función I , se presenta en la ecuación 4.1.

$$I_{f \in [f_L, f_H]}(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{f=f_L}^{f_H} \underbrace{2 * |FFT(X_i)|^2}_{P_{X_i}(f)} \quad (4.1)$$

4.4. Representación de los estados mentales de Atención, Fatiga y Estrés

Algunos procesos de atención están relacionados con cambios en la potencia espectral de los canales OZ y PZ, como se mostró en la Figura 4.2. Específicamente, cambios en las bandas *beta* y *alpha* proporcionan información valiosa acerca de la afinidad de la persona frente a la actividad que está ejecutando. El índice de atención (AI) se calculó usando el ratio *beta-alpha* sobre los canales mencionados, como se observa en la ecuación 4.2.

$$AI = \frac{I_{\beta}(OZ, PZ)}{I_{\alpha}(OZ, PZ)} \quad (4.2)$$

El estado de fatiga mental está asociado con el incremento en el poder espectral de las bandas *theta* y *alpha* de los lóbulos temporal y occipital (Jap et al., 2009), y la reducción del poder espectral de la banda *beta* en los lóbulos parietal y temporal (Ko et al., 2017). Así, el índice de fatiga (FI) fue calculado con la ecuación 4.3, empleando los canales T7, T8, TP7, TP8, PZ, OZ, T3, PZ y T4, como se ilustró en la Figura 4.2.

$$FI = \frac{I_{\alpha}(TP7, T3, TP8, T4, OZ) + I_{\theta}(TP7, T3, TP8, T4, OZ)}{I_{\beta}(T3, PZ, T4)} \quad (4.3)$$

El estado de estrés tiene un impacto en la corteza frontal, la cual está vinculada a diversos procesos emocionales (Lewis, Weekes, y Wang, 2007). Diversos estudios sugieren que en presencia del estrés, la potencia espectral en los canales frontales derechos se incrementa, mientras que en el lado izquierdo disminuye (Giannakakis et al., 2015) (Tiinanen et al., 2011). De esta manera, el índice para el estrés (SI), como se aprecia en la ecuación 4.4, fue calculado de acuerdo a la asimetría frontal de los canales F7 y F8, cuyas ubicaciones se ilustraron en la Figura 4.2.

$$SI = \log(I_{\alpha}(F8)) - \log(I_{\alpha}(F7)) \quad (4.4)$$

Una vez cuantificados estos estados, se procedió a calcular un *baseline* para los cinco primeros minutos de las sesiones para cada uno de los estados mentales a ser detectados, que sirvió para establecer o definir el estado mental actual de la persona en dicha sesión, re-referenciando los valores consecutivos de cada uno de los estados. Para el cálculo de este *baseline*, se empleó

una media aritmética de los valores durante este periodo y luego una normalización de los datos alrededor de esta media, con el fin de detectar variaciones significativas en la señal, como se presentará en el siguiente subcapítulo.

4.5. Calibración para establecer el *baseline* para los estados mentales

A lo largo de las etapas de calibración y evaluación para los 3 estados mentales, contenidos y representados por los vectores \vec{S}_c y \vec{S}_e respectivamente, se aplicó un filtro mediano móvil para suavizar y remover valores atípicos para cada uno de los estados mentales.

Durante el periodo de calibración representado por \vec{S}_c , donde $c \in [0, 5[$ min, se calculó la media $\mu(\vec{S}_c)$ y la desviación estándar $\sigma(\vec{S}_c)$ para cada estado mental contenido en el vector, usándolos como parámetros para el cálculo del *baseline*. Luego, se aplicó un *z-score* para la data consecutiva \vec{S}_e , con $e \in [5, \infty[$ es el periodo de evaluación para obtener cada uno de los estados mentales re-referenciados \vec{S}'_e , como se presenta en la ecuación 4.5, la cual fue aplicada a cada uno de los índices de los estados mentales.

$$\vec{S}'_e = \frac{\vec{S}_e - \mu(\vec{S}_c)}{\sigma(\vec{S}_c)} \quad (4.5)$$

4.6. Desarrollo del algoritmo para la detección de caída de rendimiento cognitivo

Una vez terminado el análisis previo, se procedió con el diseño del algoritmo para la detección del momento de bajo rendimiento. Para realizar esto, en primer lugar, se empleó el criterio de la primera derivada para calcular valores extremos relativos para las gráficas obtenidas para cada uno de los estados mentales.

De esta manera, para un momento dado, se tomaron valores de las señales de los estados mentales en los instantes previos, extrayendo de la señal un intervalo de valores $[a, b]$. Las gráficas de las señales son continuas y derivables dentro de este intervalo. Seguidamente, se calculó $f'(x)$ (función que representa la primera derivada de las señales de los estados mentales) para el intervalo dado de puntos de tiempo $[a, b]$. Es importante mencionar que el valor umbral, el cual determina la sensibilidad con la que se detectará el crecimiento o decrecimiento de la señal de

los estados mentales, denominado *umbralEM*, es un valor aproximado, que se obtuvo luego de analizar las pendientes de las diferentes señales y se ajustó para satisfacer a las gráficas para cada uno de los usuarios. Asimismo, la función $g(x)$, sirve para representar el estado creciente de una señal, la cual se obtiene a partir de comparar $f'(x)$ respecto al *umbralEM*, en base a los criterios presentados a continuación:

(i) Cuando $f'(x) > \text{umbralEM} \rightarrow g(x) = k$, donde k es una constante

(ii) Cuando $f'(x) < \text{umbralEM} \wedge f'(x) \sim \text{umbral} \rightarrow g(x)=0$

Por último, al analizar los momentos crecientes de cada estado mental por medio de la función $g(x)$, se obtiene la representación de los valores de tiempo en los que la tendencia es creciente en las gráficas de los estados mentales de fatiga, estrés y atención, t_f , t_s y t_a , respectivamente; una caída de rendimiento cognitivo se identifica si es que una de las siguientes condiciones de verdadera: $t_f \geq T_f \wedge t_a \leq T_a$, $t_s \geq T_s \wedge t_a \leq T_a$, $t_f \geq T_f \wedge t_s \geq T_s$. T_f , T_s y T_a son los valores de tiempo máximos para cada estado mental. La obtención de estos valores límites se obtuvo a partir de lo mencionado en la literatura respecto a la duración y manifestación de estos estados para actividades que demandan una carga cognitiva (Guo et al., 2016) (Joëls et al., 2006) (Wong, 2015) (Thiffault y Bergeron, 2003). En la Figura 4.4, se observa el detalle de estas condiciones.

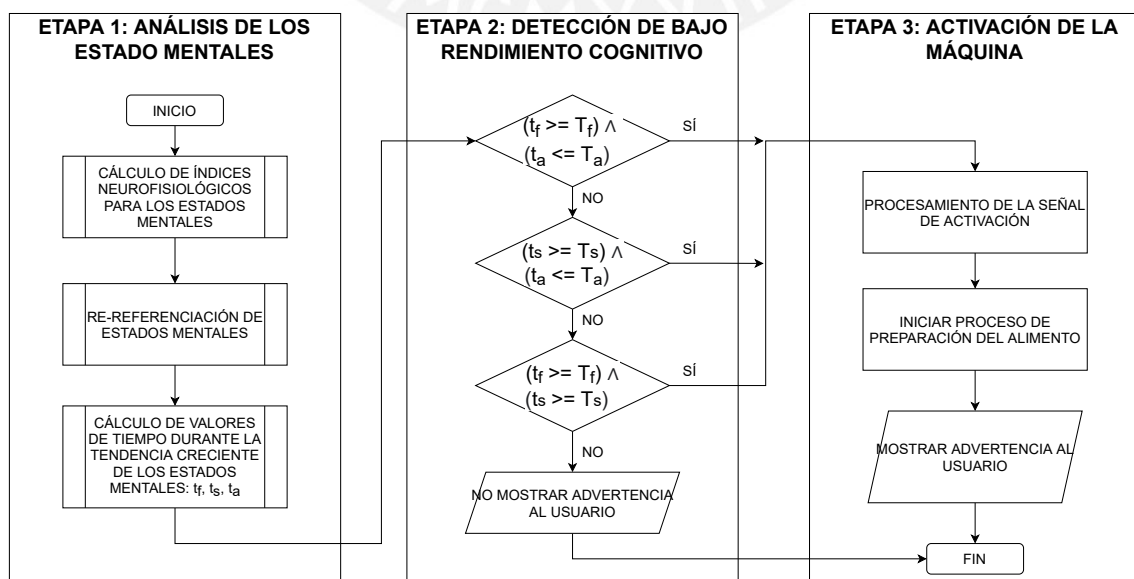


Figura 4.4: Diagrama de flujo del proceso de detección. Fuente: Elaboración propia.

4.7. Implementación del algoritmo para detección de caída de rendimiento cognitivo

Como se mencionó en el capítulo previo, luego de haber analizado las señales para encontrar patrones y tendencias, se procedió a implementar el algoritmo que permita explicar estos fenómenos numéricamente, para obtener una representación gráfica para los estados mentales. De esta manera, se presenta un ejemplo de la obtención del momento previo a un bajo rendimiento cognitivo del conjunto de datos 1 de Zehong Cao, mostrado en la Figura 4.5, para una sesión que tuvo una duración promedio de 72 minutos y la detección ocurrió aproximadamente al minuto 40.

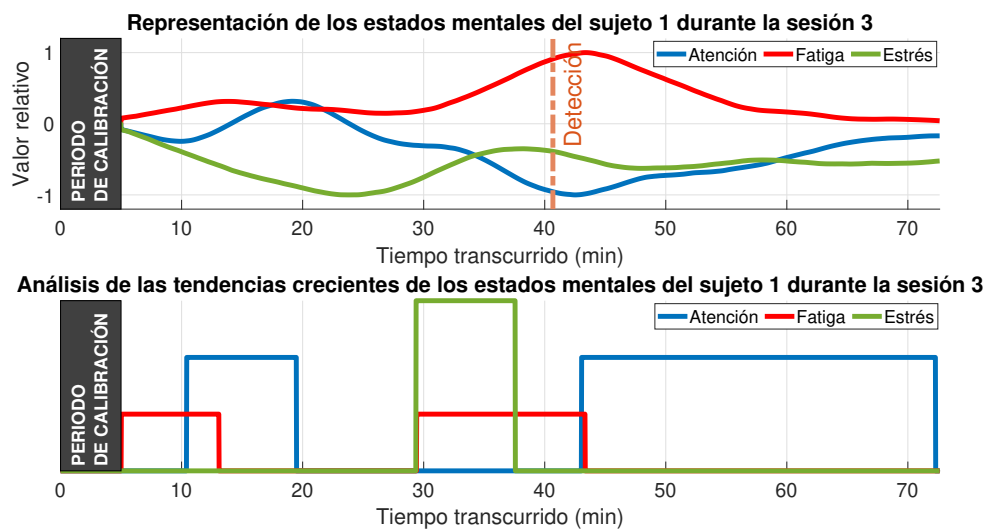


Figura 4.5: Detección de los momentos de bajo rendimiento cognitivo para el sujeto 1 durante la sesión 3.
Fuente: Elaboración propia.

Toda sesión inicia con la calibración durante los 5 minutos iniciales, para obtener un *baseline* para cada uno que permita re-referenciar dichos estados a la situación actual del usuario. En gráfica de la parte superior se observan cada uno de los estados mentales representados por distintos colores y el momento de detección, representado por una línea punteada de color naranja. En este caso, la condición que se cumplió fue que, tanto el estado de fatiga como el estrés, tuvieron un crecimiento en sus valores relativos sobre los límites de tiempo permitidos, representados por T_f y T_e , mientras que la atención tuvo un comportamiento decreciente durante este periodo de evaluación. Asimismo, se puede observar que el crecimiento de la señal de atención hacia el final de la sesión luego de haber detectado la caída de rendimiento puede significar que la persona está realizando un esfuerzo por mantenerse en este estado. La gráfica

de la parte inferior ilustra los momentos en que la gráfica ha mantenido una tendencia creciente, donde los valores son constantes cuando las señales tienen un comportamiento creciente o permanecen en cero en cualquier otro caso.

4.8. Configuración experimental con el equipo g.Nautilus

Se describe de manera detallada el entorno de operación, los procesos de experimentación fuera de línea y en línea, empleando los métodos utilizados para la recolección y procesamiento de los datos realizados con el equipo g.Nautilus para la validación del método propuesto.

4.8.1. Grabaciones del experimento fuera de línea

Este análisis para la adquisición de datos consiste en una fase previa al experimento y otra durante el experimento, como se observa en la Figura 4.6. En la primera, se les colocaba el casco EEG a los participantes, verificando las impedancias, y permitiéndoles acostumbrarse a portar el casco para entrar relajados a la etapa de experimentación.

Durante esta, los participantes se encontraban sentados cómodamente en un entorno controlado, mientras el dispositivo EEG recolectaba los datos continuamente por un periodo de 30 minutos, mientras que realizaban una actividad que les demanda una carga cognitiva, como estudiar para evaluaciones de los cursos de sus facultades. Culminada la sesión y con los datos obtenidos, se realiza un análisis posterior para probar distintos métodos y analizar las tendencias de los estados mentales, para finalmente elaborar el algoritmo de detección de bajo rendimiento cognitivo.

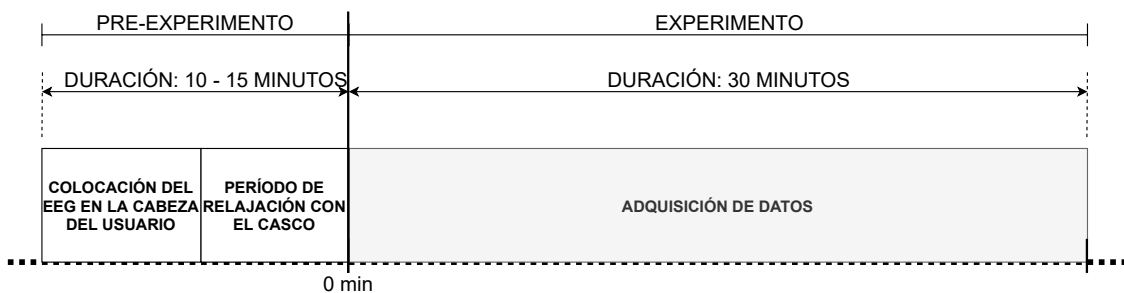


Figura 4.6: Línea de tiempo del experimento fuera de línea. Fuente: Elaboración propia.

4.8.2. Grabaciones del experimento en línea

En la Figura 4.7, se observa la línea de tiempo para el procedimiento en línea. Nuevamente, se tiene una etapa de pre-experimentación para la colocación del casco de electrodos, verificación de electrodos y para permitir que el usuario se relaje antes del inicio de la experimentación. En este tipo de sesiones únicamente se evaluará en tiempo real el algoritmo de detección de bajo rendimiento cognitivo, obtenido luego de realizar el análisis con las grabaciones fuera de línea.

En la etapa de experimentación, los primeros cinco minutos de la sesión sirven para establecer un *baseline* respecto a los estados mentales actuales de la persona, que permita re-referenciar los valores consecutivos de acuerdo a este valor. Para el procesamiento de las señales cerebrales se siguieron los procedimientos que serán mostrados a continuación. El valor $t1$ es un retardo de desfase de corta duración que tarda el sistema en realizar la calibración y t es el tiempo, en caso exista, del lanzamiento de la señal de advertencia para activar la máquina automática. Se considera que el tiempo de la sesión es indefinido, pero idealmente no debe sobrepasar de una hora de duración.

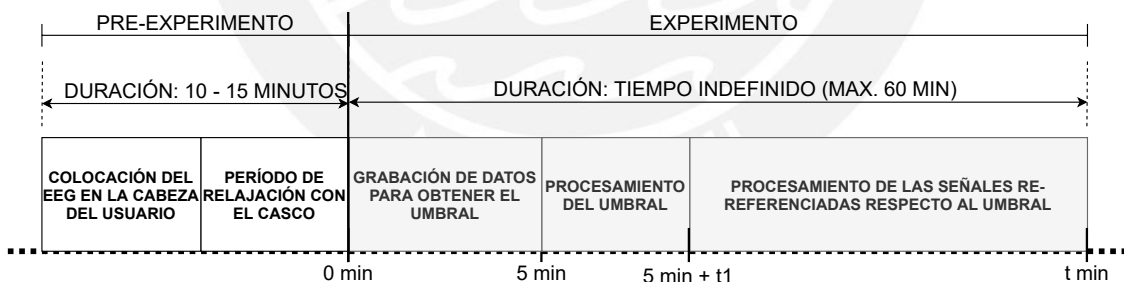


Figura 4.7: Línea de tiempo para una sesión del experimento. Fuente: Elaboración propia.

4.8.3. Entorno de operación del sistema

El entorno de operación es como se presenta en la Figura 4.8. La persona se encontrará dentro de una habitación, sentada en una silla cómoda, con un escritorio de tamaño regular, una laptop y el dispositivo EEG colocado sobre su cabeza, mientras realiza una actividad cognitiva, como por ejemplo estudiar.



Figura 4.8: Entorno de operación del sistema. Fuente: Elaboración propia.

4.8.4. Prototipos y pruebas del sistema

Para mostrar la operación del sistema y realizar demostraciones en tiempo real con el método de detección desarrollado, se implementó un primer prototipo funcional que ilustra el funcionamiento básico del sistema. Este consiste en ingresar cada una de las señales EEG provenientes del casco g.Nautilus grabadas previamente en los usuarios y realizar el procesamiento a través de Simulink, considerando cada una de las etapas mencionadas en las secciones previas para enviar la señal de activación hacia la máquina de cocción de granos de maíz mediante una comunicación serial. El diagrama de funcionamiento se presenta en la Figura 4.9.

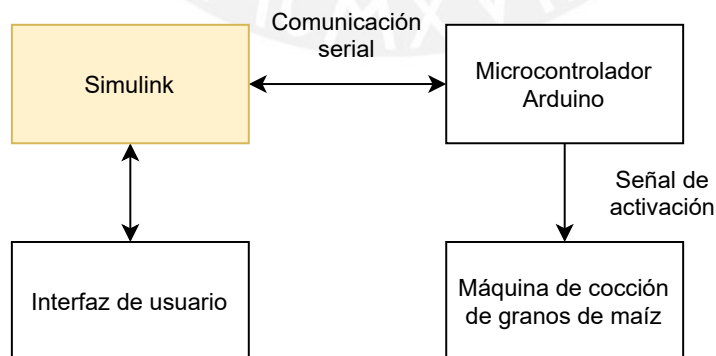


Figura 4.9: Diagrama de funcionamiento del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

a. Implementación de un prototipo funcional

El prototipo desarrollado está conformado por 2 elementos importantes: la máquina de cocción de granos de maíz comercial adaptada para activarse de forma automática al recibir una

señal de activación proveniente de Simulink y la computadora para realizar el procesamiento de las señales obtenidas, tal como se ilustra en la Figura 4.10. Se probaron los distintos conjuntos de datos grabados con el g.Nautilus Pro, implementando el algoritmo diseñado para mostrar el funcionamiento en tiempo real.



Figura 4.10: Entorno de operación del prototipo. Fuente: Elaboración propia.

b. Estructura del programa en Simulink

Para poder dar inicio al análisis de las señales, se debe presionar el botón "Iniciar" desde la interfaz gráfica del usuario, como se aprecia en la Figura 4.11.

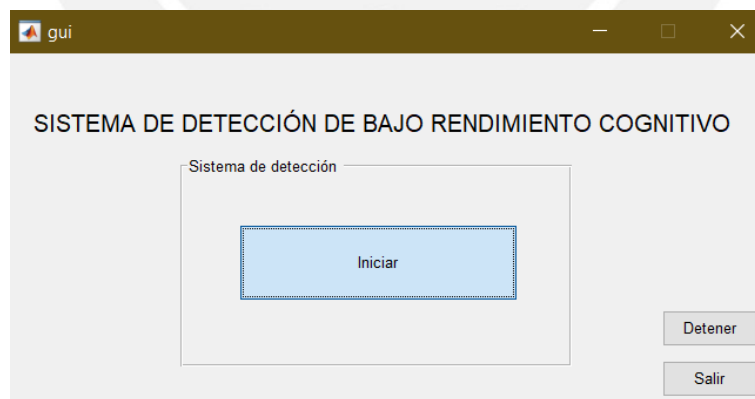


Figura 4.11: Interfaz gráfica para dar inicio al programa. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se tienen los bloques para leer la señal previamente grabada, el filtro IIR para extraer la señal entre las frecuencias de 0.5 - 50 Hz y el bloque para obtener la representación para cada uno de los estados mentales del usuario. Estos bloques se aprecian en la Figura 4.12.

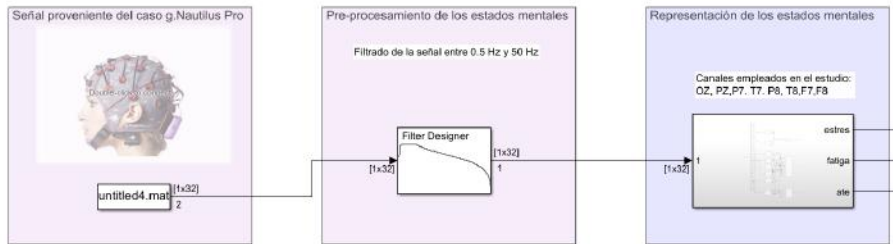


Figura 4.12: Sección 1 del programa de Simulink. Fuente: Elaboración propia.

Luego, se cuenta con el bloque para obtener la re-referenciación de los estados luego de la etapa de calibración inicial de 5 minutos. Esta permite obtener la condición mental del usuario para la sesión actual. Conectado a este se encuentra el bloque que analiza las tendencias de las señales obtenidas para cada uno de los estados mentales. Finalmente, los parámetros obtenidos de este, entran al bloque que contiene la lógica para establecer el momento de detección para el usuario y lanzar la señal de activación para la máquina.

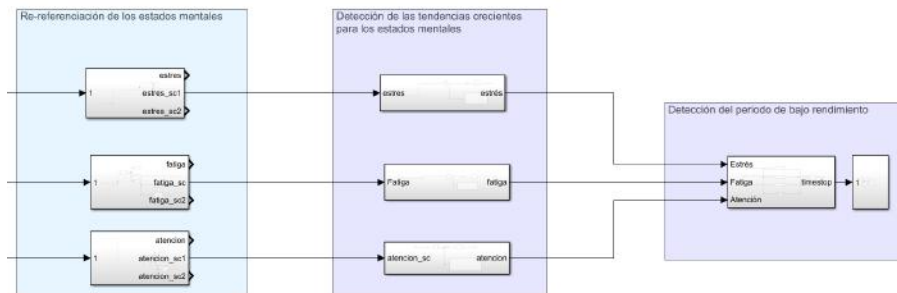


Figura 4.13: Sección 2 del programa de Simulink. Fuente: Elaboración propia.

Por último, el programa cuenta con una interfaz para mostrar el tiempo transcurrido de la sesión y un indicador para mostrar el momento en que la máquina ha sido activada, dando la advertencia al usuario para detenerse y tomar un descanso.

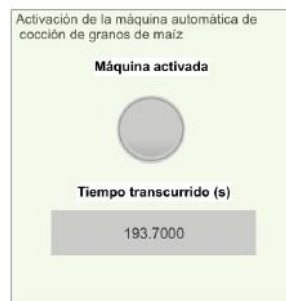


Figura 4.14: Interfaz gráfica para mostrar activación de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5

Resultados de la detección de estados mentales

En el presente capítulo, se discutirá acerca de los resultados obtenidos para la detección de los periodos de bajo rendimiento de los usuarios empleando el algoritmo diseñado y poniéndolo a prueba en los conjuntos de datos de los estudios descritos en el capítulo 4, para así conocer el momento para enviar la señal de activación a la máquina e iniciar la preparación de los granos de maíz. El algoritmo fue probado en 86 conjuntos de datos en total, de los cuales 62 corresponden al conjunto de datos 1, del estudio realizado por Zehong Cao, 3 correspondientes al conjunto de datos 2, obtenidos durante las grabaciones con el equipo g.Nautilus, para la validación de los resultados, y 21 conjuntos de datos adicionales, pertenecientes al estudio de Zheng Wei – Long, para contrastar algunas observaciones.

5.1. Evaluación de índices para la detección de estados mentales

En este subcapítulo serán descritos los distintos métodos evaluados para los estados mentales, para luego seleccionar aquel que tuvo un comportamiento similar entre los diferentes sujetos en los diferentes conjuntos de datos analizados.

5.1.1. Conjunto de datos 1

Se probaron distintos métodos para representar los estados mentales, a través de índices neurofisiológicos, como se mencionó en el capítulo 3. Para la atención, fueron evaluados cuatro índices diferentes, cada uno con sus propias ubicaciones de electrodos y combinaciones de las bandas de frecuencia. En las Figuras 5.1 y 5.2, se observan las gráficas para distintos sujetos del conjunto de datos 1. El método que presentó una tendencia uniforme al ser puesto a prueba en distintos sujetos, fue el índice β/α , tal como se aprecia en las imágenes.

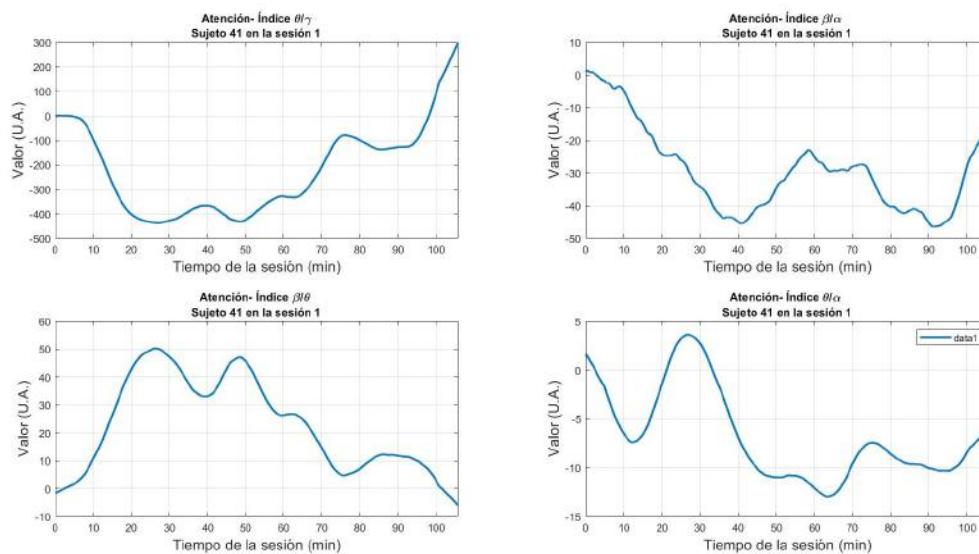


Figura 5.1: Gráficas de los métodos para analizar el estado de atención del sujeto 41. Fuente: Elaboración propia.

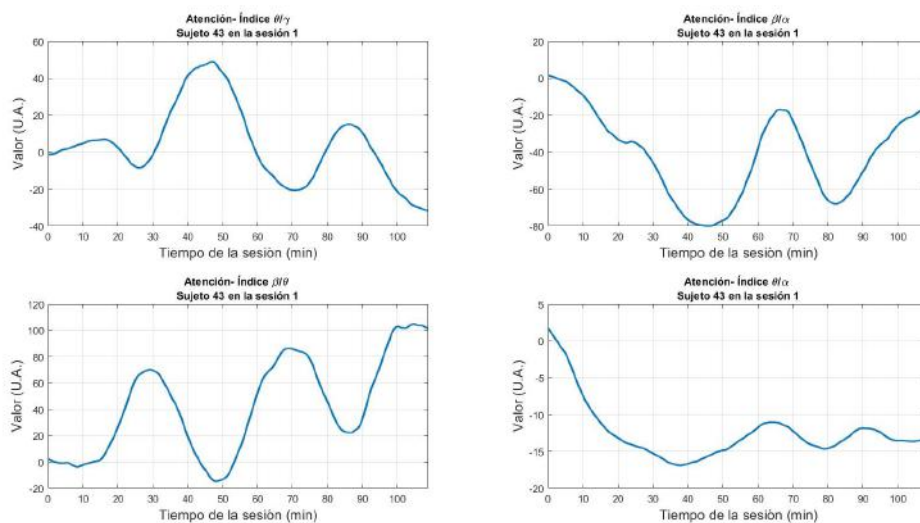


Figura 5.2: Gráficas de los métodos para analizar el estado de atención del sujeto 43. Fuente: Elaboración propia.

Para representar la fatiga, se probaron cuatro índices, empleando distintos canales para

cada uno. A continuación, en las Figuras 6-6 y 6-7, se muestran los resultados obtenidos probando cada uno. Fue seleccionado el método $(\theta+\alpha)/\beta$, pues proporcionó resultados coherentes ya que, al probarlo en distintos sujetos, se observaron tendencias similares.

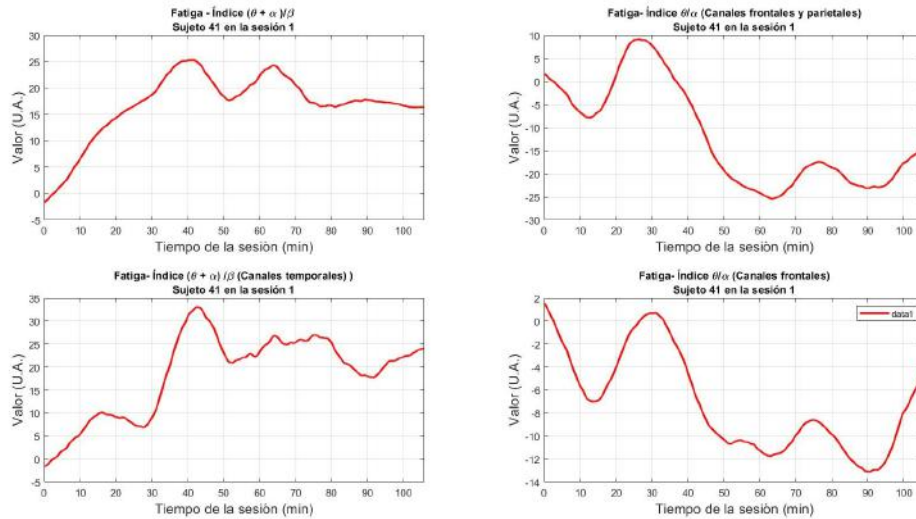


Figura 5.3: Gráficas de los métodos para analizar el estado de fatiga del sujeto 41. Fuente: Elaboración propia.

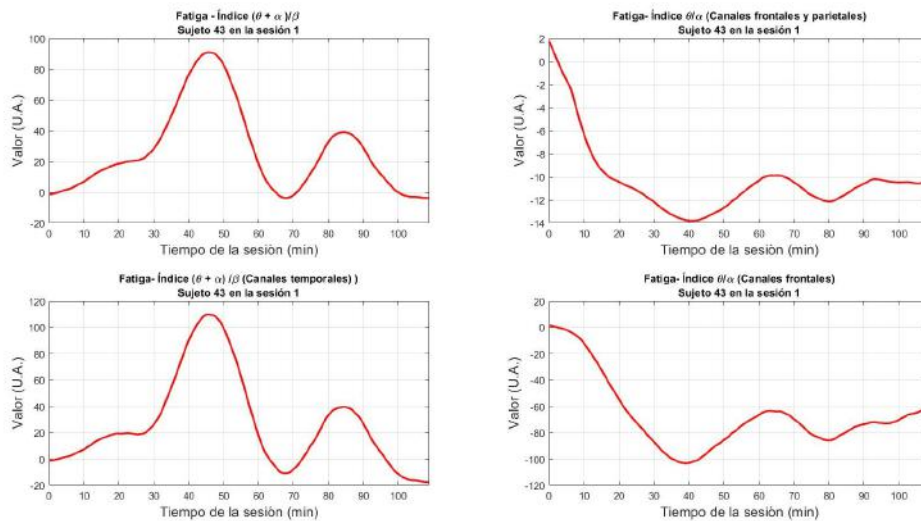


Figura 5.4: Gráficas de los métodos para analizar el estado de fatiga del sujeto 43. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, los resultados obtenidos para el índice del estrés se muestran en las Figuras 5.5 y 5.6, analizando el conjunto de datos del estudio de Cao (2019), evaluando la asimetría frontal entre los canales FT7 y FT8.

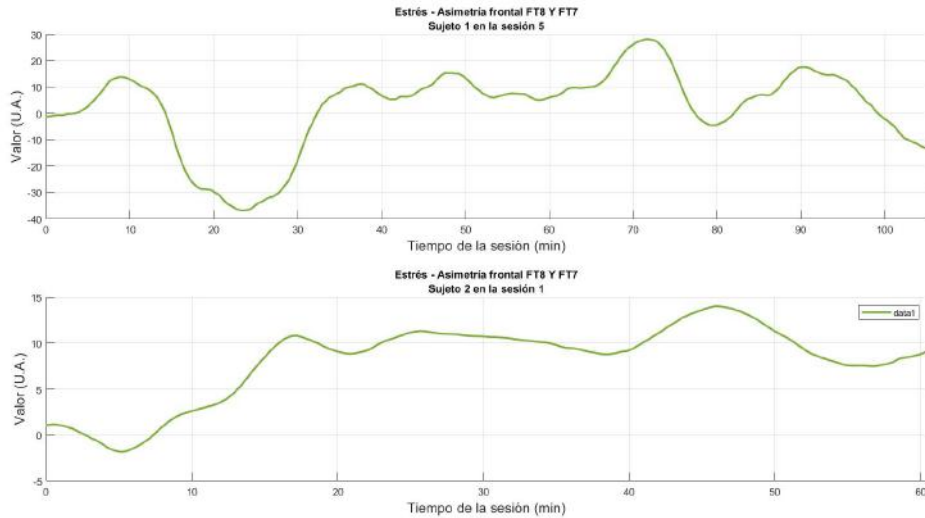


Figura 5.5: Gráficas del método para analizar el estado de estrés de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

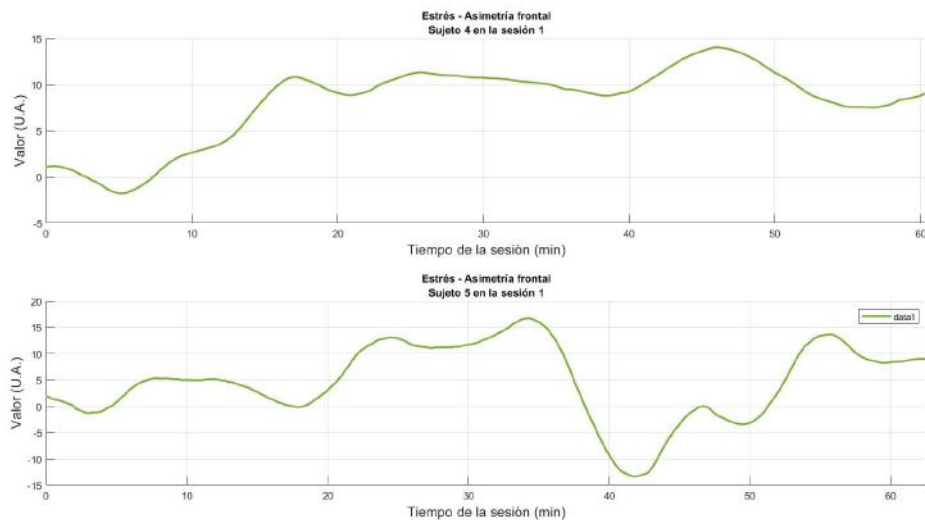


Figura 5.6: Gráficas del método para analizar el estado de estrés de los sujetos 4 y 5. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Conjunto de datos 2

Una vez seleccionados los índices a partir de las pruebas obtenidas en el conjunto de datos 1, se evaluaron para el presente conjunto de datos para dos usuarios durante distintas sesiones, para validar las observaciones obtenidas para los estados mentales de atención, fatiga y estrés.

Respecto a la atención, se obtuvieron las gráficas que se presentan en la Figura 5.7. Se aprecia que, en ambos sujetos, la tendencia al inicio es decreciente y a la mitad del experimento empieza a crecer, tal como fue analizado en la sección anterior y con el método seleccionado.

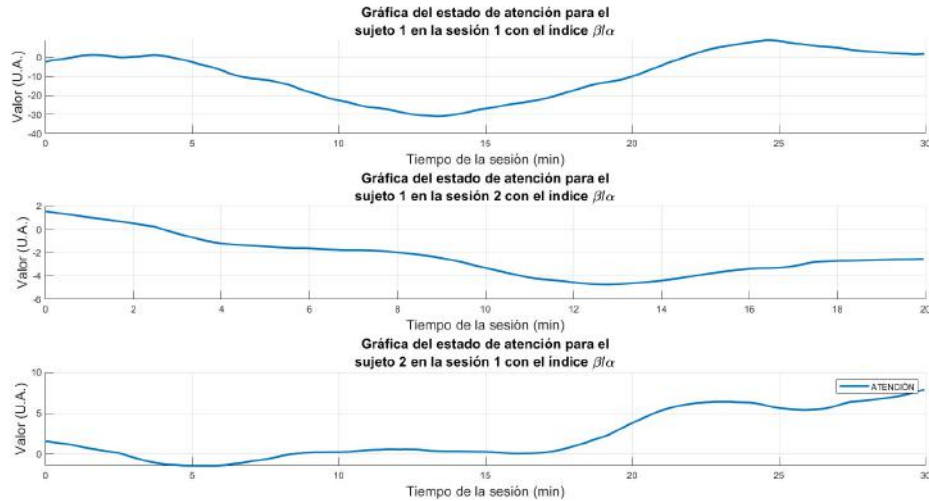


Figura 5.7: Gráficas para el estado de atención de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Para la fatiga, se adquirieron las gráficas ilustradas en la Figura 5.8. En el caso del sujeto 1, al comienzo presenta una tendencia constante y para el final aumenta considerablemente. Esto está conforme a lo que los usuarios comentaron luego de realizar la experiencia, en la que en los minutos finales este estado se hacía más evidente. Por otro lado, para el sujeto 2, esta señal crece y decrece conforme avanza el tiempo, lo que quiere decir que había momentos marcados en los experimentó fatiga mental, pero esta no fue constante o creciente durante ese periodo.

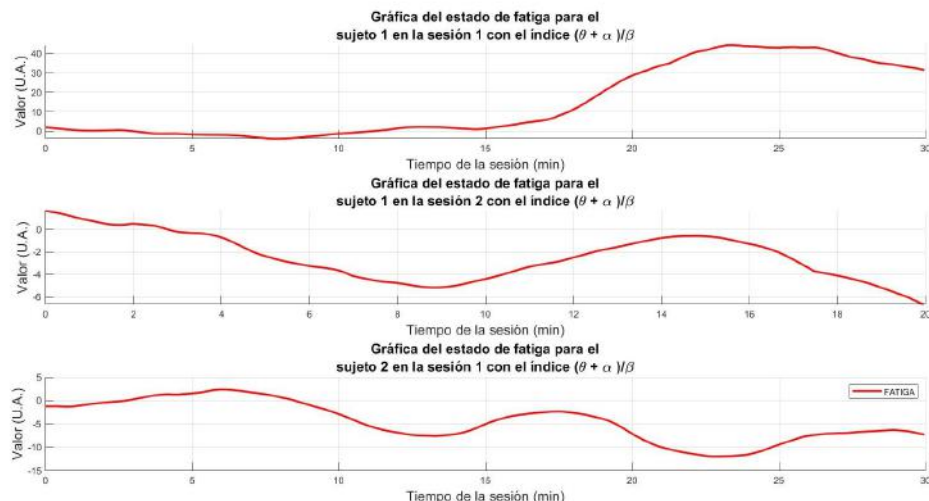


Figura 5.8: Gráficas para el estado de fatiga de los sujetos 1 y 2 en distintas sesiones. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el estrés se graficaron las señales que se muestran en la Figura 5.9. Estas gráficas presentan que el comportamiento que se ha visto en los experimentos anteriores: una

pendiente decreciente durante los minutos iniciales seguida por una pendiente creciente.

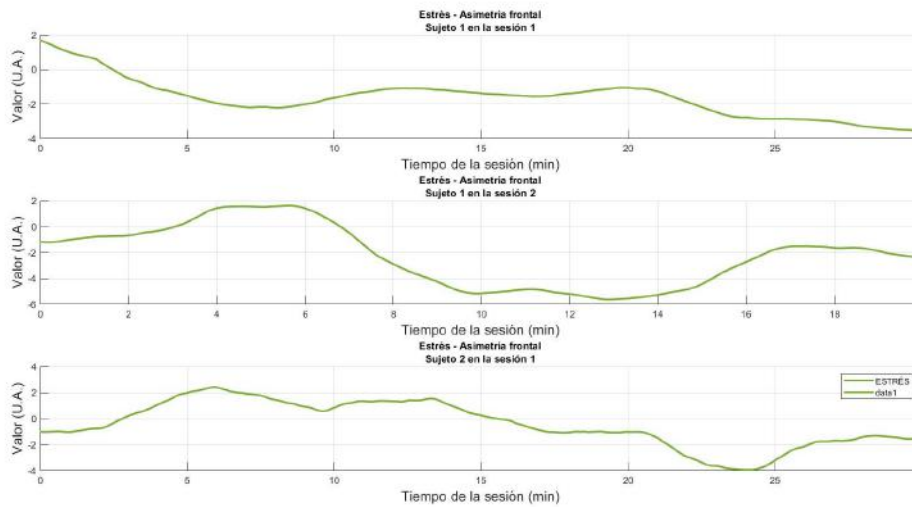


Figura 5.9: Gráficas para el estado de estrés de los sujetos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Análisis de las tendencias de los estados mentales

El presente subcapítulo muestra el análisis del comportamiento de las señales para los distintos sujetos mientras realizaban las actividades cognitivas, en base a los métodos seleccionados en la sección previa. Para ello, los estados mentales fueron promediados para observar las tendencias a lo largo de las 62 sesiones del conjunto de datos 1, cuya duración promedio fue de 78.5 ± 22.4 minutos; y para las 3 sesiones del conjunto de datos 2, cuyas sesiones tuvieron una duración de 27.5 ± 5.0 minutos.

5.2.1. Conjunto de datos 1

Para facilitar la observación previa, se calculó la señal promedio para las 62 sesiones del experimento para los distintos sujetos, obteniéndose la gráfica que se muestra en la Figura 5.13. Para el índice de atención, como se observa en los primeros 5 minutos del experimento luego de calcular el *baseline*, el índice de atención tuvo una tendencia decreciente para todos los usuarios. Esto puede ser un indicador de que el sujeto aún no está enfocado ni motivado con la actividad que realiza, ya que de acuerdo a algunos estudios, una persona necesita aproximadamente 20 minutos para concentrarse y engancharse con la actividad que está ejecutando. En los siguientes 10- 12 minutos, este estado mental presentó una tendencia creciente, lo cual se

puede traducir en que la persona ha desarrollado una afinidad con la tarea en ejecución, debido a que ha adquirido cierto nivel de competencia. Para el resto de la duración de las grabaciones, hubo una tendencia creciente hasta llegar a un pico, desde el cual, el estado mental empezó a decrecer nuevamente. Debe hacerse una aclaración en este punto, pues a pesar de que los niveles de atención fueron altos durante este periodo, la manifestación de la fatiga y el estrés mostraron que las personas están realizando un alto esfuerzo cognitivo para continuar con la actividad, y en consecuencia, esto afectará su rendimiento. Una vez que los usuarios empiezan a mostrar los primeros signos de cansancio acompañados por un decrecimiento en los niveles de atención, sugiere que las actividades que demandan altos niveles de atención durante largos periodos, conducen a un decrecimiento en la concentración al ejecutar una tarea.

Seguidamente, los resultados anteriores fueron comparados con lo obtenido al probar este índice en el estudio de Zheng. Como se presenta en la Figura 5.10, mientras que la pendiente de la señal obtenida para la atención empieza a decrecer, el nivel de fatiga calculado a través del índice PERCLOS, aumenta progresivamente para luego mantenerse en la zona de fatiga (Zheng y Lu, 2017).

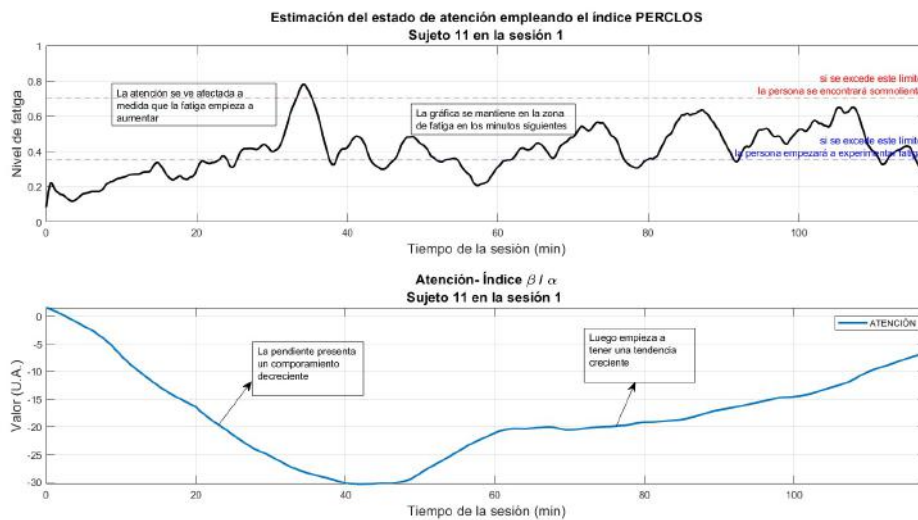


Figura 5.10: Comparación del método β/α en el sujeto 11 con el índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que se evaluó el estado de atención, para el índice de fatiga ilustrado en la Figura 5.13, se observó una tendencia positiva luego de calcular el *baseline*, permaneciendo con ese comportamiento por los siguientes 10 minutos. Este incremento progresivo era esperado, pues antes de empezar la actividad, los sujetos no están sobrecargados de informa-

ción aún, pero luego de algunos minutos, la fatiga empieza a aumentar debido a la naturaleza de la actividad cognitiva, lo que coincide con estudios que presentaron que esta tiende a crecer con el paso de tiempo. En los siguientes 15 minutos tuvo una tendencia decreciente hasta llegar a un valle. Este decrecimiento está relacionado con la persona sintiéndose energizada y percibiendo la tarea como sencilla de cumplir, lo que está vinculado a una afinidad por la actividad y motivación. A partir de este valle, volvió a tener una tendencia creciente en los siguientes 10 minutos, pero con menor valor relativo que en los minutos iniciales. En los últimos minutos, este estado mental presentó crecimientos repentinos dados en intervalos de tiempo cortos. Esto coincide con el hecho de que realizar actividades que sobrecargan la mente de información, como estudiar, leer, manejar o conducir, afectan el rendimiento y producen un deterioro en la capacidad de procesar la información. Estos resultados se pueden observar en la Figura 5.13.

Para probar el resultado anterior, se analizó lo obtenido con el experimento de Zheng. Se obtuvo algo interesante, pues el comportamiento del índice de fatiga, se comportaba de una manera similar al índice PERCLOS, como se aprecia en la Figura 5.11. En los momentos en que el usuario entra en un estado de fatiga, el índice también indica aproximadamente las mismas características, sin embargo, la información que presenta no está del todo clara. Es por ello que también se han empleado los índices de atención y estrés, para corroborar esta afirmación.

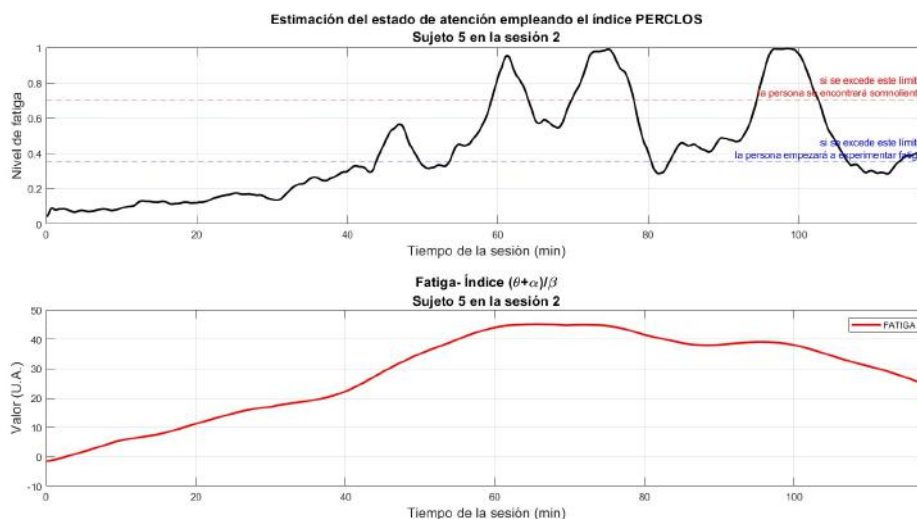


Figura 5.11: Comparación del método $(\theta+\alpha)/\beta$ para la fatiga en el sujeto 5 con el índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que para la atención y la fatiga, se calculó la señal promedio para el total de

sesiones del experimento, obteniendo como resultado la gráfica presentada en la Figura 5.13. Durante los primeros 15 minutos luego del periodo de calibración, se observó una tendencia decreciente en este estado mental. Este comportamiento puede corresponder al hecho de que la personas estando relajada y no motivada con realizar la actividad por el momento. De acuerdo a algunos estudios, esto coincide con la fase de alarma, en los que la persona es advertida sobre la situación de estrés.

Para los siguientes 5 minutos, esta empezó a crecer hasta llegar a un primer pico. La tendencia creciente de esta señal, evidencia que la persona se encuentra motivada y enfocada en la actividad en ejecución, pues los niveles de atención son óptimos. A partir de este primer pico, se mantuvo con una tendencia creciente hasta el final de la sesión. La aparición de los altos niveles de estrés en esta última etapa sugieren que la persona se encuentra sin energía para continuar con la actividad, lo que causa que esta se empiece a sentir cognitiva y físicamente afectada. Esto coincide con los estudios que sugieren que a medida que la actividad progresa, el rendimiento de la persona se va reduciendo, debido a la fatiga, la ansiedad y la sobrecarga de información. Asimismo, se recurrió al índice PERCLOS para evaluar este índice, tal como se aprecia en la Figura 5.12.

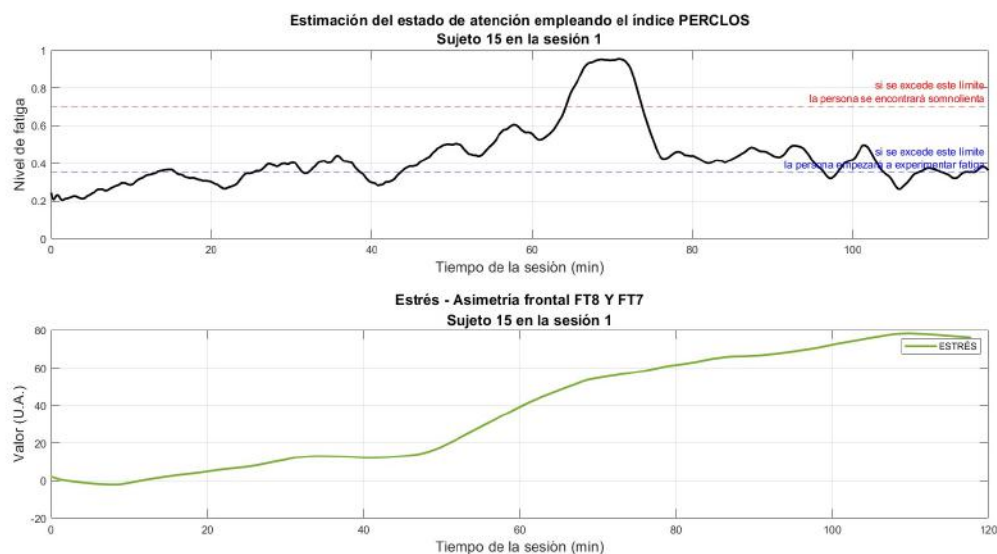


Figura 5.12: Comparación del método de asimetría frontal para el estrés en el sujeto 15 respecto al índice PERCLOS. Fuente: Elaboración propia.

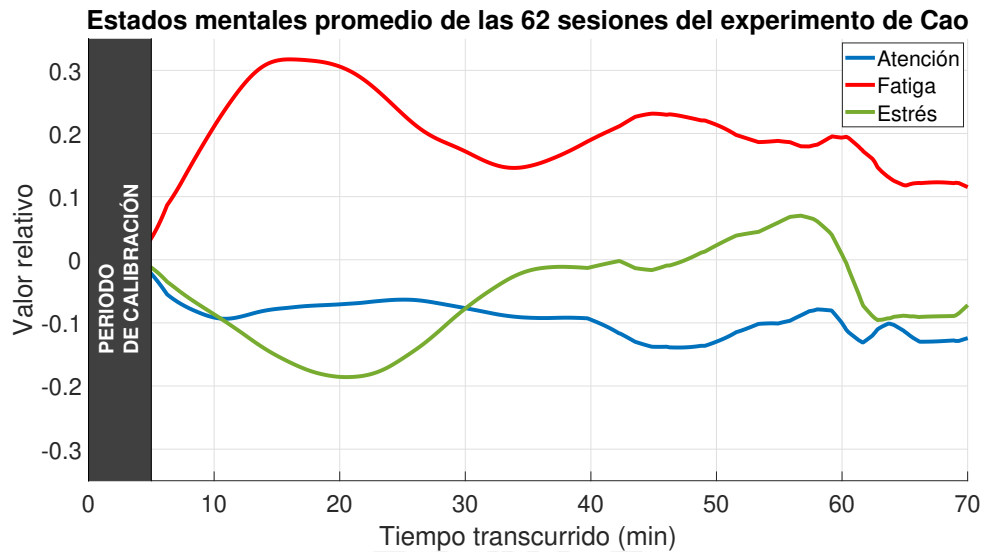


Figura 5.13: Estados mentales promedio de las 62 sesiones grabadas en el experimento de Cao. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Conjunto de datos 2

En las gráficas promediadas de este conjunto de datos, se observó un comportamiento muy similar respecto al conjunto de datos previo y pueden observar en la Figura 5.14. Para el índice de atención durante los primeros 7 minutos luego del periodo de calibración, este mostró una tendencia decreciente hasta llegar a una valle, desde el cual empezó a crecer hasta el final de la sesión. Estos resultados reafirman lo obtenido durante los primeros minutos del conjunto de datos 1, en los que el decremento en el valor relativo del estado mental se traduce en que la persona recién se está adaptando a la actividad que va a ejecutar, aún no se encuentra motivada o percibe la tarea como aburrida. Finalmente, el crecimiento a partir del minuto 12, es un indicador de que la persona ha adquirido un cierto nivel de habilidad en la tarea que está realizando y se siente motivada.

Respecto al índice de fatiga, en los primeros 4 minutos luego del cálculo del *baseline*, este estado mental presentó un decremento en su valor relativo. Esta observación coincide con el hecho de que la persona aún no se encuentra agotada respecto a la actividad que va a ejecutar, pues aún no ha comenzado a cargar su cerebro con información. Es posible que el valor relativo constante de la fatiga durante la etapa intermedia indique que la persona se siente energizada y el trabajo le está resultando sencillo, lo cual va relacionado con un mayor interés y afinidad por la tarea. En los minutos finales, este estado mental empezó a tener un comportamiento

creciente en el valor relativo hasta llegar a un pico. Este comportamiento reafirma lo observado en el conjunto de datos 1, donde en el periodo final se observó un incremento en el valor de este estado mental dado que la fatiga tiende a acentuarse con el paso del tiempo.

En el caso del índice de estrés, presentó un decremento en su valor relativo durante los 5 minutos siguientes al periodo de calibración. Luego, tuvo un crecimiento hasta llegar a un determinado valor relativo, a partir del cual se mantuvo constante hasta el final de la sesión. Analizando estos resultados, la reducción progresiva del valor relativo dada en los primeros minutos puede indicar que la persona se encuentra en óptimas condiciones para realizar la tarea, sintiendo que aún tiene control sobre la situación. Luego, que el estrés haya permanecido constante en los siguientes minutos hasta el final de la sesión, puede significar que los usuarios han mantenido su estrés en niveles óptimos para seguir con la actividad, implicando que la persona se ha adaptado a esta.

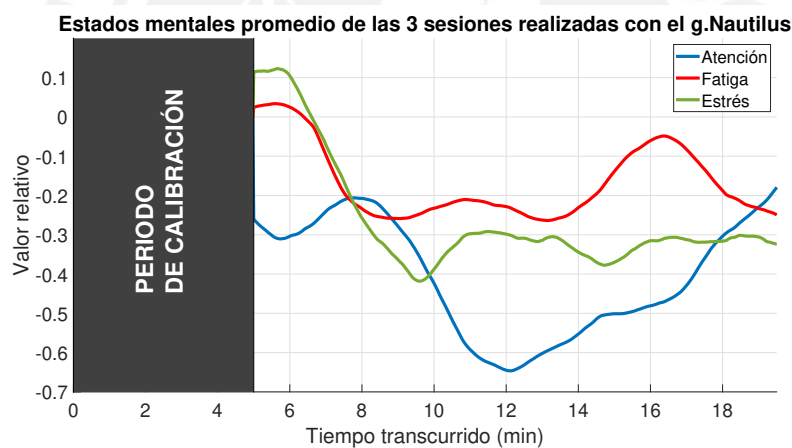


Figura 5.14: Estados mentales promedio de las 3 sesiones grabadas con el g.Nautilus. Fuente: Elaboración propia.

5.3. Detección de los periodos de bajo rendimiento

Al realizar la evaluación para detectar los momentos previos a un bajo rendimiento cognitivo se obtuvieron los siguientes resultados: para el conjunto de datos 1, el momento promedio de detección ocurrió a los 35.3 ± 18.9 minutos desde el inicio de las grabaciones. El número de sesiones en los que este momento fue hallado fue 50, lo que resulta en un porcentaje de detección del 80.6%. Se considera que fueron exitosas, pues al obtener la señal promedio para todos los usuarios que formaron parte del experimento, se observó que en la mayoría de ca-

so había una tendencia hacia una caída de rendimiento cognitivo dado el comportamiento de las señales obtenidas para representar los estados mentales. Asimismo, diversos estudios han demostrado que en este tipo de actividades monótonas, generalmente conducen a un deterioro para procesar estímulos e información debido al cansancio y falta de motivación (Thiffault y Bergeron, 2003).

Para el segundo conjunto de datos, el momento promedio de detección sucedió a los 11.5 ± 2.2 minutos. El número de detecciones del periodo previo al bajo rendimiento ocurrió en el 100 % de las sesiones. Para obtener este ratio, se obtuvo retroalimentación oral por parte de los usuarios al final de las sesiones, para conocer acerca de sus sensaciones y el momento en que sentían que estaban agotados. La información sobre los resultados se presenta resumida en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Resumen de los resultados para la detección del bajo rendimiento de los usuarios. Fuente: Elaboración propia.

	Conjunto de datos 1	Conjunto de datos 2
Número de sesiones	62	3
Número de sesiones en las que se detectó un bajo rendimiento cognitivo	50	3
Número de sujetos	27	2
Duración promedio de las sesiones (min)	78.5 ± 22.4	27.5 ± 5.0
Tiempo de detección promedio (min)	35.3 ± 18.9	11.5 ± 2.2
Detecciones exitosas (%)	80.6	100

Capítulo 6

Costos del sistema integrado

Se presentarán los costos del sistema integrado, que incluye los precios para el dominio mecánico, dominio electrónico, costos de diseño, programación, procesos de manufactura y prototipos presentados a través de tablas, para finalmente obtener el costo total.

6.1. Costos del dominio mecánico

En esta sección se presentarán los costos de manufactura para cada uno de los subsistemas de la máquina, considerando también los elementos de sujeción, materiales y los procesos de fabricación que serán empleados, tal como se presenta en las Tablas 6.1 y 6.2. En el Anexo F se aprecian las cotizaciones realizadas para cada parte de la máquina automática.

6.1.1. Costo de componentes mecánicos

Se presentan los costos de los componentes mecánicos en la Tabla 6.1, como los diversos tornillos utilizados para la manufactura de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Los precios cotizados para cada uno de estos componentes se encuentran en el Anexo F.

Tabla 6.1: Costos del sistema mecánico del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Tamaño del lote	Cantidad requerida	Precio del lote (S/.)	Subtotal (S/.)
Tornillo de cabeza cilíndrica ranurada ISO 1207 M3 x 6	100	2	13.38	0.27
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H – M5 x 12	50	4	13.91	1.11
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H M10 x 12	100	2	305.48	6.11
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H M4x 6	100	2	10.79	0.22
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12	100	4	14.01	0.56
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 3	100	4	11.91	0.48
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M4 x 5	50	4	6.97	0.56
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M4 x 6	100	2	10.79	0.22
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M5 x 12	50	4	13.91	1.11
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M5 x 25	50	4	20.42	1.63
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M5 x 6	50	11	11.56	1.99
Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M5 x 8	50	8	12.44	2.45
Tornillo de cabeza semicircular aplastada ISO 7380 - 1 M5 x 8	10	4	6.13	3.68
Gastos de envío	-	-	-	20.00
Total sin IGV (S/.)				39.25

6.1.2. Costos de manufactura

Estos costos abarcan la elaboración de las piezas para cada uno de los subsistemas de la máquina y son presentados en la Tabla 6.2. El detalle de los precios cotizados a distintos proveedores, considerando los procesos de fabricación, se encuentra en el Anexo F.3.

Tabla 6.2: Lista de los costos de componentes que conforman el dominio electrónico de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Partes de la máquina	Código	Nombre	Proceso de fabricación	Subtotal (S/.)
Sistema principal	D01-A3	Gancho de sujeción derecho		0.04
	D02-A3	Gancho de sujeción izquierdo		0.04
	D03-A3	Bisagra		0.12
	D04-A2	Parte superior de la carcasa		30.67
	D05-A2	Parte inferior de la carcasa	Impresión 3D	51.48
Subsistema de carga de granos	D06-A3	Tapa superior del dosificador		1.57
	D07-A3	Tapa inferior del dosificador		1.60
	D08-A3	Tolva de alimentación		0.61
	D09-A3	Mecanismo del dosificador		0.77
	D10-A3	Tapa del sistema principal		7.00
Subsistema de preparación	D11-A3	Tapa del sistema de preparación		2.54
	D12-A3	Cuerpo interno del sistema de preparación	Corte/Rolado/Soldadura	30.00
	D13-A3	Recipiente interno extraíble	Corte/Rolado	70.00
	D14-A3	Base de calentamiento		4.23
	D15-A3	Soporte del sensor de ultrasonido 1		0.09
Subsistema de descarga de granos	D16-A3	Soporte de sensor de ultrasonido 2	Impresión 3D	0.07
	D17-A3	Tapa del sistema de descarga		1.06
	D18-A3	Tubería de descarga		0.78
Subsistema de energía	D19-A3	Tapa de caja de protección de circuitos		1.72
	D20-A3	Cuerpo de caja de circuitos		4.76
	D21-A3	Compuerta de la zona de circuitos		1.39
Total sin IGV (S/.)				210.54

6.2. Costos del dominio electrónico

En la Tabla 6.3 se indican los costos correspondientes al dominio electrónico divididos por subsistema, que están detallados en el Anexo E. Se han considerado la cantidad de elementos a emplear, los proveedores, el precio unitario, para finalmente calcular el precio total de esta sección.

Tabla 6.3: Lista de los costos de componentes pertenecientes al dominio mecánico. Fuente: Elaboración propia.

Subsistema	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Activación	Naylamp Mechatronics	Microcontrolador Arduino Micro Atmega32u4 - MU	1	35.00	35.00
	Naylamp Mechatronics	Módulo WiFi Serial ESP-01 ESP8266	1	20.00	20.00
	Naylamp Mechatronics	Módulo Dimmer AC	1	12.00	12.00
Carga de granos	Naylamp Mechatronics	Servomotor MG996R 11kg	1	35.00	35.00
	Mouser Electronics	Sensor de fin de carrera AVL3825613-A	2	7.50	15.00
Preparación	Naylamp Mechatronics	Sensor de Temperatura RTD PT100 (2 hilos)	1	15.00	15.00
	Mouser Electronics	Ventilador DC ASB0305HP-00CP4	1	32.00	32.00
	Naylamp Mechatronics	Transmisor para termocupla MAX6675	1	20.00	20.00
	Naylamp Mechatronics	Sensor Ultrasonido HC-SR04	1	8.00	8.00
	Zhongshan Andi Electrical Heating Appliance Co., Ltd.	Elemento calentador Mica Popcorn Machine 1000W	1	10.00	10.00
Descarga de granos	Naylamp Mechatronics	Sensor Ultrasonido HC-SR04	1	8.00	8.00
Interfaz de usuario	Naylamp Mechatronics	Pantalla LCD TFT 2.0RGB SPI 176x220 (ILI9225)	1	35.00	35.00
Alimentación	Mouser Electronics	Módulo de energía PSK-6B-S12	1	38.42	38.42
	Naylamp Mechatronics	Cables Dupont (20 cm) macho - macho	20	0.50	10.00
Total sin IGV (S/.)					293.42

6.3. Costos de diseño

Para la etapa de diseño, se consideró una tarifa por hora de S/. 8.00, trabajando 4 horas al día, por 5 días a la semana durante un periodo de 4 semanas, en donde se realizaron modificaciones, correcciones y optimizaciones al diseño de la máquina. De esta manera, el subtotal de este apartado asciende a S/. 540.00.

6.4. Costos de programación

El costo de programación considera la sección del código en Matlab/Simulink y el código para la programación del control de la máquina. Para la primera parte fueron invertidas 10 horas semanales por un periodo de 5 semanas. Considerando una tarifa por hora de S/. 10.00, se obtiene un costo final de S/. 500.00. Respecto a la segunda parte, tomando en cuenta una tarifa por hora de S/. 10.00, invirtiendo 5 horas por semana durante 5 semanas, se obtiene un costo final de S/. 250.00. Por lo tanto, el subtotal ascendería a S/. 750.00.

6.5. Costos de prototipos

Los costos de elaboración del prototipo del sistema se resumen en la Tabla 6.4. Esta contempla la adquisición de una máquina comercial de cocción de granos de maíz y los componentes electrónicos para demostrar el funcionamiento básico del sistema.

Tabla 6.4: Lista de los costos de fabricación de prototipos. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Máquina de cocción de granos de maíz	Imaco PO120R	1	90.00	90.00
Microcontrolador	Arduino Mega 2560 R3	1	70.00	70.00
Cables dupont hembra - macho de 20 cm	Cables dupont Hembra - macho - 20 cm x 20 unidades	1	3.00	3.00
Módulo Relay 2 CH 5 VDC	Módulo Relay 2 CH 5 VDC	1	12.00	12.00
Terminal de corriente macho	Enchufe 15A 125V con L/T PVC amarillo	1	18.00	18.00
Terminal de corriente hembra	Conector aéreo PVC L/T 15A 125V	1	15.00	15.00
Cable AWG 2x 16	Cable de corriente AWG 2 x 16, 1m	1	3.00	3.00
Caja de circuitos electrónicos	Caja de circuitos electrónicos impermeable IP65	1	10.00	10.00
Gastos de envío	-	1	15.00	15.00
Total sin IGV (S/.)				236.00

6.6. Costo total del sistema mecatrónico

El cálculo para el costo total del sistema considera el diseño e implementación de la máquina automática de cocción de granos de maíz, así como el desarrollo de la Interfaz Cerebro-Computador, que genera la activación. Sin embargo, los costo costos del casco *g.Nautilus* y de

la computadora no están incluidos, pues fueron prestados por el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA).

6.6.1. Costo total de la máquina automática de cocción de granos de maíz

Respecto a los costos para la máquina automática de cocción de granos de maíz, se tomó en consideración el diseño mecánico, electrónico, costos de programación de algoritmos y los prototipos y pruebas para validación. En la Tabla 6.5 se presenta el detalle de estos costos.

Tabla 6.5: Costos totales de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de costo	Subtotal (S/.)
Dominio mecánico	275.23
Dominio electrónico	293.42
Diseño de la máquina	540.00
Programación de algoritmos de control	250.00
Total sin IGV (S/.)	1358.65

6.6.2. Costo total de la Interfaz Cerebro-computador (BCI)

Dentro de este apartado, están involucrados los costos del casco g.Nautilus, la computadora para el procesamiento de información y los costos de programación de algoritmos. En la Tabla 6.6 se presenta el detalle de los costos.

Tabla 6.6: Costos totales de la interfaz cerebro-computador. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de costo	Subtotal (S/.)
Casco g.Nautilus Wireless 32 Dry Electrodes	60,705.16
Laptop HP Envy Q002LA	3,800.00
Programación de algoritmos	500.00
Total sin IGV (S/.)	65,005.16

Finalmente, el costo total del sistema, asciende a S/. 93,037.45 como se muestra detallado en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7: Costos totales del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de costo	Subtotal (S/.)
Máquina automática de cocción de granos de maíz	1358.65
Interfaz cerebro-computador (BCI)	65,005.16
Implementación del sistema	300.00
Prototipos y pruebas de validación	236.00
Subtotal (S/.)	66,899.81
IGV (%)	18
Total (S/.)	78,941.78

Conclusiones

- Se diseñó el sistema de activación para una máquina automática de cocción de granos de maíz, bajo un método que detecta periodos de bajo rendimiento cognitivo durante sesiones de estudio y en simuladores de manejo partiendo del análisis de las tendencias de índices neurofisiológicos para dar inicio al proceso de preparación y advertir al usuario que tome un descanso, encontrando un bajo rendimiento en el 80.6 % de las sesiones del conjunto de datos 1, dado generalmente en el minuto 35.3 ± 18.9 para sesiones con una duración promedio de 78.5 ± 22.4 y en el 100 % de las sesiones del conjunto de datos 2, dado generalmente en el minuto 11.5 ± 2.2 para sesiones con una duración promedio de 27.5 ± 5.0 .

A diferencia de otros métodos que requieren entrenar previamente los modelos para detectar patrones en los conjuntos de datos, el método propuesto destaca por su adaptabilidad para ser evaluado en distintos sujetos con facilidad y rapidez, calibrando los estados de acuerdo a cómo se sienten los usuarios durante la sesión actual, evitando que el sistema envíe una señal de activación en un momento inoportuno.

- A diferencia de otras máquinas comerciales tradicionales, la máquina diseñada tiene la característica de funcionar sin requerir la supervisión de un usuario gracias a su diseño y los algoritmos de operación y control. Esto permite que este no se preocupe por el proceso de preparación y se enfoque en tomar descansos efectivos, automatizando la tarea de preparar alimentos. Opcionalmente, si el usuario quiere manipular el sistema por su cuenta, deberá emplear el modo de operación manual.

La elaboración de planos mecánicos para la máquina y la selección de materiales de fabricación se realizó considerando las recomendaciones de los proveedores y talleres de manufactura. Asimismo, este diseño considera el tipo de sensores más adecuados y compatibles con el microcontrolador y una ubicación correcta para que no generen perturbaciones en el sistema y una facilidad de desmontaje para el mantenimiento y limpieza.

- Se implementó un algoritmo para la detección de bajo rendimiento cognitivo, obteniendo

la representación de los estados mentales de atención, fatiga y estrés a través de índices neurofisiológicos y canales EEG seleccionados de acuerdo a la literatura. Estos fueron evaluados de acuerdo a las tendencias durante las distintas sesiones de los diferentes conjuntos de datos evaluados. Posteriormente, al realizar el análisis de los resultados de las detecciones, estas fueron confiables y congruentes con lo que los usuarios expresaron luego de realizar las sesiones experimentales.

- Se realizó la implementación de un prototipo para ilustrar el funcionamiento del sistema, empleando una máquina de cocción de granos de maíz comercial, lo que permitió la validación de los algoritmos de detección de bajo rendimiento en los conjuntos de datos grabados con el *g.Nautilus* y activando la máquina para la cocción de los granos de maíz.
- Los componentes cotizados fueron escogidos para dar cumplimiento a los requisitos técnicos, económicos y sociales del sistema. Luego de este procedimiento, se obtuvo el costo estimado, tomando en cuenta los dominios mecánico, electrónico, diseño, programación y desarrollo de prototipos y pruebas, el cual ascendió a . Por otro lado, el costo para la máquina fue S/.1358.65. Para el desarrollo de la BCI se obtuvo un costo de S/. 65,005.09. Finalmente, el costo total del sistema mecatrónico ascendió a S/. 78,941.78.

Recomendaciones

- Una mejora a considerar para la configuración experimental se basa en dividir las grabaciones en etapas, para luego obtener retroalimentación en tiempo real al final de cada una de estas. Asimismo, se les puede asignar a los usuarios una rutina predefinida de las tareas que deben realizar durante el experimento durante un tiempo dado y grabar datos de más usuarios para obtener un método estandarizado.
- Para aumentar la precisión en la detección del sistema, se pueden ajustar los valores del *baseline* de forma adaptativa, pues en algunos casos, las detecciones ocurrían antes de tiempo. Estos valores corresponden a la sensibilidad para detectar las tendencias en las señales en el tiempo. Asimismo, para una futura implementación se considera que el usuario pueda indicar el tiempo que le va a dedicar a la sesión de estudio, para que los valores límites de tiempo se ajusten automáticamente, haciendo la detección de estos momentos más precisa.
- Si se requiere aplicar este estudio en un sistema portátil, existen dos factores relevantes. El primero es emplear la menor cantidad de electrodos posibles, por un tema de ergonomía y comodidad, de tal manera que los usuarios lo puedan llevar puesto durante jornadas extensas sin incomodarse. Y el segundo se basa en que el dispositivo empleado sea de una buena resolución tanto en muestreo de la señal como en cantidad de bits transmitidos.
- Es posible escalar el sistema de activación en base a la detección de periodos de bajo rendimiento para otras aplicaciones, por ejemplo para automóviles, de tal manera que se puedan prevenir accidentes o para activar otro tipo de dispositivos dentro del hogar.

Referencias

- Abraham, S., Noriega, B., y Shin, J. (2018). College students eating habits and knowledge of nutritional requirements. *Journal of Nutrition and Human Health*, 2(1).
- Andujar, M., y Gilbert, J. E. (2013). Let's learn! enhancing user's engagement levels through passive brain-computer interfaces. En *Chi'13 extended abstracts on human factors in computing systems* (pp. 703–708).
- Anobile, G., Stievano, P., y Burr, D. C. (2013). Visual sustained attention and numerosity sensitivity correlate with math achievement in children. *Journal of experimental child psychology*, 116(2), 380–391.
- Aricò, P., Borghini, G., Di Flumeri, G., Sciaraffa, N., y Babiloni, F. (2018). Passive bci beyond the lab: current trends and future directions. *Physiological measurement*, 39(8), 08TR02.
- Babiloni, F. (2019). Mental workload monitoring: new perspectives from neuroscience. En *International symposium on human mental workload: Models and applications* (pp. 3–19).
- Bannai, A., y Tamakoshi, A. (2014). The association between long working hours and health: a systematic review of epidemiological evidence. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 5–18.
- Berrío García, N., y Mazo Zea, R. (2011). Estrés académico. *Revista de psicología Universidad de Antioquia*, 3(2), 65–82.
- Blanco-Díaz, C. F., y Ruiz-Olaya, A. F. (2019). Caracterización de señales de eeg relacionadas a potenciales evocados visuales en estado estacionario. *Revista Ontare*, 7.
- Bligh, D. A. (1998). *What's the use of lectures?* Intellect books.
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., y Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an erp study. *Cognitive brain research*, 25(1), 107–116.
- Cao, Z., Chuang, C.-H., King, J.-K., y Lin, C.-T. (2019). Multi-channel eeg recordings during a sustained-attention driving task. *Scientific data*, 6(1), 1–8.
- Capilla, A., Schoffelen, J.-M., Paterson, G., Thut, G., y Gross, J. (2014). Dissociated α -band modulations in the dorsal and ventral visual pathways in visuospatial attention and

- perception. *Cerebral Cortex*, 24(2), 550–561.
- Carmichael, S. G. (2015). The research is clear: Long hours backfire for people and for companies. *Harvard Business Review*, 19.
- Cheng, S.-Y., y Hsu, H.-T. (2011). *Mental fatigue measurement using eeg*.
- Cheng, S.-Y., Lee, H.-Y., Shu, C.-M., y Hsu, H.-T. (2007). Electroencephalographic study of mental fatigue in visual display terminal tasks. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 27(3), 124–131.
- Chuang, C.-H., Cao, Z., King, J.-T., Wu, B.-S., Wang, Y.-K., y Lin, C.-T. (2018). Brain electrodynamic and hemodynamic signatures against fatigue during driving. *Frontiers in neuroscience*, 12, 181.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., Karamacoska, D., y Johnstone, S. J. (2019). The eeg theta/beta ratio: a marker of arousal or cognitive processing capacity? *Applied psychophysiology and biofeedback*, 44(2), 123–129.
- Coco, M. G., y Vinson, J. A. (2019). Analysis of popcorn (zea mays l. var. everta) for antioxidant capacity and total phenolic content. *Antioxidants*, 8(1), 22.
- Coelli, S., Barbieri, R., Reni, G., Zucca, C., y Bianchi, A. M. (2018). Eeg indices correlate with sustained attention performance in patients affected by diffuse axonal injury. *Medical & biological engineering & computing*, 56(6), 991–1001.
- Coelli, S., Sclocco, R., Barbieri, R., Reni, G., Zucca, C., y Bianchi, A. M. (2015). Eeg-based index for engagement level monitoring during sustained attention. En *2015 37th annual international conference of the ieee engineering in medicine and biology society (embc)* (pp. 1512–1515).
- Ebert, K. D., y Kohnert, K. (2011). *Sustained attention in children with primary language impairment: A meta-analysis*. ASHA.
- Eoh, H. J., Chung, M. K., y Kim, S.-H. (2005). Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), 307–320.
- Galetta, S. (2017). *Occipital lobe*. Elsevier.
- Giannakakis, G., Grigoriadis, D., y Tsiknakis, M. (2015). Detection of stress/anxiety state

- from eeg features during video watching. En *2015 37th annual international conference of the ieee engineering in medicine and biology society (embc)* (pp. 6034–6037).
- Goldman, A. (2006). *Simulating minds: The philosophy, psychology, and neuroscience of mindreading*. Oxford University Press on Demand.
- Guo, Z., Chen, R., Zhang, K., Pan, Y., y Wu, J. (2016). The impairing effect of mental fatigue on visual sustained attention under monotonous multi-object visual attention task in long durations: An event-related potential based study. *PloS one*, *11*(9), e0163360.
- Hathaway, W. R., y Newton, B. W. (2019). Neuroanatomy, prefrontal cortex. *StatPearls [Internet]*.
- Herz, N., Baror, S., y Bar, M. (2020). Overarching states of mind. *Trends in cognitive sciences*, *24*(3), 184–199.
- Jap, B. T., Lal, S., Fischer, P., y Bekiaris, E. (2009). Using eeg spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*, *36*(2), 2352–2359.
- Joëls, M., Pu, Z., Wiegert, O., Oitzl, M. S., y Krugers, H. J. (2006). Learning under stress: how does it work? *Trends in cognitive sciences*, *10*(4), 152–158.
- Kamiński, J., Brzezicka, A., y Wróbel, A. (2011). Short-term memory capacity (7 ± 2) predicted by theta to gamma cycle length ratio. *Neurobiology of Learning and Memory*, *95*(1), 19–23.
- Katahira, K., Yamazaki, Y., Yamaoka, C., Ozaki, H., Nakagawa, S., y Nagata, N. (2018). Eeg correlates of the flow state: A combination of increased frontal theta and moderate frontocentral alpha rhythm in the mental arithmetic task. *Frontiers in psychology*, *9*, 300.
- Ko, L.-W., Komarov, O., Hairston, W. D., Jung, T.-P., y Lin, C.-T. (2017). Sustained attention in real classroom settings: An eeg study. *Frontiers in human neuroscience*, *11*, 388.
- Lewis, R. S., Weekes, N. Y., y Wang, T. H. (2007). The effect of a naturalistic stressor on frontal eeg asymmetry, stress, and health. *Biological psychology*, *75*(3), 239–247.
- Lim, S., Yeo, M., y Yoon, G. (2019). Comparison between concentration and immersion based on eeg analysis. *Sensors*, *19*(7), 1669.
- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *1*(1), 6–21.

- Marcora, S. M., Staiano, W., y Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of applied physiology*.
- Mecklinger, A., Kramer, A. F., y Strayer, D. L. (1992). Event related potentials and eeg components in a semantic memory search task. *Psychophysiology*, 29(1), 104–119.
- Nguyen, T., Ahn, S., Jang, H., Jun, S. C., y Kim, J. G. (2017). Utilization of a combined eeg/nirs system to predict driver drowsiness. *Scientific reports*, 7(1), 1–10.
- Nolte, G., Bai, O., Wheaton, L., Mari, Z., Vorbach, S., y Hallett, M. (2004). Identifying true brain interaction from eeg data using the imaginary part of coherency. *Clinical neurophysiology*, 115(10), 2292–2307.
- Papadelis, C., Chen, Z., Kourtidou-Papadeli, C., Bamidis, P. D., Chouvarda, I., Bekiaris, E., y Maglaveras, N. (2007). Monitoring sleepiness with on-board electrophysiological recordings for preventing sleep-deprived traffic accidents. *Clinical Neurophysiology*, 118(9), 1906–1922.
- Patel, G., He, B., y Corbetta, M. (2009). Attentional networks in the parietal cortex. En *Encyclopedia of neuroscience* (pp. 661–666). Elsevier Ltd.
- Perales, F., y Amengual, E. (2017). Combining eeg and serious games for attention assessment of children with cerebral palsy. En *Converging clinical and engineering research on neurorehabilitation ii* (pp. 395–399). Springer.
- Poltavski, D., Bernhardt, K., Mark, C., y Biberdorf, D. (2019). Frontal theta-gamma ratio is a sensitive index of concussion history in athletes on tasks of visuo-motor control. *Scientific reports*, 9(1), 1–9.
- Pope, A. T., Bogart, E. H., y Bartolome, D. S. (1995). Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological psychology*, 40(1-2), 187–195.
- Rabiner, D., Coie, J. D., y Group, C. P. P. R. (2000). Early attention problems and children's reading achievement: A longitudinal investigation. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39(7), 859–867.
- Ramírez, J. (2020, 9). *Diseño del concepto óptimo de la integración entre una máquina de cocción de granos de maíz con un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador (bci) que detecta caídas en el rendimiento en estudiantes universitarios para*

proporcionar descansos efectivos durante sesiones de estudio.

- Rasmussen, P., Stie, H., Nybo, L., y Nielsen, B. (2004). Heat induced fatigue and changes of the eeg is not related to reduced perfusion of the brain during prolonged exercise in humans. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8), 731–737.
- Rodrak, S., y Wongsawat, Y. (2012). On the classification of eeg/heg-based attention levels via time-frequency selective multilayer perceptron for bci-based neurofeedback system. En *Proceedings of the 2012 asia pacific signal and information processing association annual summit and conference* (pp. 1–4).
- Scholey, A. (2018). Nutrients for neurocognition in health and disease: Measures, methodologies and mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*, 77(1), 73–83.
- Selye, H. (1976). *Stress in health and disease* butterworth, london. senba, e, ueyama, t (1997). stress-induced expression of immediate early genes in the brain and peripheral organs of the rat. *Neurosci. Res*, 29, 183–207.
- Sogari, G., Velez-Argumedo, C., Gómez, M. I., y Mora, C. (2018). College students and eating habits: A study using an ecological model for healthy behavior. *Nutrients*, 10(12), 1823.
- Taylor, A. H., y Dorn, L. (2006). Stress, fatigue, health, and risk of road traffic accidents among professional drivers: the contribution of physical inactivity. *Annu. Rev. Public Health*, 27, 371–391.
- Thiffault, P., y Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 381–391.
- Tiinanen, S., Mättä, A., Silfverhuth, M., Suominen, K., Jansson-Verkasalo, E., y Seppänen, T. (2011). Hrv and eeg based indicators of stress in children with asperger syndrome in audio-visual stimulus test. En *2011 annual international conference of the ieee engineering in medicine and biology society* (pp. 2021–2024).
- Universitat de Barcelona. (2019). *Materiales*. Universitat de Barcelona. Descargado de <http://www.ub.edu/cmematerials/es>
- Vuckovic, A., Radivojevic, V., Chen, A. C., y Popovic, D. (2002). Automatic recognition of alertness and drowsiness from eeg by an artificial neural network. *Medical engineering & physics*, 24(5), 349–360.

Wong, K. (2015). *How long it takes to get back on track after a distraction*. Lifehacker.

Yang, K., Tong, L., Shu, J., Zhuang, N., Yan, B., y Zeng, Y. (2020). High gamma band eeg closely related to emotion: Evidence from functional network. *Frontiers in human neuroscience*, 14.

Zheng, W.-L., y Lu, B.-L. (2017). A multimodal approach to estimating vigilance using eeg and forehead eeg. *Journal of neural engineering*, 14(2), 026017.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ACTIVACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE COCCIÓN DE GRANOS DE
MAÍZ MEDIANTE UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADOR QUE DETECTA
CAÍDAS DE RENDIMIENTO COGNITIVO EN ESTUDIANTES DURANTE SESIONES
DE APRENDIZAJE BUSCANDO BRINDAR DESCANSOS SALUDABLES**

ANEXOS

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO

AUTOR:

Jorge Armando Ramírez Castillo

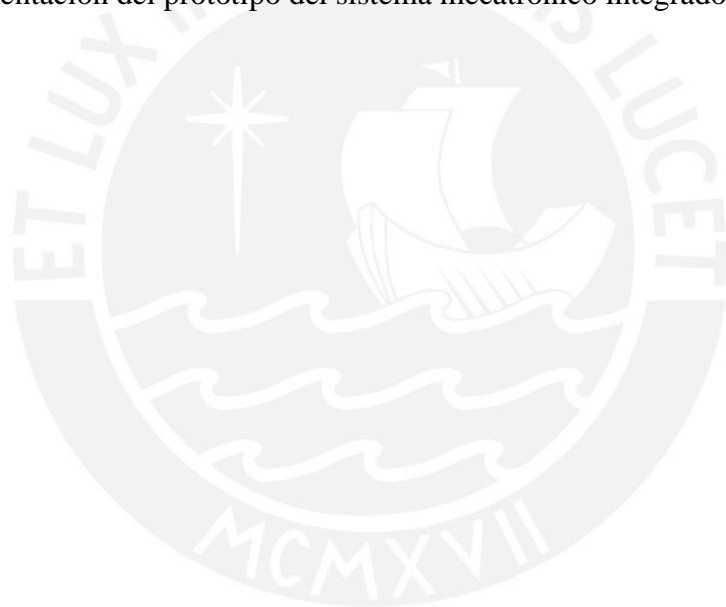
ASESOR:

Juan Manuel Chau Delgado

Lima, Agosto, 2021

Índice de contenidos

Anexo A: Hojas de datos y catálogos	1
Anexo B: Planos mecánicos de la Máquina de cocción de granos de maíz	34
Anexo C: Cálculo para la selección del servomotor	66
Anexo D: Diagrama electrónico de la Máquina de cocción de granos de maíz	68
Anexo E: Precios de los componentes electrónicos.....	69
Anexo F: Cotización de los componentes mecánicos.....	75
Anexo G: Diagramas de flujo de la Máquina de cocción de granos.....	82
Anexo H: Diagramas de control de la Máquina de cocción de granos	87
Anexo I: Diseño conceptual de la Máquina de cocción de granos de maíz.....	88
Anexo J: Implementación del prototipo del sistema mecatrónico integrado	131



Anexo A: Hojas de datos y catálogos

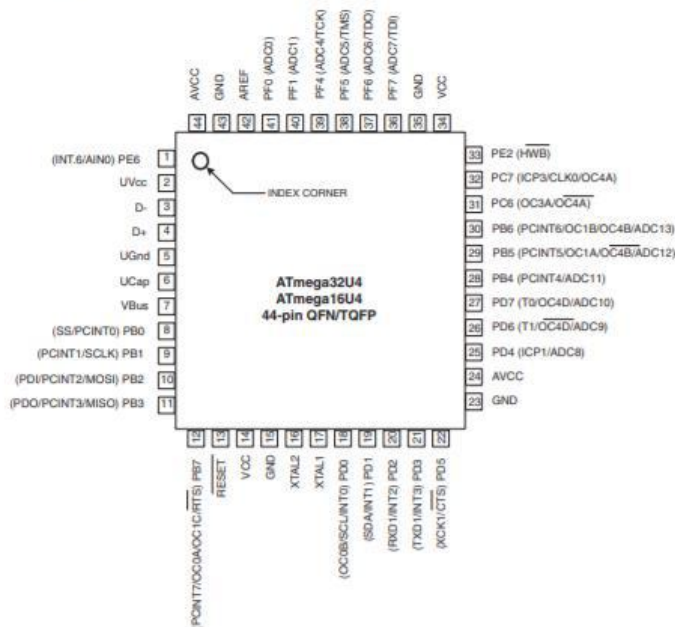
En el presente anexo se presentarán las hojas de datos y catálogos de los componentes electrónicos seleccionados para la elaboración de la máquina automática de cocción de granos de maíz. Serán presentadas las hojas de datos de los sensores empleados.

A.1. Microcontrolador Arduino Micro Atmega32U4-MU

ATmega16/32U4

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega16U4/ATmega32U4

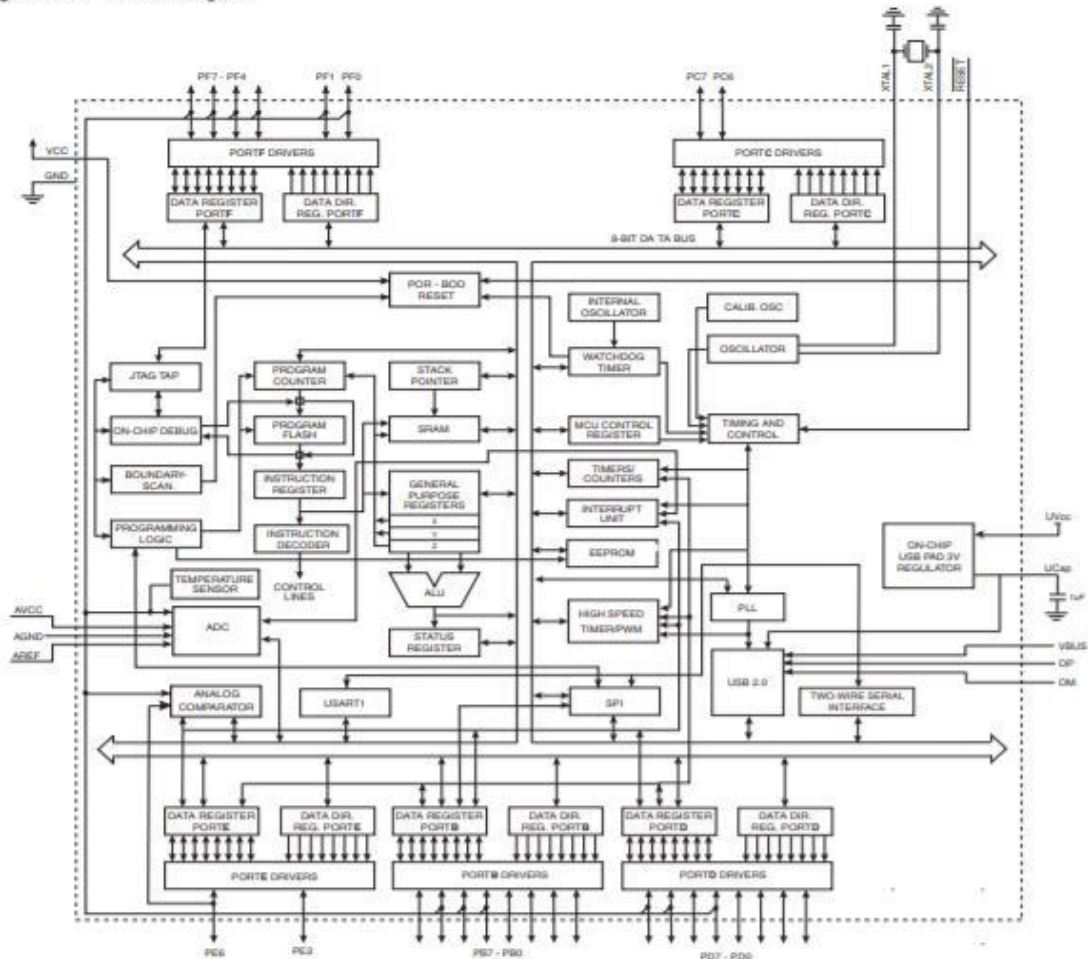


2. Overview

The ATmega16U4/ATmega32U4 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16U4/ATmega32U4 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16U4/ATmega32U4 provides the following features: 16/32K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 512Bytes/1K bytes EEPROM, 1.25/2.5K bytes SRAM, 26 general purpose I/O lines (CMOS outputs and LVTTL inputs), 32 general purpose working registers, four flexible Timer/Counters with compare modes and PWM, one more high-speed Timer/Counter with compare modes and PLL adjustable source, one USART (including CTS/RTS flow control signals), a byte oriented 2-wire Serial Interface, a 12-

ATmega16/32U4

channels 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain, an on-chip calibrated temperature sensor, a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, IEEE std. 1149.1 compliant JTAG test interface, also used for accessing the On-chip Debug system and programming and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or Hardware Reset. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the Crystal/Resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using ATMEL's high-density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the ATMEL ATmega16U4/ATmega32U4 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16U4/ATmega32U4 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

2.2 Pin Descriptions

2.2.1 VCC

Digital supply voltage.

2.2.2 GND

Ground.

2.2.3 Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B has better driving capabilities than the other ports.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16U4/ATmega32U4 as listed on [page 72](#).

2.2.4 Port C (PC7,PC6)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

ATmega16/32U4

Only bits 6 and 7 are present on the product pinout.

Port C also serves the functions of special features of the ATmega16U4/ATmega32U4 as listed on [page 75](#).

2.2.5 Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16U4/ATmega32U4 as listed on [page 77](#).

2.2.6 Port E (PE6,PE2)

Port E is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Only bits 2 and 6 are present on the product pinout.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega16U4/ATmega32U4 as listed on [page 80](#).

2.2.7 Port F (PF7..PF4, PF1,PF0)

Port F serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port F also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter channels are not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port F output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port F pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port F pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Bits 2 and 3 are not present on the product pinout.

Port F also serves the functions of the JTAG interface. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PF7(TDI), PF5(TMS), and PF4(TCK) will be activated even if a reset occurs.

2.2.8 D-

USB Full speed / Low Speed Negative Data Upstream Port. Should be connected to the USB D-connector pin with a serial 22 Ohms resistor.

2.2.9 D+

USB Full speed / Low Speed Positive Data Upstream Port. Should be connected to the USB D+connector pin with a serial 22 Ohms resistor.

2.2.10 UGND

USB Pads Ground.

ATmega16/32U4

2.2.11	UVCC	USB Pads Internal Regulator Input supply voltage.
2.2.12	UCAP	USB Pads Internal Regulator Output supply voltage. Should be connected to an external capacitor (1 μ F).
2.2.13	VBUS	USB VBUS monitor input.
2.2.14	$\overline{\text{RESET}}$	Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 8-1 on page 50 . Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.
2.2.15	XTAL1	Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
2.2.16	XTAL2	Output from the inverting Oscillator amplifier.
2.2.17	AVCC	AVCC is the supply voltage pin (input) for all the A/D Converter channels. If the ADC is not used, it should be externally connected to V_{CC} . If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.
2.2.18	AREF	This is the analog reference pin (input) for the A/D Converter.



1. Preambles

ESP-01 WiFi module is developed by Ai-thinker Team. core processor ESP8266 in smaller sizes of the module encapsulates Tensilica L106 integrates industry-leading ultra low power 32-bit MCU micro, with the 16-bit short mode, Clock speed support 80 MHz, 160 MHz, supports the RTOS, integrated Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA, on-board antenna.

The module supports standard IEEE802.11 b/g/n agreement, complete TCP/IP protocol stack. Users can use the add modules to an existing device networking, or building a separate network controller.

ESP8266 is high integration wireless SOCs, designed for space and power constrained mobile platform designers. It provides unsurpassed ability to embed Wi-Fi capabilities within other systems, or to function as a standalone application, with the lowest cost, and minimal space requirement.

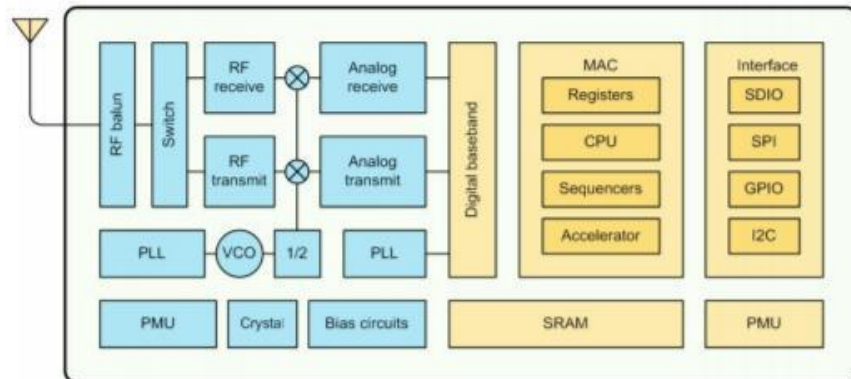


Figure 1 ESP8266EX Block Diagram

ESP8266EX offers a complete and self-contained Wi-Fi networking solution; it can be used to host the application or to offload Wi-Fi networking functions from another application processor.

When ESP8266EX hosts the application, it boots up directly from an external flash. It has integrated cache to improve the performance of the system in such applications.

Alternately, serving as a Wi-Fi adapter, wireless internet access can be added to any micro controller-based design with simple connectivity (SPI/SDIO or I2C/UART interface).



ESP8266EX is among the most integrated WiFi chip in the industry; it integrates the antenna switches, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, power management modules, it requires minimal external circuitry, and the entire solution, including front-end module, is designed to occupy minimal PCB area.

ESP8266EX also integrates an enhanced version of Tensilica's L106 Diamond series 32-bit processor, with on-chip SRAM, besides the Wi-Fi functionalities. ESP8266EX is often integrated with external sensors and other application specific devices through its GPIOs; codes for such applications are provided in examples in the SDK.

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) demonstrates sophisticated system-level features include fast sleep/wake context switching for energy-efficient VoIP, adaptive radio biasing, for low-power operation, advance signal processing, and spur cancellation and radio co-existence features for common cellular, Bluetooth, DDR, LVDS, LCD interference mitigation.

1.1. Features

- 802.11 b/g/n
- Integrated low power 32-bit MCU
- Integrated 10-bit ADC
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- Supports antenna diversity
- Wi-Fi 2.4 GHz, support WPA/WPA2
- Support STA/AP/STA+AP operation modes
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO



- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation and 0.4s guard interval
- Deep sleep power <10uA, Power down leakage current < 5uA
- Wake up and transmit packets in < 2ms
- Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3)
- +20dBm output power in 802.11b mode
- Operating temperature range -40C ~ 125C



1.2. Parameters

Table 1 below describes the major parameters.

Table 1 Parameters

Categories	Items	Values
WiFi Parameters	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	14.3mm*24.8mm*3mm
	External Interface	N/A
	Software Parameters	Wi-Fi mode
Security		WPA/WPA2
Encryption		WEP/TKIP/AES
Firmware Upgrade		UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host
Software Development		Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
Network Protocols		IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
User Configuration		AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App



2. Pin Descriptions

There are altogether 8 pin counts, the definitions of which are described in Table 2 below.

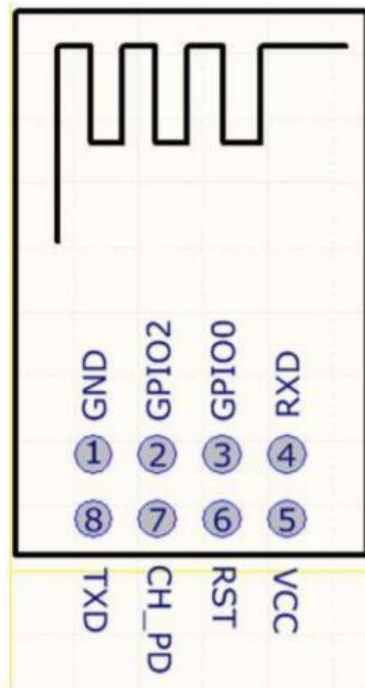


Table 2 ESP-01 Pin design



Table 2 Pin Descriptions

NO.	Pin Name	Function
1	GND	GND
2	GPIO2	GPIO,Internal Pull-up
3	GPIO0	GPIO,Internal Pull-up
4	RXD	UART0,data received pin RXD
5	VCC	3.3V power supply (VDD)
6	RST	1) External reset pin, active low 2) Can loft or external MCU
7	CH_PD	Chip enable pin. Active high
8	TXD	UART0,data send pin RXD



Table 3 Pin Mode

Mode	GPIO15	GPIO0	GPIO2
UART	Low	Low	High
Flash Boot	Low	High	High

Table 4 Receiver Sensitivity

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Input frequency	2412		2484	MHz
Input impedance		50		Ω
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	15.5	16.5	17.5	dBm
Output power of PA for 11b mode	19.5	20.5	21.5	dBm
Sensitivity				
DSSS, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-72		dBm
Adjacent Channel Rejection				
OFDM, 6Mbps		37		dB
OFDM, 54Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB



3. Packaging and Dimension

The external size of the module is 14.3mm*24.8mm*3mm, as is illustrated in Figure 3 below. The type of flash integrated in this module is an SPI flash, the capacity of which is 1 MB, and the package size of which is SOP-210mil. The antenna applied on this module is a 3DBi PCB-on-board antenna.



Figure 3 [Module Pin Counts, 8 pin, 14.3 mm *24.8 mm *3.0 mm]

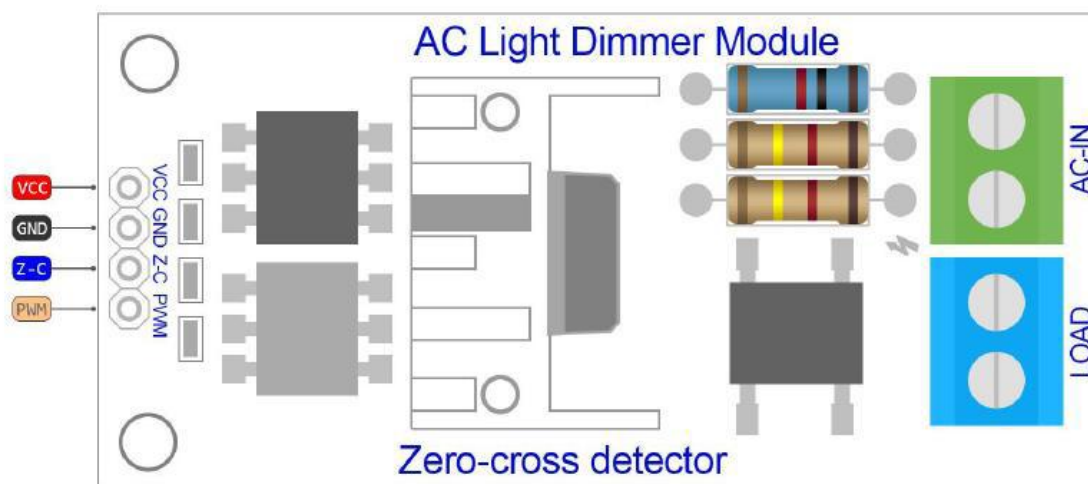
RobotDyn[®]

www.robotdyn.com

PINOUT DIAGRAM

AC Light Dimmer Module,
1 Channel, 3.3V/5V logic,
AC 50/60hz, 220V/110V

- Power
- Control
- GND
- Serial Pin

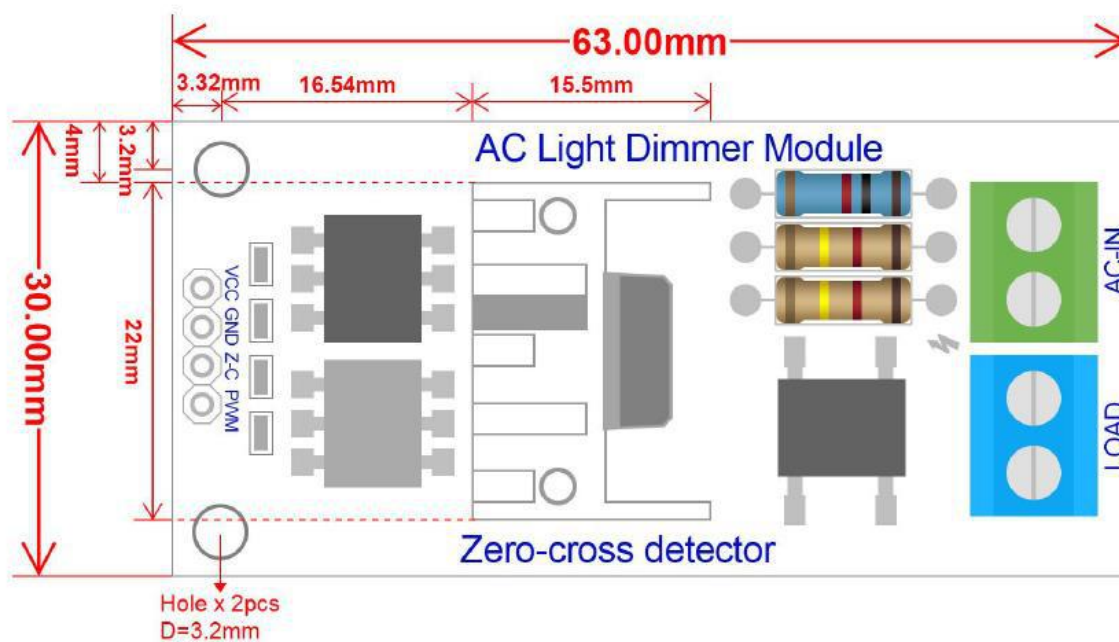


RobotDyn[®]
11 Dec 2017

RobotDyn[®]www.robotdyn.com

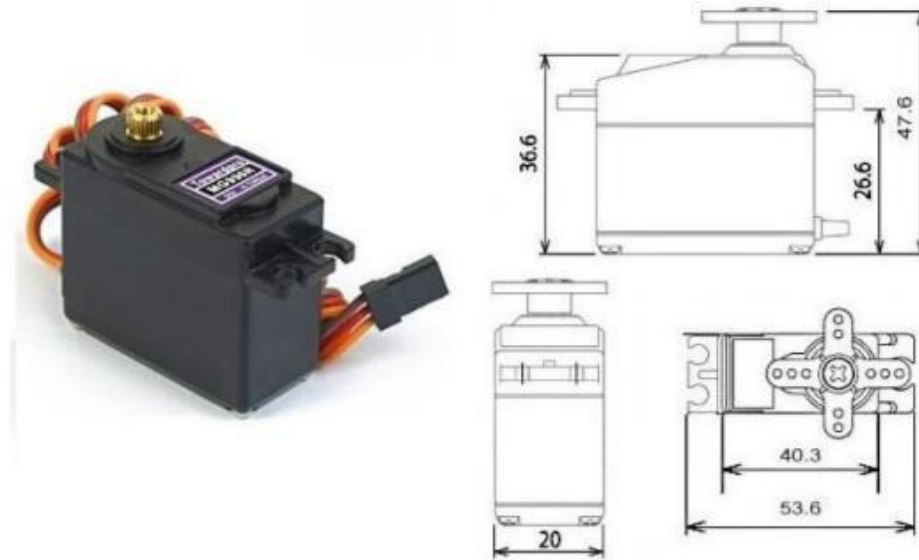
DIMENSION DIAGRAM

AC Light Dimmer Module,
1 Channel, 3.3V/5V logic,
AC 50/60hz, 220V/110V

**RobotDyn**[®]
11 Dec 2017

A.4. Servomotor MG996R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



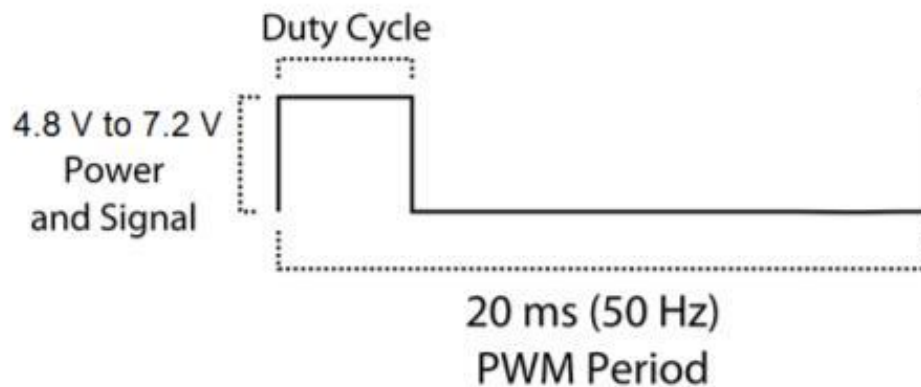
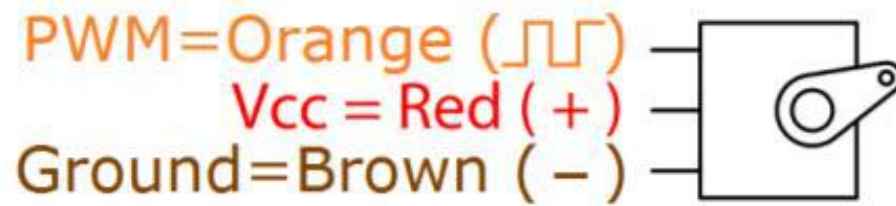
This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C





**Subminiature Size
Switches with Excellent
Operating Position
Accuracy**

**AV3/AVM3/AVT3/AVL3
(FS/FS-T) Switches**



FEATURES

- Excellent operating position accuracy
- Flux-resistant construction with integrally molded terminals
- Added to former in-line terminal (AV3/AVM3), range now includes (AVT3/AVL3) type with cross-line terminals
- Self-standing terminal structure (AV3/AVM3 type) with temporarily fix switch to PC Board
- Lever pivot position can be changed
- Series of low-level circuit type switches added to range
- Protection grade: IP40

PRODUCT TYPES TABLE

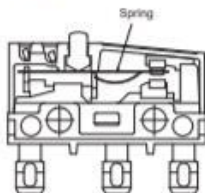
■ Combination of Operating Force (OF) and Applicable current range

Expected life	Contact	Applicable current range				Operating Force (OF)			
		1mA	100mA	3A	5A	0.25N	0.49N	0.98N	1.47N
Standard version	AgNi alloy contact		▬				●	●	
	CuNi alloy + AgNi alloy + Au-clad triple layer contact type (End of part No.: 61)	▬				●	●	●	
	CuNi alloy + Au-clad double layer contact For low-level circuit (End of part No.: 64)	▬				●	●	●	
Long life version	AgNi alloy contact		▬						●
	CuNi alloy + AgNi alloy + Au-clad triple layer contact type (End of part No.: 61)	▬							●
	CuNi alloy + Au-clad double layer contact For low-level circuit (End of part No.: 64)	▬							●

CONSTRUCTION

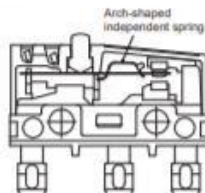
■ **Standard version (FS type)**

• As for FS-T switches, the terminals are the different shape.

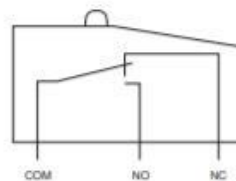


■ **Long life version (FS type)**

• As for FS-T switches, the terminals are the different shape.



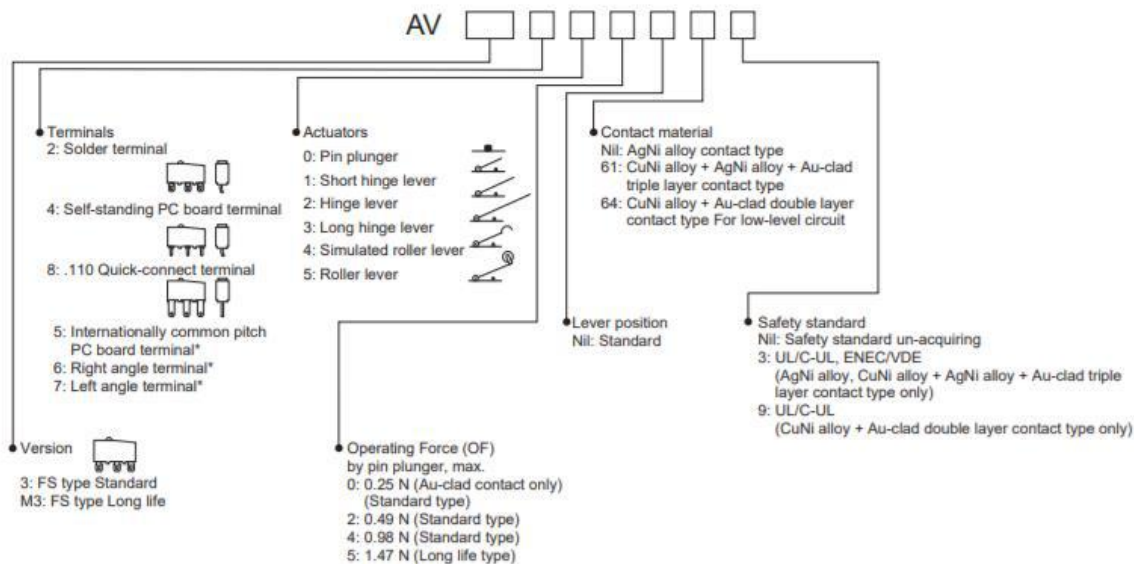
CONTACT FORM



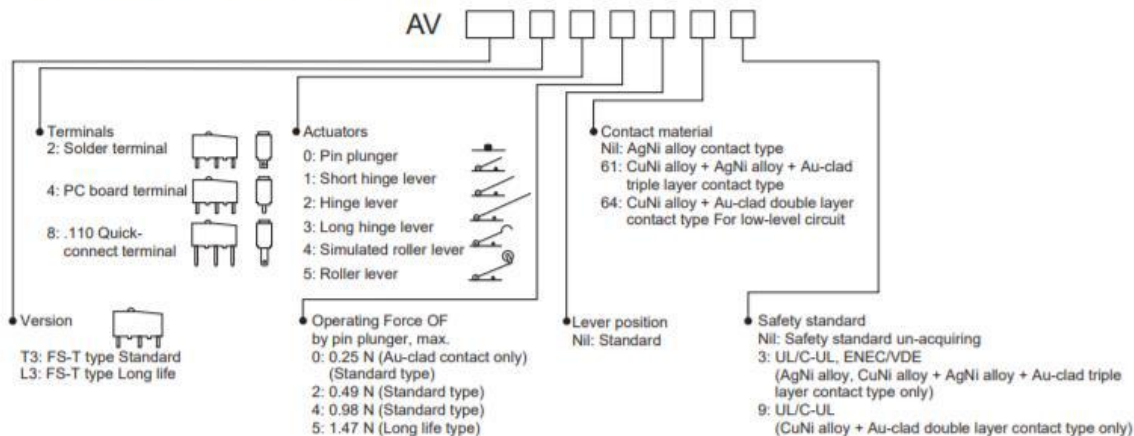
AV3/AVM3/AVT3/AVL3 (FS/FS-T) Subminiature Switches

ORDERING INFORMATION

■ FS switches (In-line terminal type)



■ FS-T switches (Cross-line terminal type)



A.6. Sensor de temperatura RTD PT100 de dos hilos

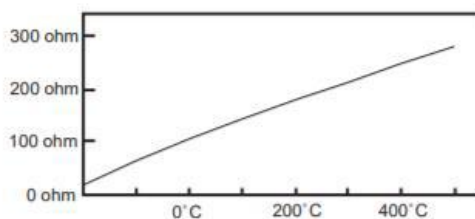


Pt100, su operación, instalación y tablas.

Que es un Pt100 ?

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.



Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo)

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Ventajas del Pt100

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

A.7. Transmisor para termocupla MAX6675

19-2235, Rev 1: 3/02

MAXIM

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type-K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

MAX6675

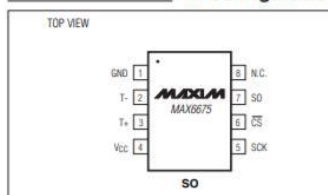
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

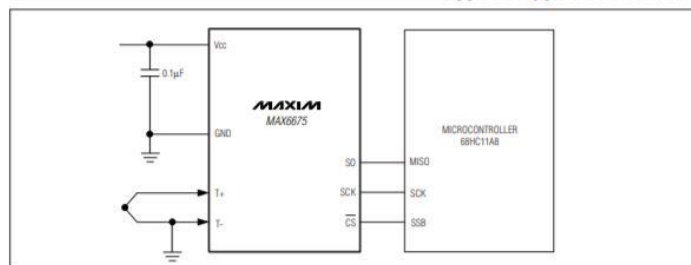
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V _{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (60s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5		+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6		+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8		+8	
			V _{CC} = +5V	-9		+9	
T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17		+17			
	V _{CC} = +5V	-19		+19			
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB	
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ	
Supply Voltage	V _{CC}		3.0		5.5	V	
Supply Current	I _{CC}			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V _{IL}				0.3 x V _{CC}	V	
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{CC}			V	
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}			±5	μA	
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF	

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

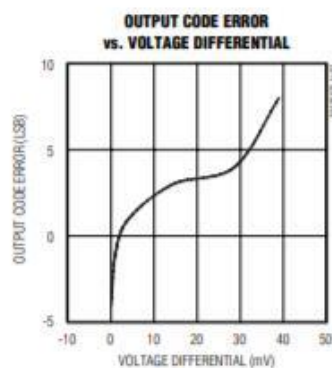
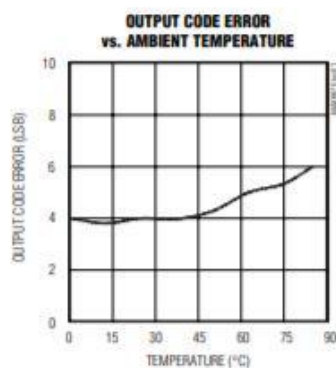
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 1.6mA	V _{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f _{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t _{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t _{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t _{CSS}	C _L = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t _{OV}	C _L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t _{TR}	C _L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t _{DO}	C _L = 10pF			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	\overline{CS}	Chip Select. Set \overline{CS} low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.



Tech Support: services@elecfreaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

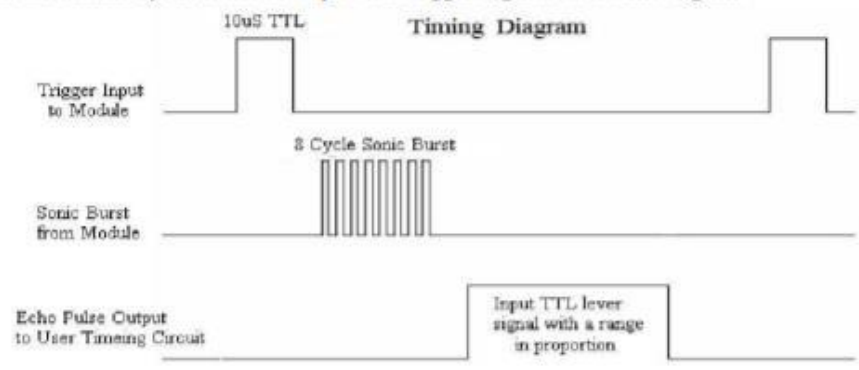
Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion .You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{s} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{s} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



A.9. Ventilador DC ASB0305HP-00CP4

Delta Electronics, Inc.
No.252, Shanying Rd., Guishan Dist.,
Taoyuan City 333, Taiwan (R.O.C.)

TEL : 886-(0)3-3591968
FAX : 886-(0)3-3591991

Specification For Approval

Customer : STD

Description : DC FAN

Customer P/N : _____ rev. : _____

Delta model no. : ASB0305HP-00CP4 Delta Safety Model No.: ASB0305HP-00

Sample revision. : 01 Issue no.: _____

Sample issue date : AUG.14 2017 Quantity : _____

1. SCOPE:

THIS SPECIFICATION DEFINES THE ELECTRICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE DC BRUSHLESS AXIAL FLOW FAN.

2. CHARACTERS:

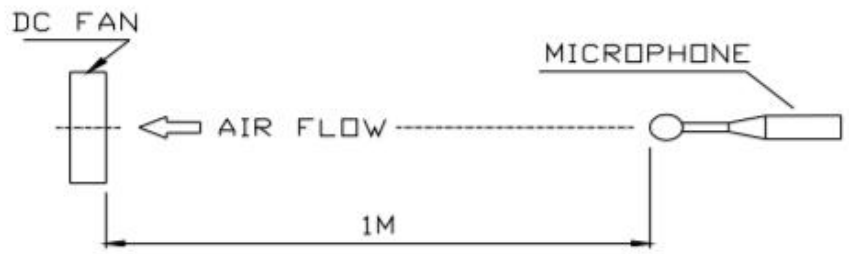
ITEM	DESCRIPTION
RATED VOLTAGE	5.0V
OPERATION VOLTAGE	4.5 - 5.5 VDC
INPUT CURRENT(AVG.) #	0.20 (MAX 0.50) A (SAFETY CURRENT ON LABEL : 0.50A)
INPUT POWER(AVG.)	1.00 (MAX 1.3) W
SPEED	9500±15%R.P.M.
MAX. AIR FLOW (AT ZERO STATIC PRESSURE)	0.144 (MIN. 0.123) M3 /MIN. 5.10 (MIN. 4.34) CFM
MAX. AIR PRESSURE (AT ZERO AIRFLOW)	3.96 (MIN. 2.86) mmH2O 0.156 (MIN. 0.113) inchH2O
ACOUSTICAL NOISE (AVG.)	29.0 (MAX. 33.0) dB-A
INSULATION TYPE	UL: CLASS A
INSULATION STRENGTH	10 MEG OHM MIN. AT 500 VDC (BETWEEN FRAME AND (+) TERMINAL)
DIELECTRIC STRENGTH	5 mA MAX. AT 500 VAC 50/60 Hz ONE MINUTE, (BETWEEN FRAME AND (+) TERMINAL)

THE MAX VALUE OF CONSUMING CURRENT DOES NOT REPRESENT THE PEAK VALUE
THE PEAK VALUE NEED MEASURE BY OSCILLOSCOPE.

LIFE EXPECTANCE (L10) (AT LABEL VOLTAGE)	50,000 HOURS CONTINUOUS OPERATION AT 40 °C WITH 15 ~ 65 %RH.
ROTATION	CLOCKWISE VIEW FROM NAME PLATE SIDE
LOCKED PROTECTION	THE FAN WILL SHUT DOWN WHEN LOCKED ROTOR.

NOTES:

- 1. ALL READINGS ARE MEASURED AFTER STABLY WARMING UP THROUGH 10 MINUTES.
- 2. STANDARD AIR PROPERTY IS AIR AT (Td) 25°C TEMPERATURE, (RH) 65% RELATIVE HUMIDITY , AND (Pb) 760 mmHg BAROMETRIC PRESSURE.
- 3. THE VALUES WRITTEN IN PARENS , (), ARE LIMITED SPEC.
- 4. ACOUSTICAL NOISE MEASURING CONDITION:



NOISE IS MEASURED AT RATED VOLTAGE IN FREE AIR IN ANECHOIC CHAMBER WITH B & K SOUND LEVEL METER WITH MICROPHONE AT A DISTANCE OF ONE METER FROM THE FAN INTAKE.

1. Introduction

ILI9225B is a 262,144-color one-chip SoC driver for a-TFT liquid crystal display with resolution of 176RGBx220 dots, comprising a 528-channel source driver, a 220-channel gate driver, 87120 bytes RAM for graphic data of 176RGBx220 dots, and power supply circuit.

ILI9225B has four kinds of system interfaces which are i80/M68-system MPU interface (8-/9-/16-/18-bit bus width), serial data transfer interface (SPI) and RGB 6-/16-/18-bit interface (DOTCLK, VSYNC, HSYNC, ENABLE, DB[17:0]).

In RGB interface, the combined use of high-speed RAM write function and widow address function enables to display a moving picture at a position specified by a user and still pictures in other areas on the screen simultaneously, which makes it possible to transfer display the refresh data only to minimize data transfers and power consumption.

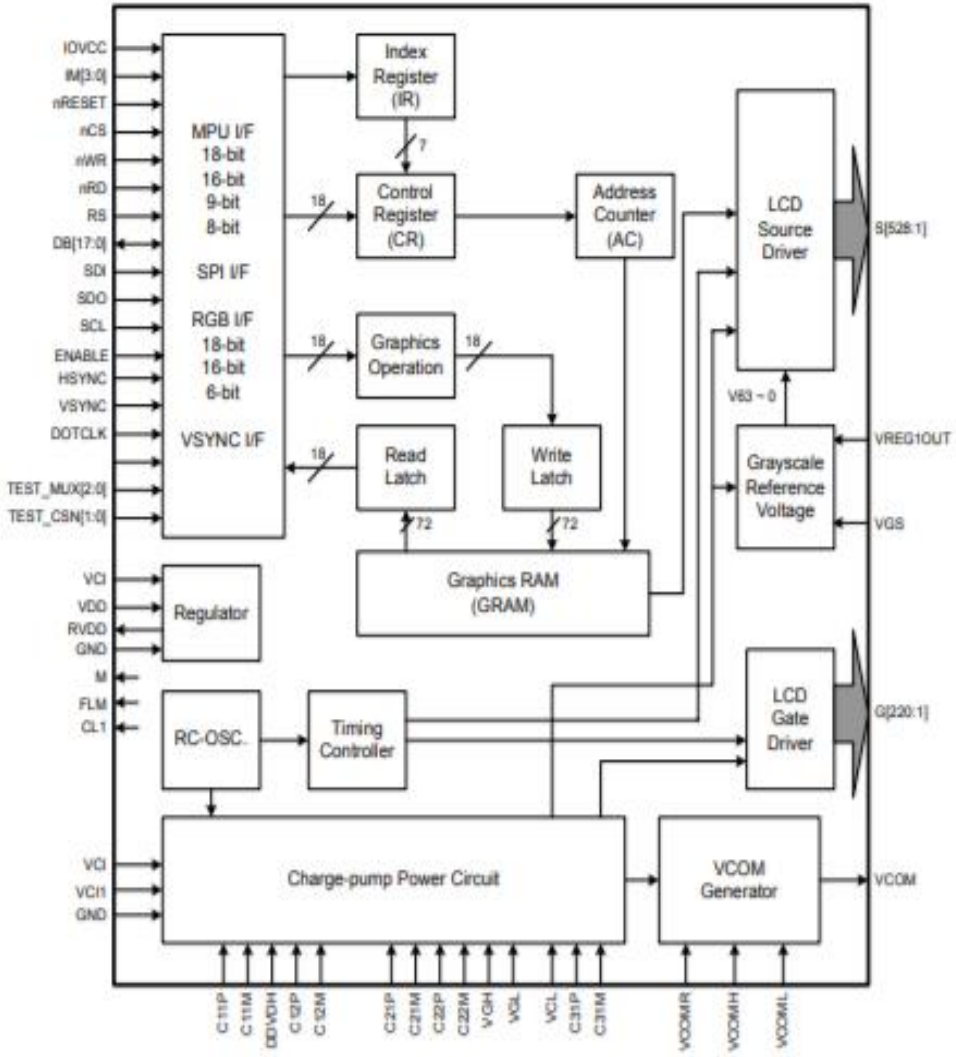
ILI9225B can operate with low I/O interface power supply up to 1.65V, with an incorporated voltage follower circuit to generate voltage levels for driving an LCD. The ILI9225B also supports a function to display in 8 colors and a standby mode, allowing for precise power control by software. These features make the ILI9225B an ideal LCD driver for medium or small size portable products such as digital cellular phones or small PDA, where long battery life is a major concern.

2. Features

- ◆ Single chip solution for a liquid crystal QCIF+ TFT LCD display
- ◆ 176RGBx220-dot resolution capable of graphics display in 262,144 color
- ◆ Incorporate 528-channel source driver and 220-channel gate driver
- ◆ Internal 87,120 bytes graphic RAM
- ◆ High-speed RAM burst write function
- ◆ System interfaces
 - i80 system interface with 8-/ 9-/16-/18-bit bus width
 - M68 system interface with 8-/ 9-/16-/18-bit bus width
 - Serial Peripheral Interface (SPI)
 - RGB interface with 8-/16-/18-bit bus width (VSYNC, HSYNC, DOTCLK, ENABLE, DB[17:0])
- ◆ Reversible source/gate driver shift direction
- ◆ Window address function to specify a rectangular area for internal GRAM access
- ◆ Abundant functions for color display control
 - γ -correction function enabling display in 262,144 colors
 - Line-unit vertical scrolling function
- ◆ Partial drive function, enabling partially driving an LCD panel at positions specified by user
- ◆ Incorporate step-up circuits for stepping up a liquid crystal drive voltage level up to 6 times (x6)
- ◆ Power saving functions
 - 8-color mode
 - standby mode
 - Deep standby mode
- ◆ Low -power consumption architecture
 - Low operating power supplies:

- IOVcc (VDD3) = 1.65 ~ 3.3 V (interface I/O)
 - Vci = 2.5 ~ 3.3 V
- Low voltage drive: DDVDH (DDVDH) = 4.5 ~ 5.5 V

3. Block Diagram



A.11. Fuente de alimentción PSK-6B-S12

Additional Resources: [Product Page](#) | [3D Model](#) | [PCB Footprint](#)



date 01/08/2019
page 1 of 5

SERIES: PSK-6B | **DESCRIPTION:** AC-DC POWER SUPPLY

FEATURES

- up to 6 W continuous power
- universal input: 85~264 Vac
- compact encapsulated design
- single output from 5 Vdc ~ 24 Vdc
- short circuit, over voltage protection, over current protection
- 4000 Vac isolation
- no load power consumption <100 mW



MODEL	output voltage (Vdc)	output current max (A)	output power max (W)	ripple and noise ¹ typ (mVp-p)	efficiency typ (%)
PSK-6B-S5	5	1.2	6	100	75.18
PSK-6B-S9	9	0.67	6	100	79.03
PSK-6B-S12	12	0.5	6	120	79.03
PSK-6B-S15	15	0.4	6	150	79.03
PSK-6B-S24	24	0.25	6	240	79.03

Notes: 1. At full load, nominal input, 20 MHz bandwidth oscilloscope, output terminated with 10 µF electrolytic and 0.1 µF ceramic capacitors.
2. All specifications are measured at Ta=25°C, nominal input voltage, and 75% rated output load unless otherwise specified.

PART NUMBER KEY



INPUT

parameter	conditions / description	min	typ	max	units
voltage		85		264	Vac
		120		370	Vdc
frequency		47		63	Hz
current				0.25	A
inrush current	at 240 Vac, 25°C, cold start			40	A
leakage current				0.25	mA
no load power consumption				0.10	W

OUTPUT

parameter	conditions / description	min	typ	max	units
capacitive load	5 Vdc output model			1,200	µF
	9 Vdc output model			670	µF
	12 Vdc output model			500	µF
	15 Vdc output model			400	µF
	24 Vdc output model			200	µF
initial set point accuracy	at full load, 25°C				
	5, 9 Vdc output models		±5		%
	12 Vdc output model		±4		%
	15, 24 Vdc output models		±3		%
line regulation	high line to low line at full load		±1		%
load regulation	10%~100% load				
	5, 9 Vdc output models		±5		%
	12 Vdc output model		±4		%
	15, 24 Vdc output models		±3		%
hold-up time	at 115 Vac		12		ms
switching frequency		30		70	kHz
temperature coefficient			±0.05		%/°C

PROTECTIONS

parameter	conditions / description	min	typ	max	units
over current protection		110			%
short circuit protection	hiccup, auto recovery				

SAFETY & COMPLIANCE

parameter	conditions / description	min	typ	max	units
isolation voltage	input to output		4,000		Vac
safety approvals	IEC62368-1/60950-1, UL62368-1/60950-1				
safety class	class II				
EMI/EMC	EN 55032 Class B, FCC Part 15 Class B, EN 61000-6-3, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55024, EN 61204-3, EN 61000-6-1				
MTBF	as per MIL-HDBK-217F, at 115 Vac, 25°C, GB	300,000			hours
life time	at 40°C, 75% load	3			years
RoHS	yes				

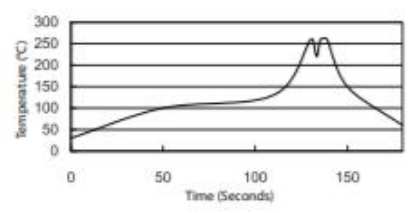
ENVIRONMENTAL

parameter	conditions / description	min	typ	max	units
operating temperature	see derating curve	-25		70	°C
storage temperature		-40		85	°C
operating humidity	non-condensing			93	%
operating altitude			3000		m

SOLDERABILITY

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
wave soldering	see wave soldering profile			260	°C

- Notes:
1. Soldering materials: Sn/Cu/Ni
 2. Ramp up rate during preheat: 1.4°C/s (from 50°C to 100°C)
 3. Soaking temperature: 0.5°C/s (from 100°C to 130°C), 60±20 seconds
 4. Peak temperature: 260°C, above 250°C for 3~6 seconds
 5. Ramp down rate during cooling: -10°C/s (from 260°C to 150°C)



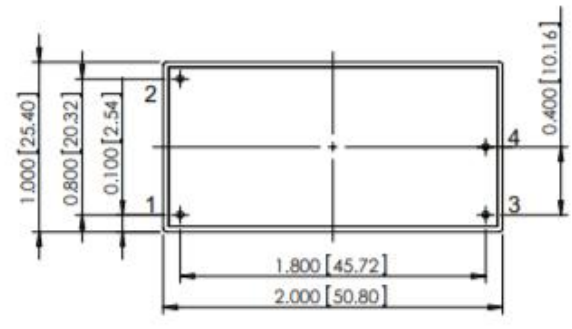
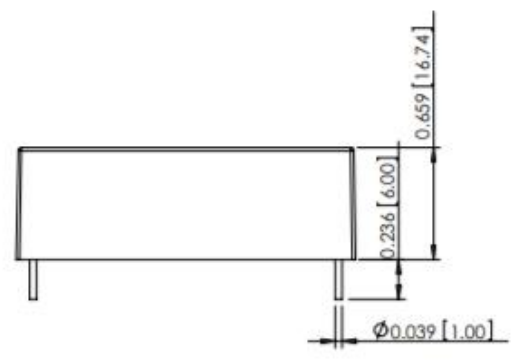
MECHANICAL

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
dimensions	2.000 x 1.000 x 0.659 (50.80 x 25.40 x 16.74 mm)				inch
weight			36		g
cooling	natural convection				

MECHANICAL DRAWING

units: inch [mm]
 tolerance: X.XXX = ±0.020 [±0.50]

PIN	Function
1	ACN
2	ACL
3	+Vout
4	-Vout



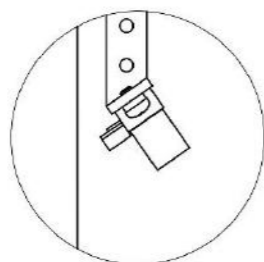
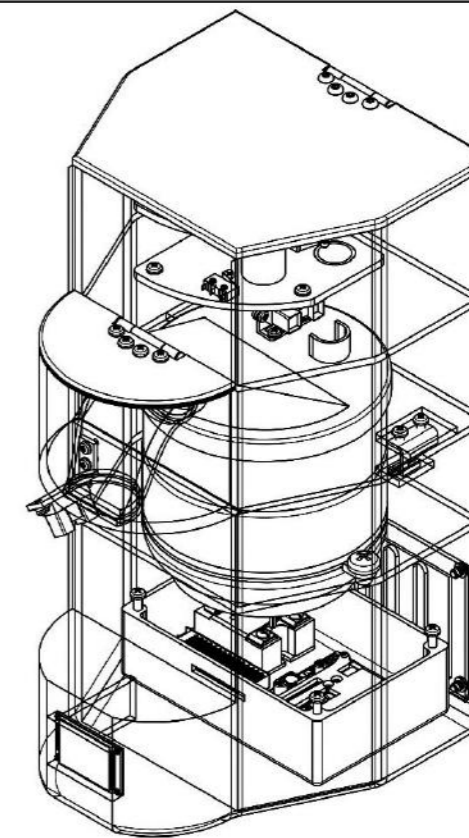
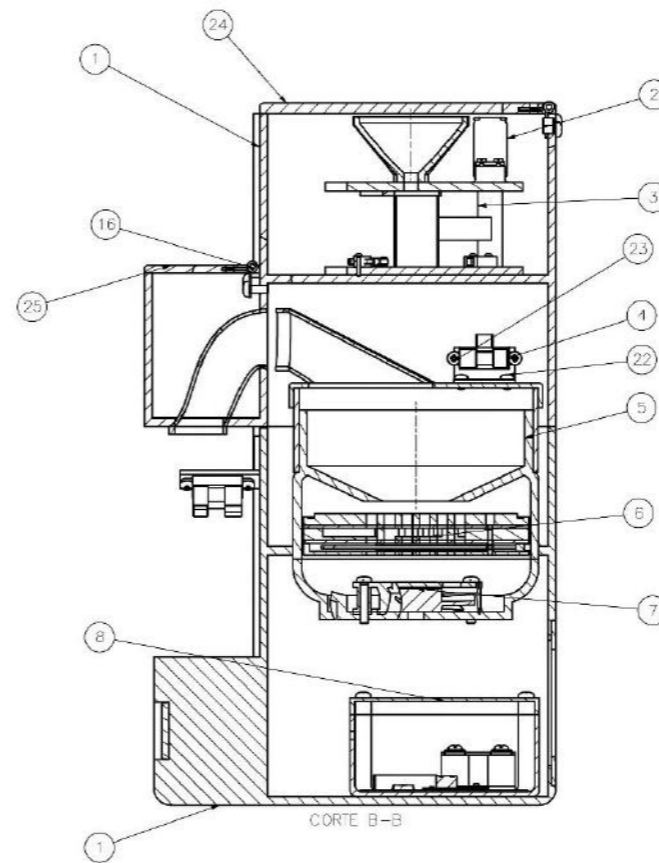
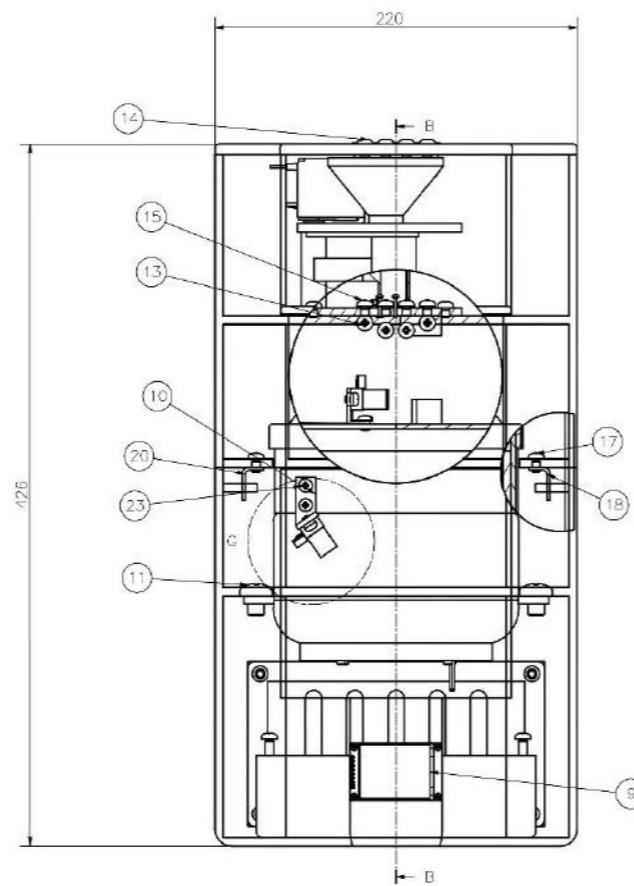
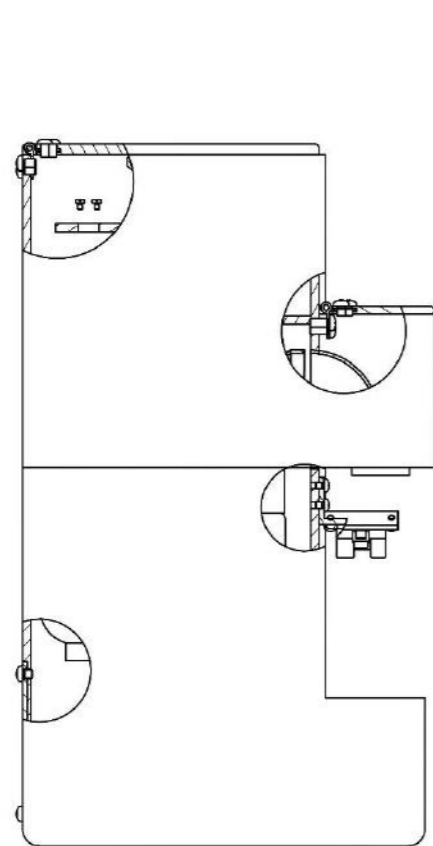
Anexo B: Planos mecánicos de la Máquina de cocción de granos de maíz

En el presente anexo se presentarán los planos mecánicos del sistema, tanto los de ensamble como los de despiece. En la Tabla B1, se muestra la lista detallada de cada uno, junto con su respectivo nombre y subsistema al que pertenece.

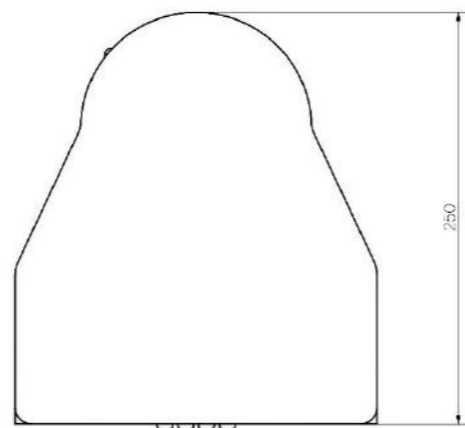
Tabla B1: Lista de planos de despiece y ensamble para la máquina automática de cocción de granos de maíz.

Partes de la máquina	Tipo de plano	Código	Nombre del plano
Sistema principal	Ensamble	E01-A1	Máquina de cocción de granos de maíz
		E02-A3	Bisagra
	Despiece	D01-A3	Gancho de sujeción derecho
		D02-A3	Gancho de sujeción izquierdo
		D03-A3	Pin de bisagra
		D04-A3	Bisagra de placa inferior
		D05-A3	Bisagra de placa superior
D06-A2	Cuerpo superior de la carcasa		
D07-A2	Cuerpo inferior de la carcasa		
Subsistema de carga de granos	Ensamble	E03-A3	Dosificador de granos
		D08-A3	Tapa superior del dosificador
	Despiece	D09-A3	Tapa inferior del dosificador
		D10-A3	Tolva de alimentación
		D11-A3	Mecanismo del dosificador
		D12-A3	Tapa del sistema principal
Subsistema de preparación	Ensamble	E04-A3	Recipiente de preparación
		E05-A3	Cubierta superior del recipiente
		E06-A3	Sistema de ventilación
	Despiece	D13-A3	Tapa del sistema de preparación
		D14-A3	Cuerpo interno del sistema de preparación
		D15-A3	Recipiente interno extraíble
		D16-A3	Base de calentamiento
D17-A3	Soporte del sensor de ultrasonido 1		
Subsistema de descarga de granos	Ensamble	E07-A3	Detección de altura de granos
		D18-A3	Soporte de sensor de ultrasonido 2
	Despiece	D19-A3	Tapa de protección del sistema de descarga
D20-A3		Tubería de descarga	
Subsistema de energía	Ensamble	E08-A3	Caja de protección de circuitos
		D21-A3	Tapa de la caja de protección de circuitos
	Despiece	D22-A3	Envase de protección de circuitos
D23-A3		Compuerta de la zona de circuitos	





DETALLE C
ESCALA 1 : 1



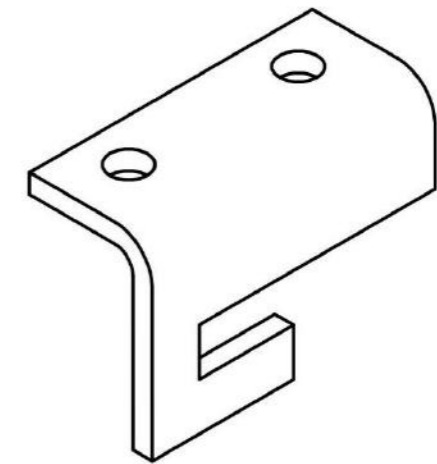
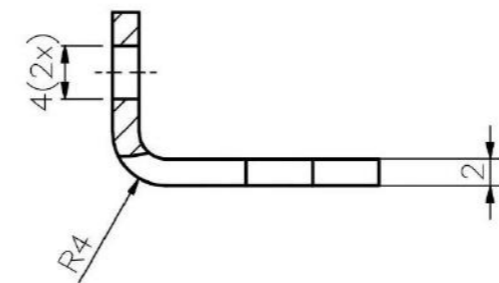
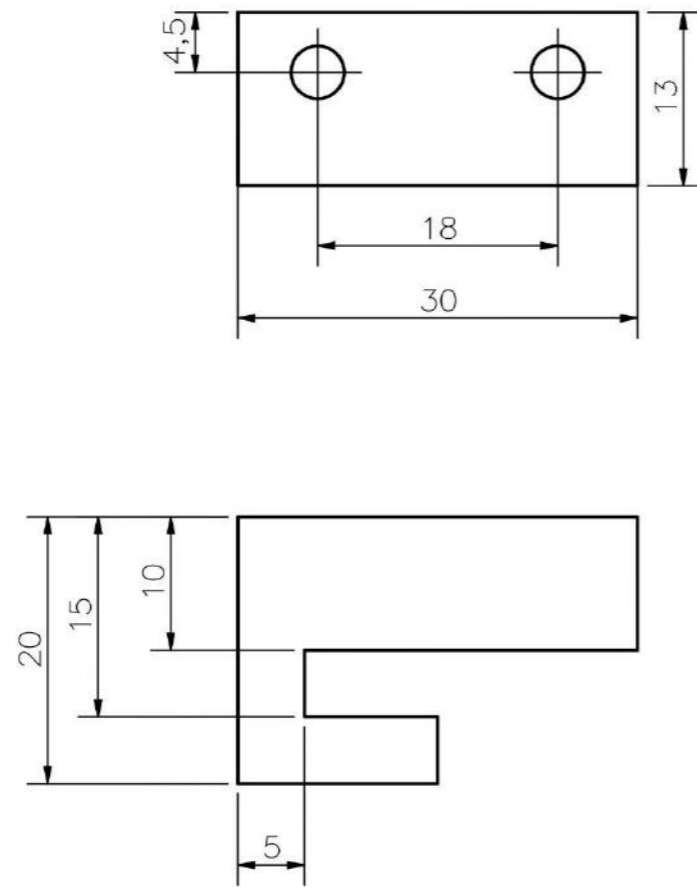
26	1	Cuerpo inferior de la coccedora		Po (propileno)	D07-A3
25	1	Topo de sistema de preparación		Po (propileno)	D13-A3
24	1	Topo del sistema principal		Po (propileno)	D12-A3
23	4	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 5 - 4.8 - 2
22	2	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 6 - 4.8 - H
20	1	Concho de sujeción izquierda		Plástico PETG	D02-M
18	1	Concho de sujeción derecha		Plástico PETG	D01-A4
17	5	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 8 - 4.8 - 2
16	2	Plástico		Plástico ABS	E02-A3
15	11	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 6 - 4.8 - 2
14	4	Tornillo de cabeza hexagonal apicalado	ISO 7380-H	Acero	M5 x 8
13	4	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 12 - 4.8 - 2
12	4	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M5 x 12 - 4.8 - H
11	2	Tornillo de cabeza cilíndrico redondeado	ISO 7045	Acero	M10 x 12 - 4.8 - H
10	1	Director de altura de granos		Plástico PETG	E07-A3
9	1	Panela LCD		Genérico	TF 2" - 16285
8	1	Caja de protección de circuitos		Plástico PETG	E08-A3
7	1	Sistema de ventilación		Genérico	E03-A3
6	1	Elemento calentador		Genérico	MCA Heiser
5	1	Recipiente de preparación	3103	Aluminio	E04-A3
4	2	Cubierta superior de recipiente de preparación		Acero	E05-A3
3	1	Desfocador de granos		Plástico PETG	E03-A3
2	1	Servomotor		Genérico	M0208T
1	1	Cuerpo superior de la coccedora		Po (propileno)	D00-A3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 ESCALA: 1:2

20150494 RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO PRO: 2020,05,07 LAMINA: E01-A1

COTA NOMINAL	COTA MEDIDA	COTA REAL

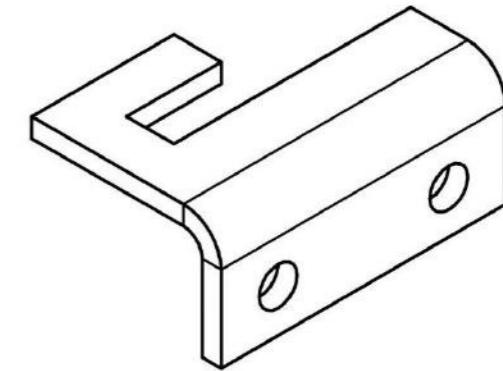
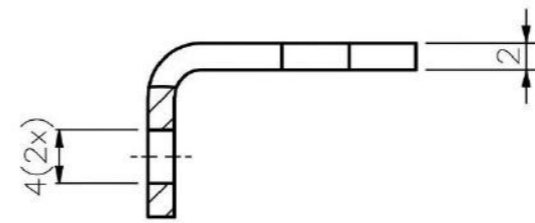
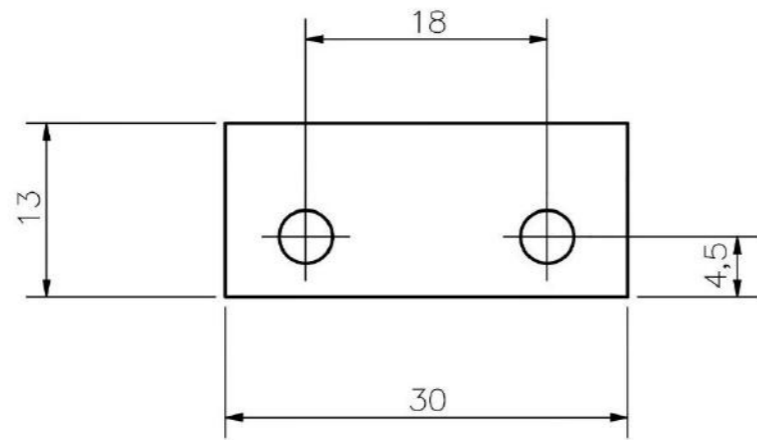
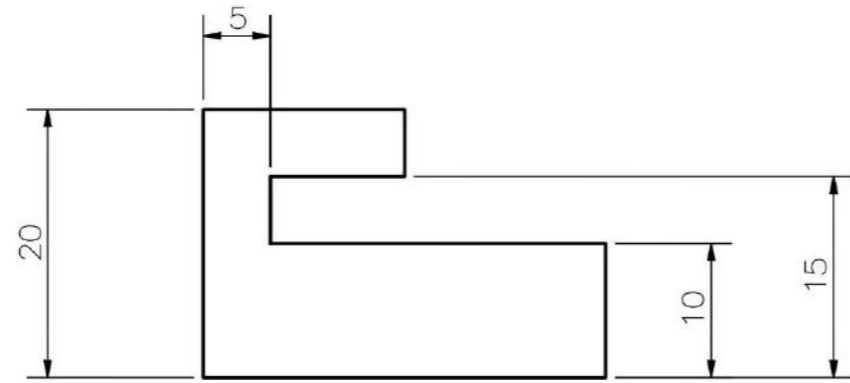


3,2/ En todas las superficies

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 -1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 GANCHO DE SUJECIÓN DERECHO	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D01-A3

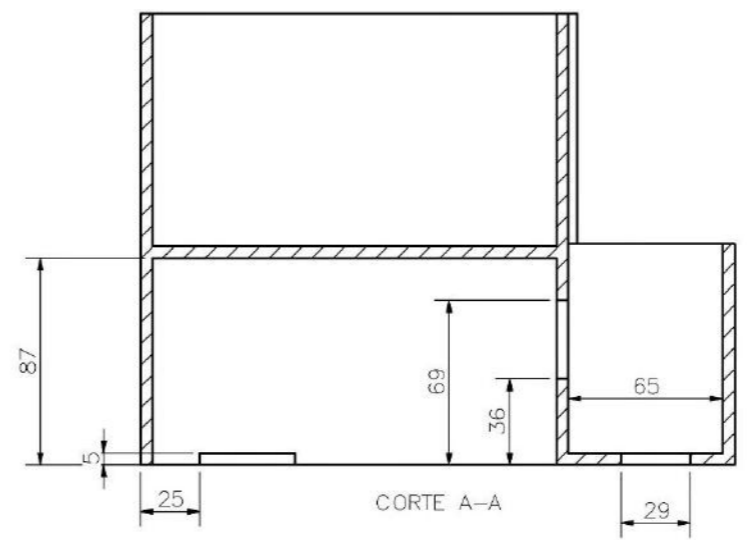
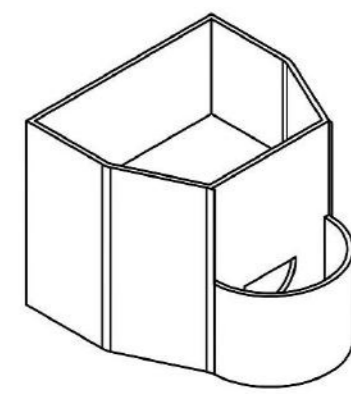
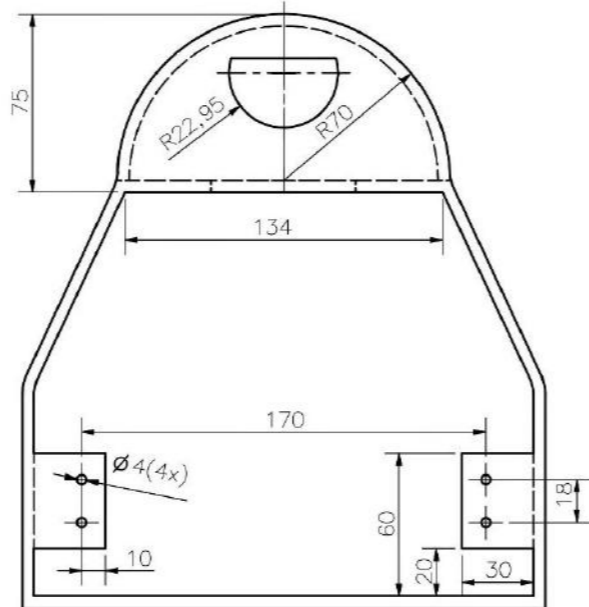
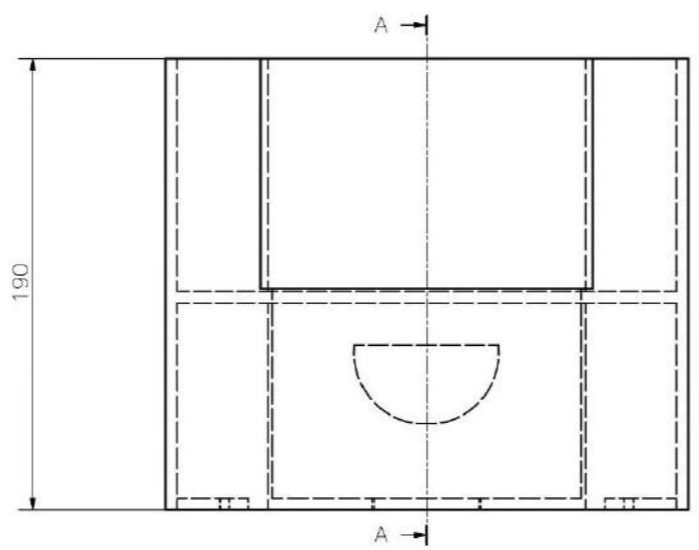
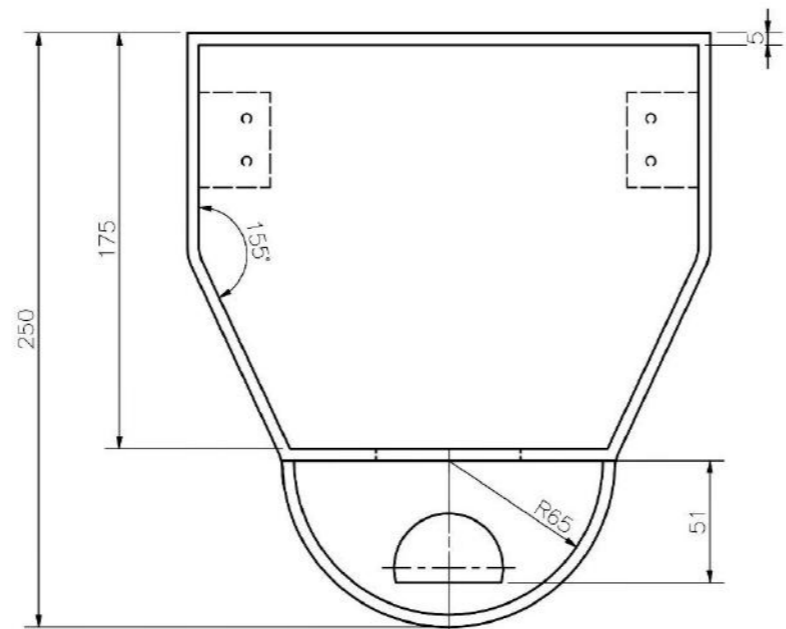


3,2/ En todas las superficies

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 GANCHO DE SUJECIÓN IZQUIERDO	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D02-A3



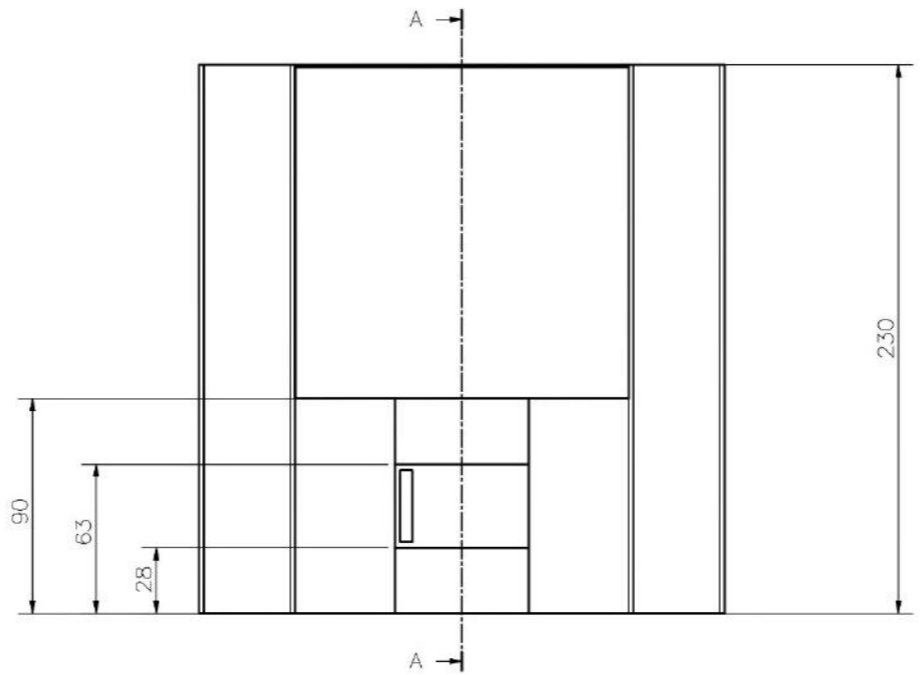
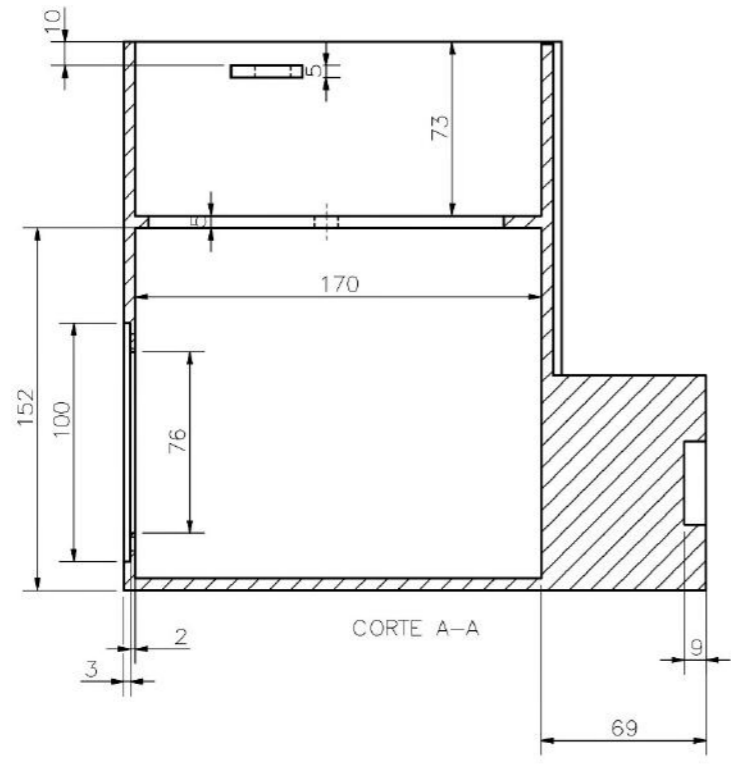
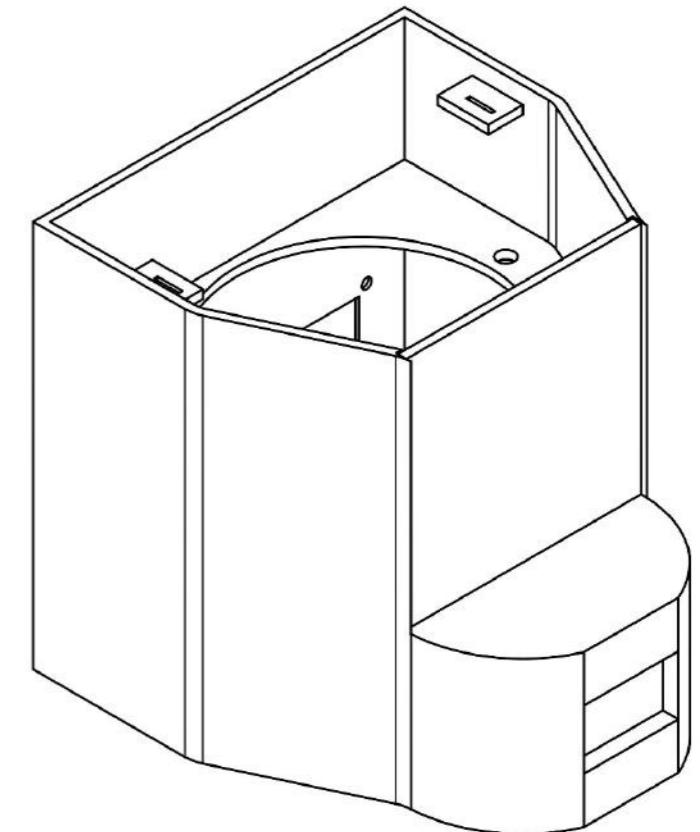
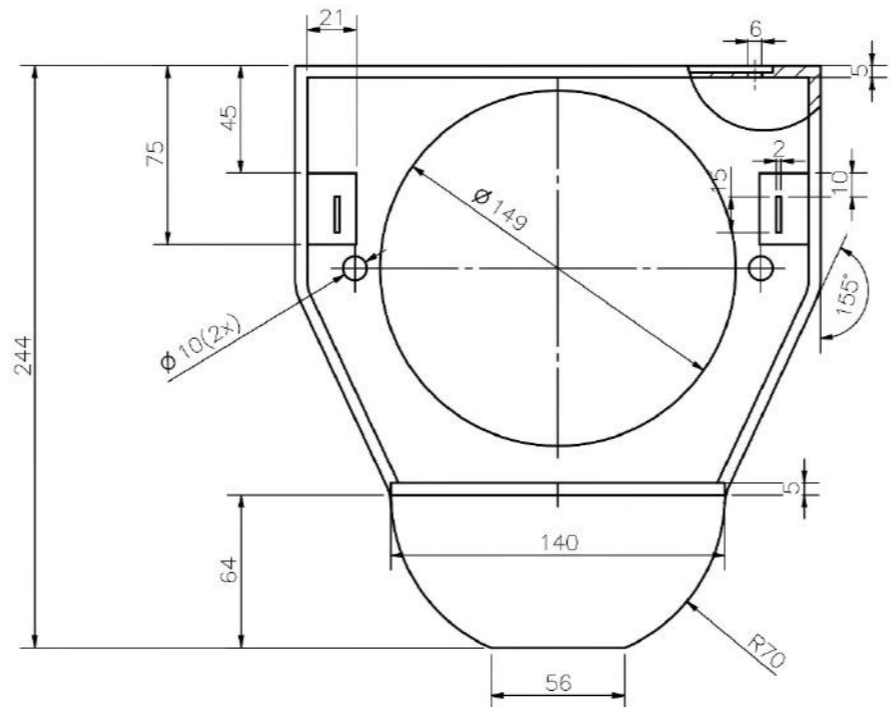
3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

REDONDEOS R20

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL POLIPROPILENO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 CUERPO SUPERIOR DE LA CARCASA	ESCALA 1:2
20150494	RAMIREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LAMINA: D06-A2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN ISO 2768-1						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
						±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



3,2 / EN TODAS LAS SUPERFICIES

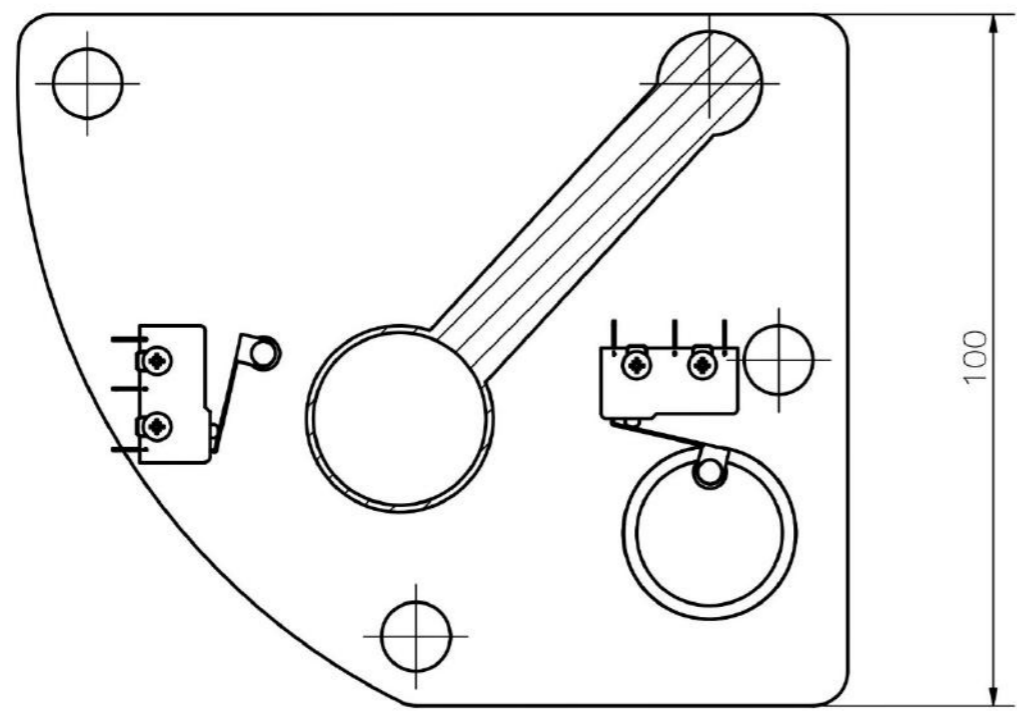
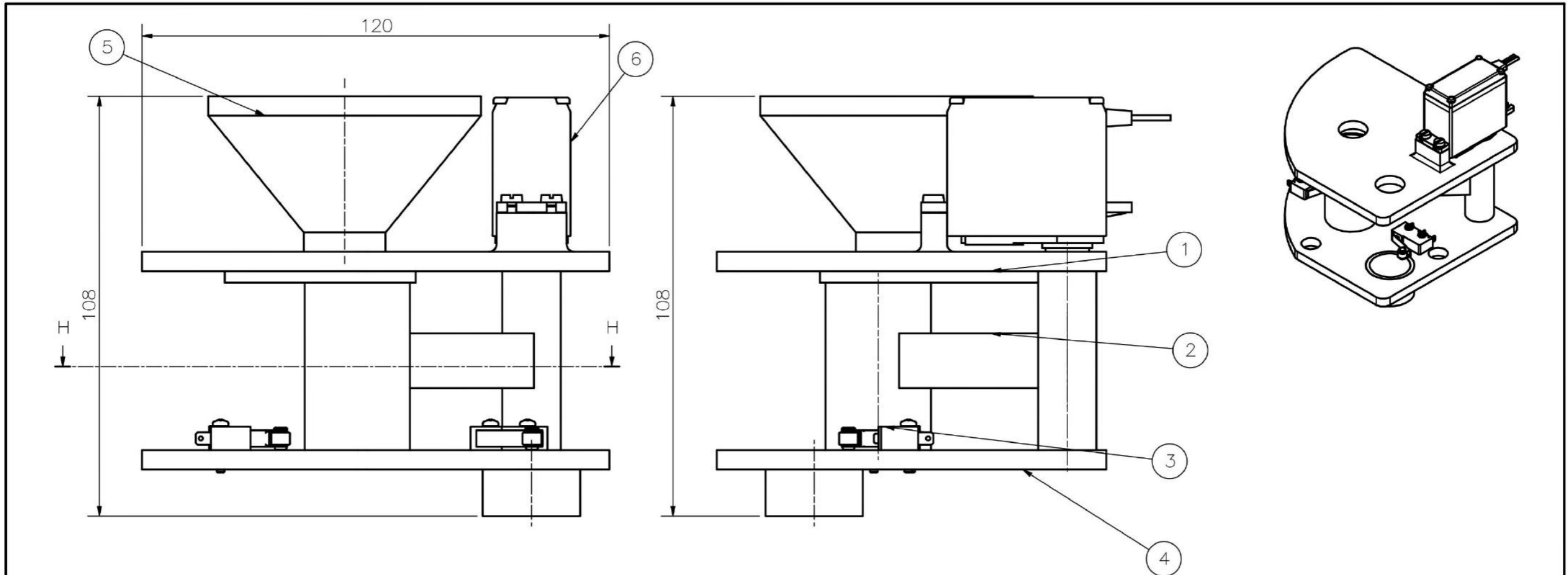
REDONDEOS R20

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN ISO 2768-1

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 3,2 /	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL POLIPROPILENO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN +	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 CUERPO INFERIOR DE LA CARCASA	ESCALA 1:2
20150494	RAMIREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D07-A2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



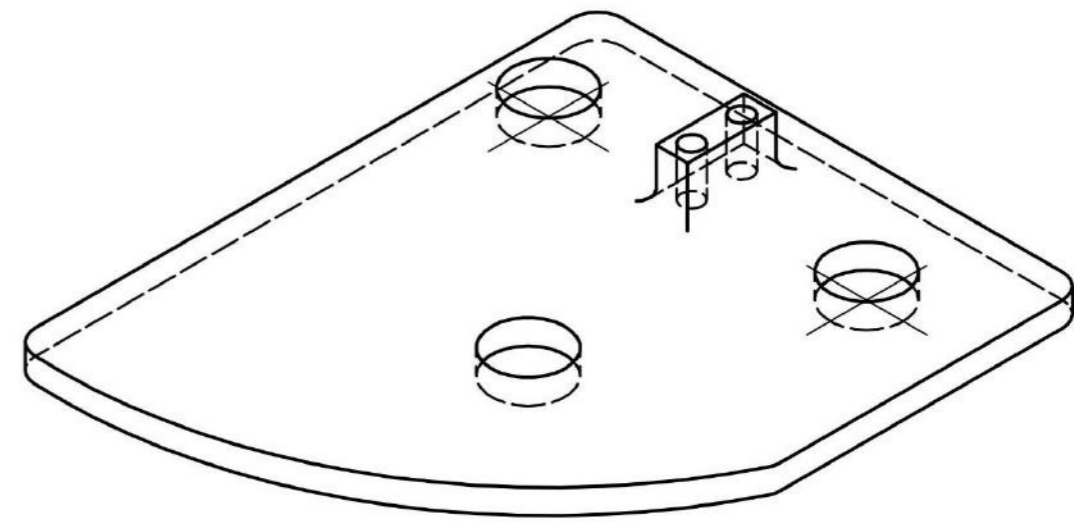
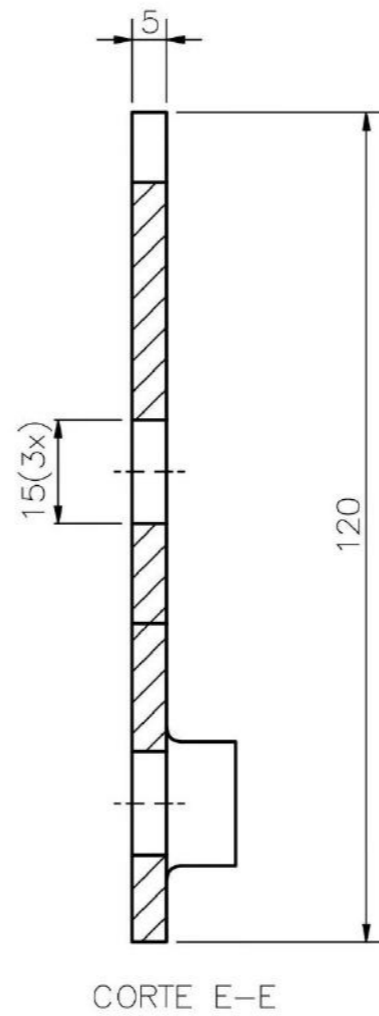
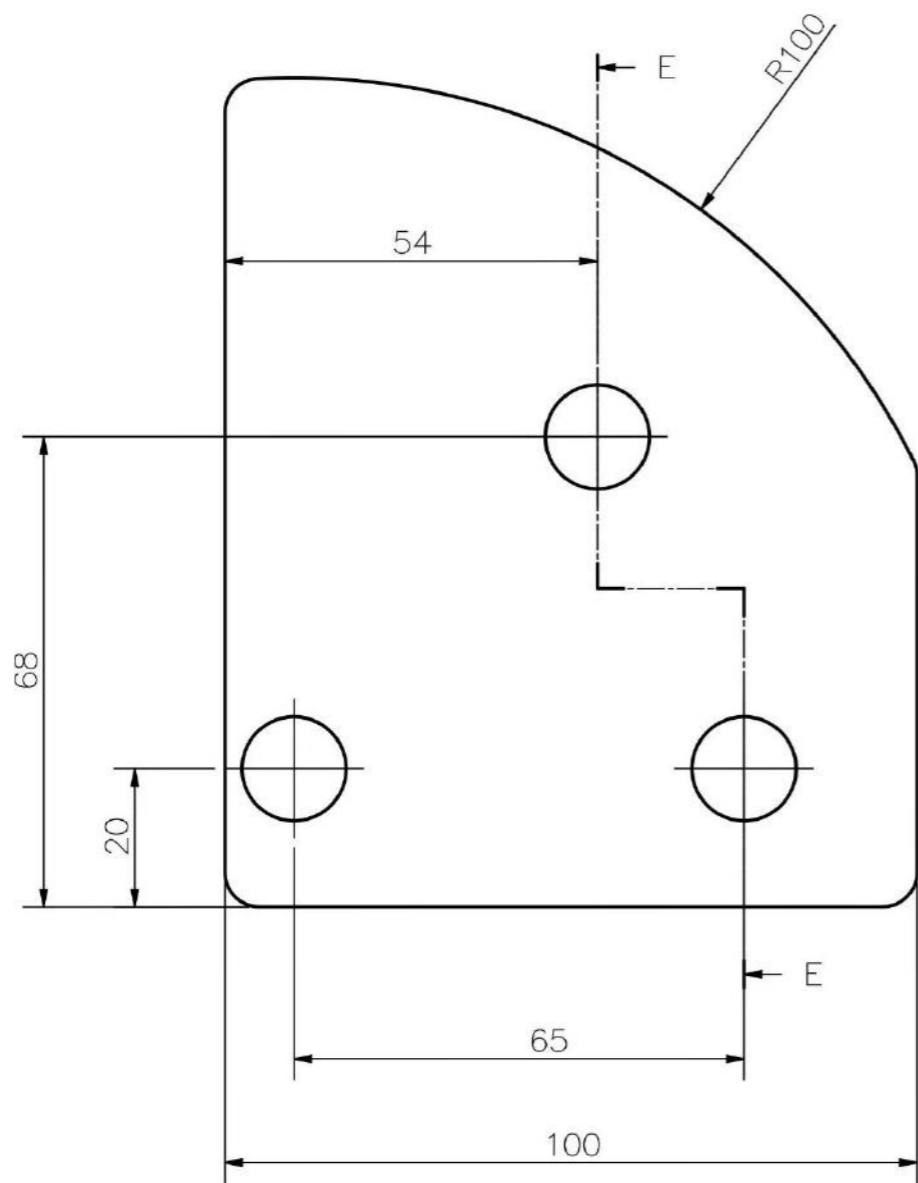
CORTE H-H

8	2	Tornillo de cabeza cilíndrica ranurada	ISO 1207	Acero inoxidable, 440C	M3 x 4
7	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	ISO 7045	Acero inoxidable	M2 x 12 - 4.8 - Z
6	1	Servomotor		Genérico	MG996R
5	1	Tolva de alimentación		Plástico PETG	D10-A3
4	1	Tapa inferior del dosificador		Plástico PETG	D09-A3
3	2	Sensor de fin de carrera		Genérico	AVL3825613-A
2	1	Mecanismo del dosificador		Plástico PETG	D11-A3
1	1	Tapa superior del dosificador		Plástico PETG	D08-A3

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA- INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 DOSIFICADOR DE GRANOS	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20 LÁMINA: E02-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

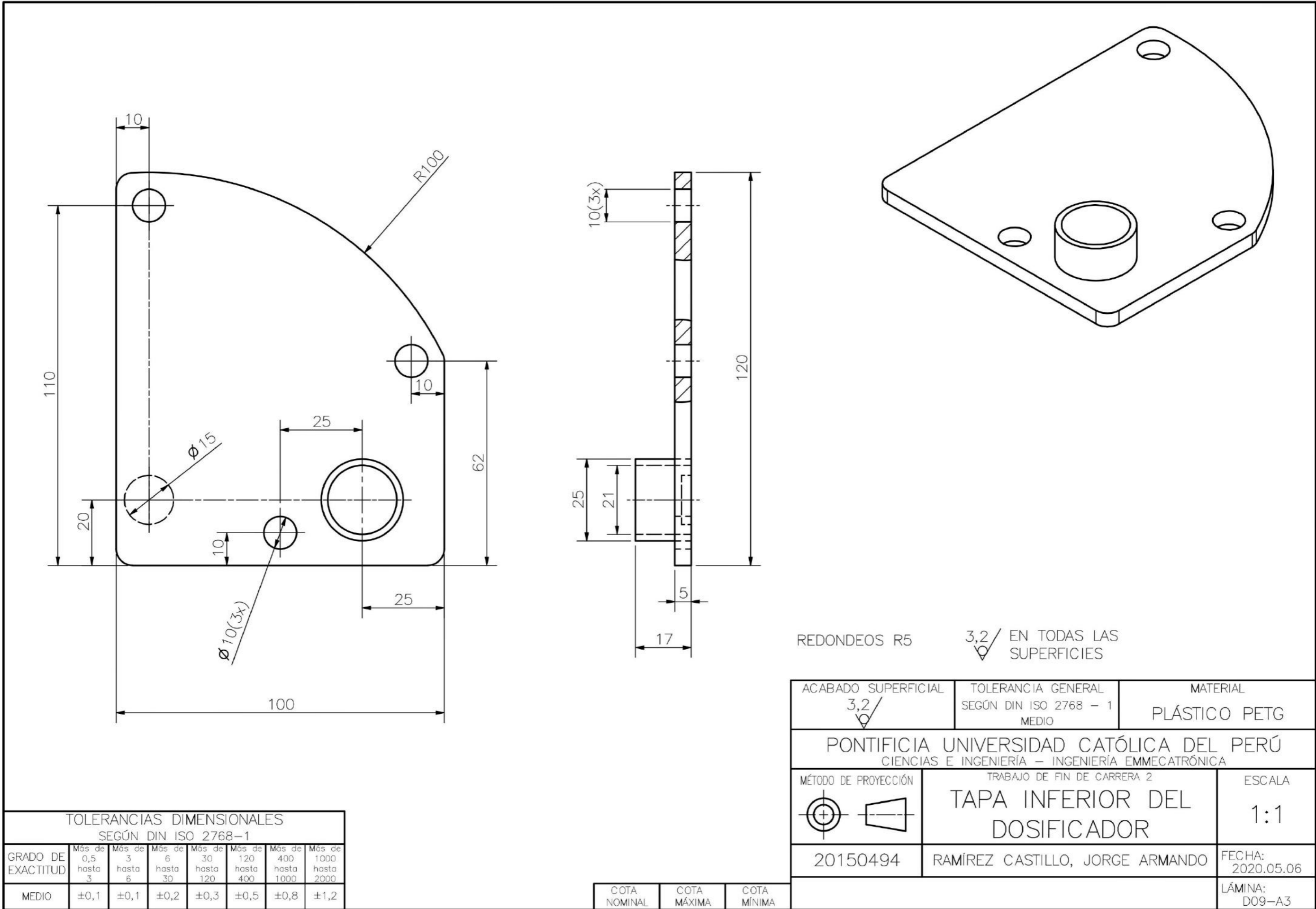


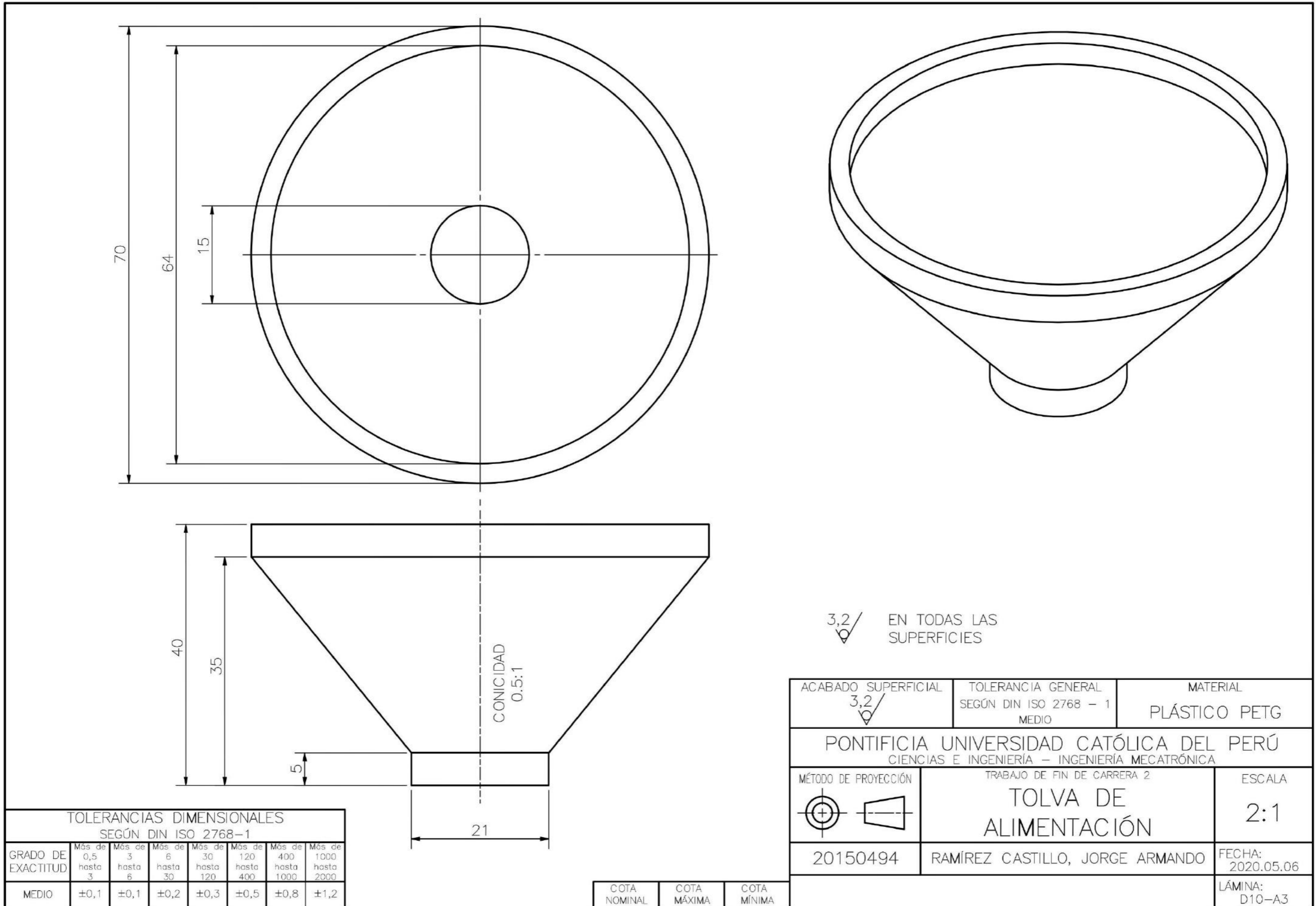
REDONDEOS R5 $\sqrt{3,2}$ En todas las superficies

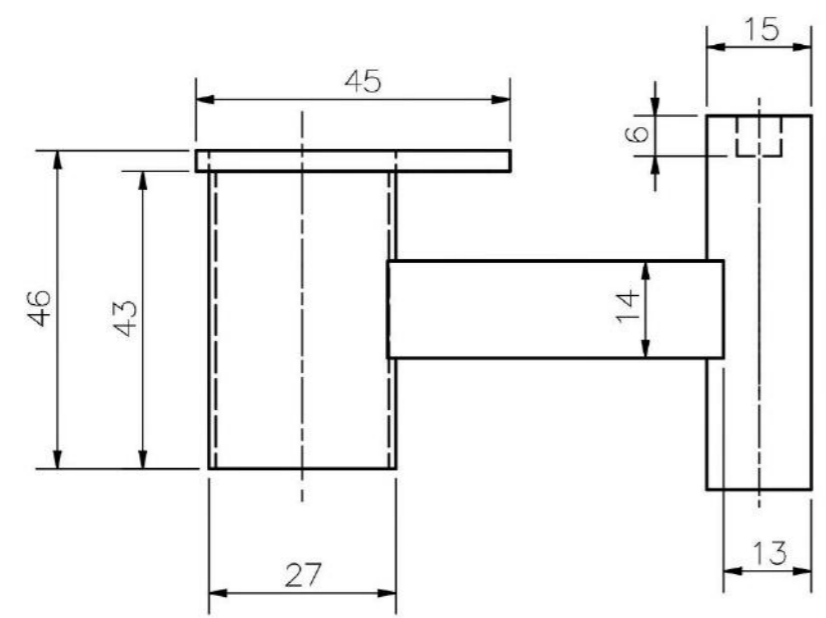
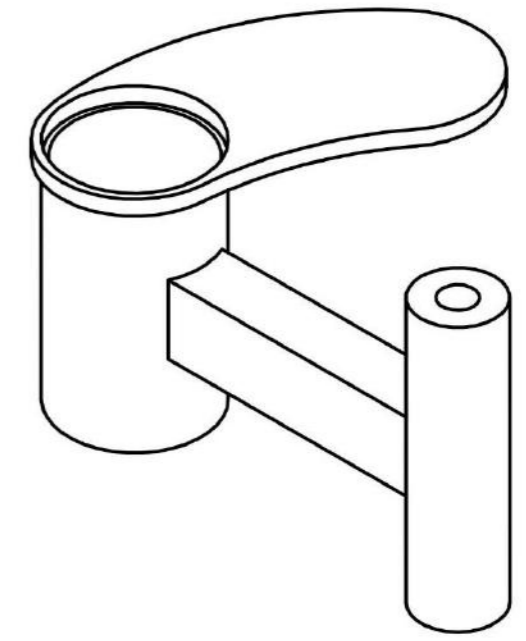
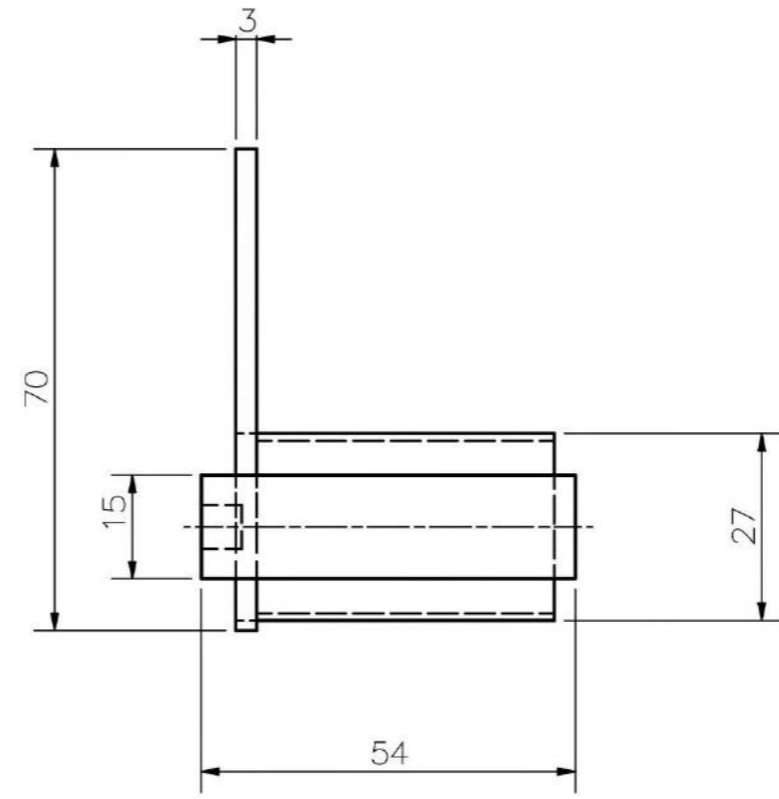
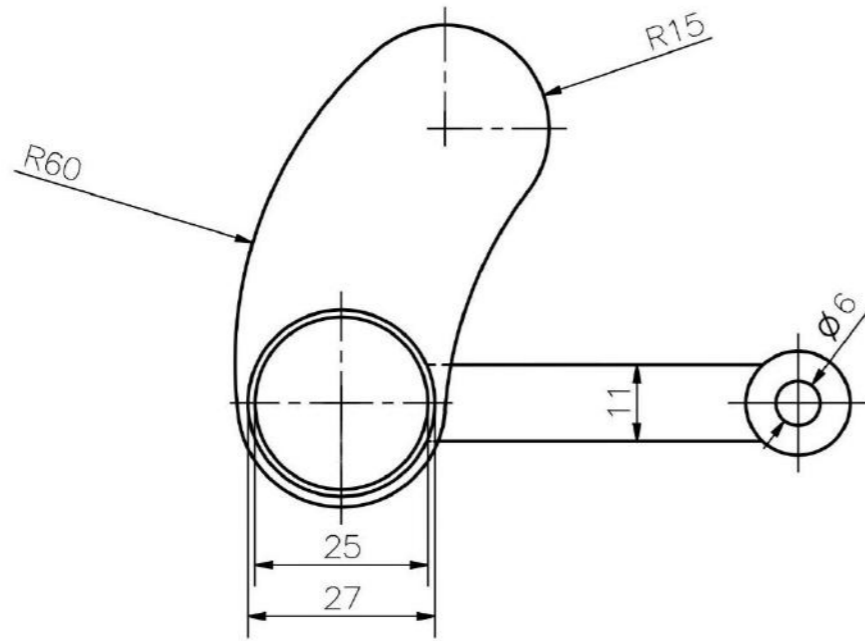
ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{3,2}$	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 TAPA SUPERIOR DEL DOSIFICADOR	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.06
		LÁMINA: D08-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------





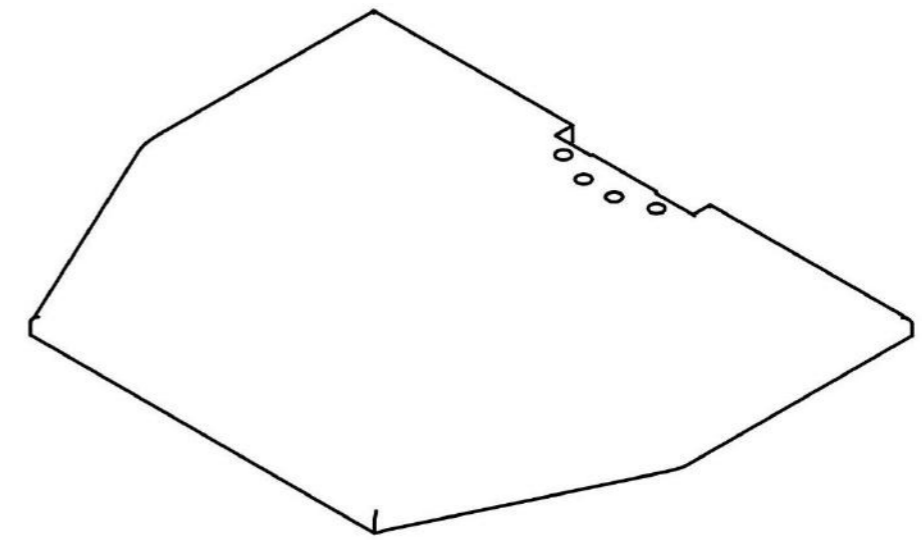
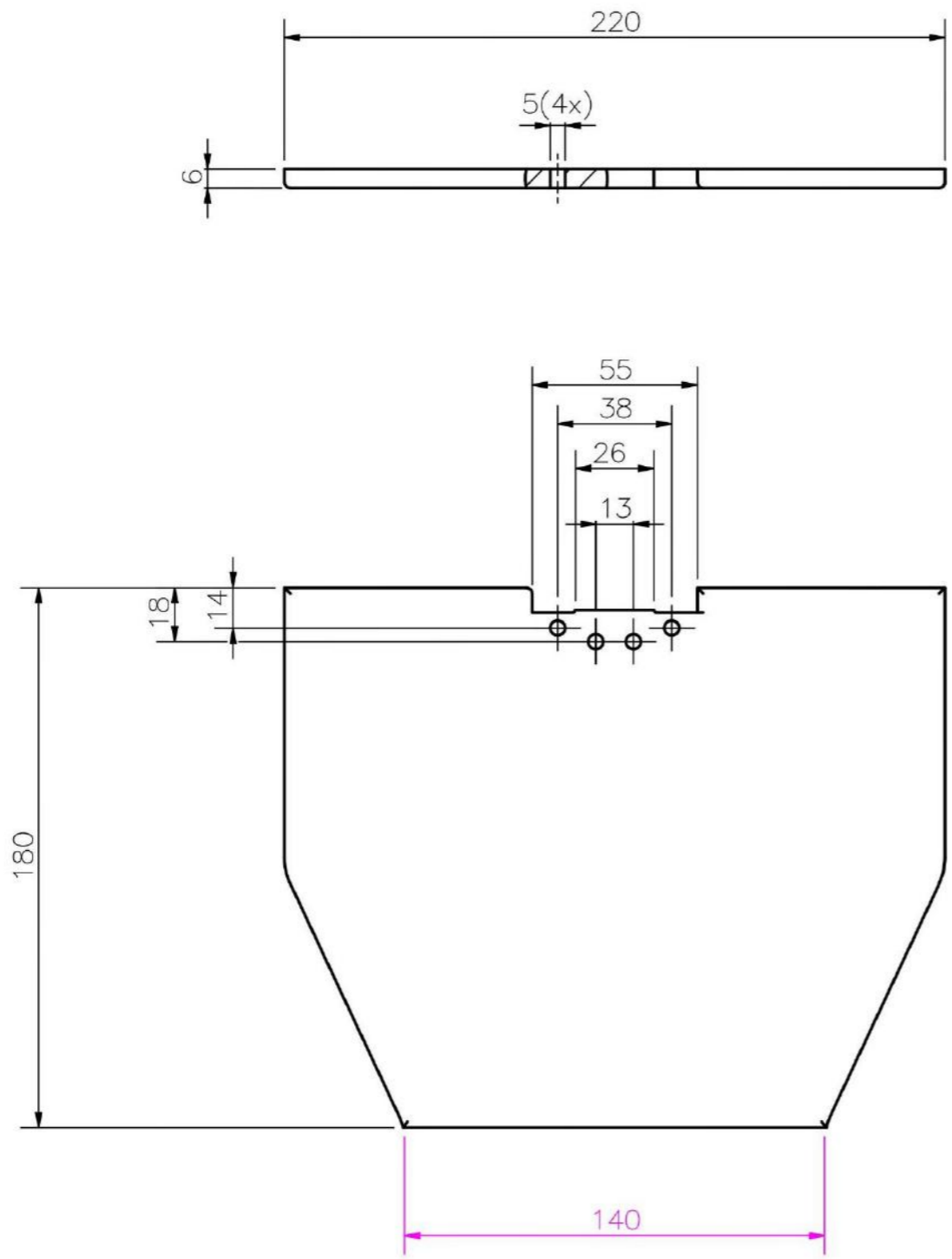


3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL Plástico PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊖	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 MECANISMO DOSIFICADOR	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.06
		LÁMINA: D11-A3

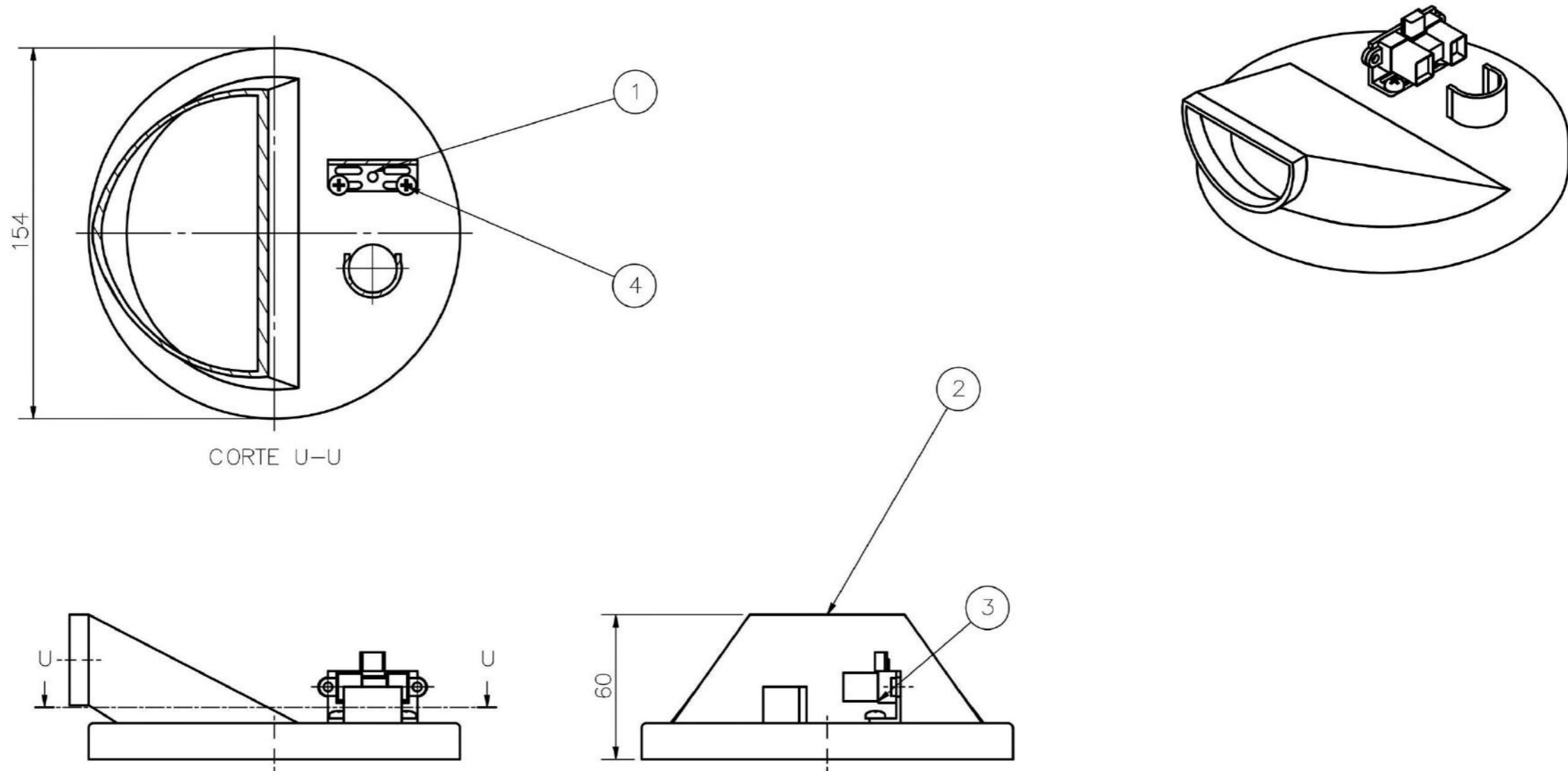


REDONDEOS R4 3,2/EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL Plástico PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 TAPA PRINCIPAL DE LA MÁQUINA	ESCALA 1:2
201590494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D12-A3

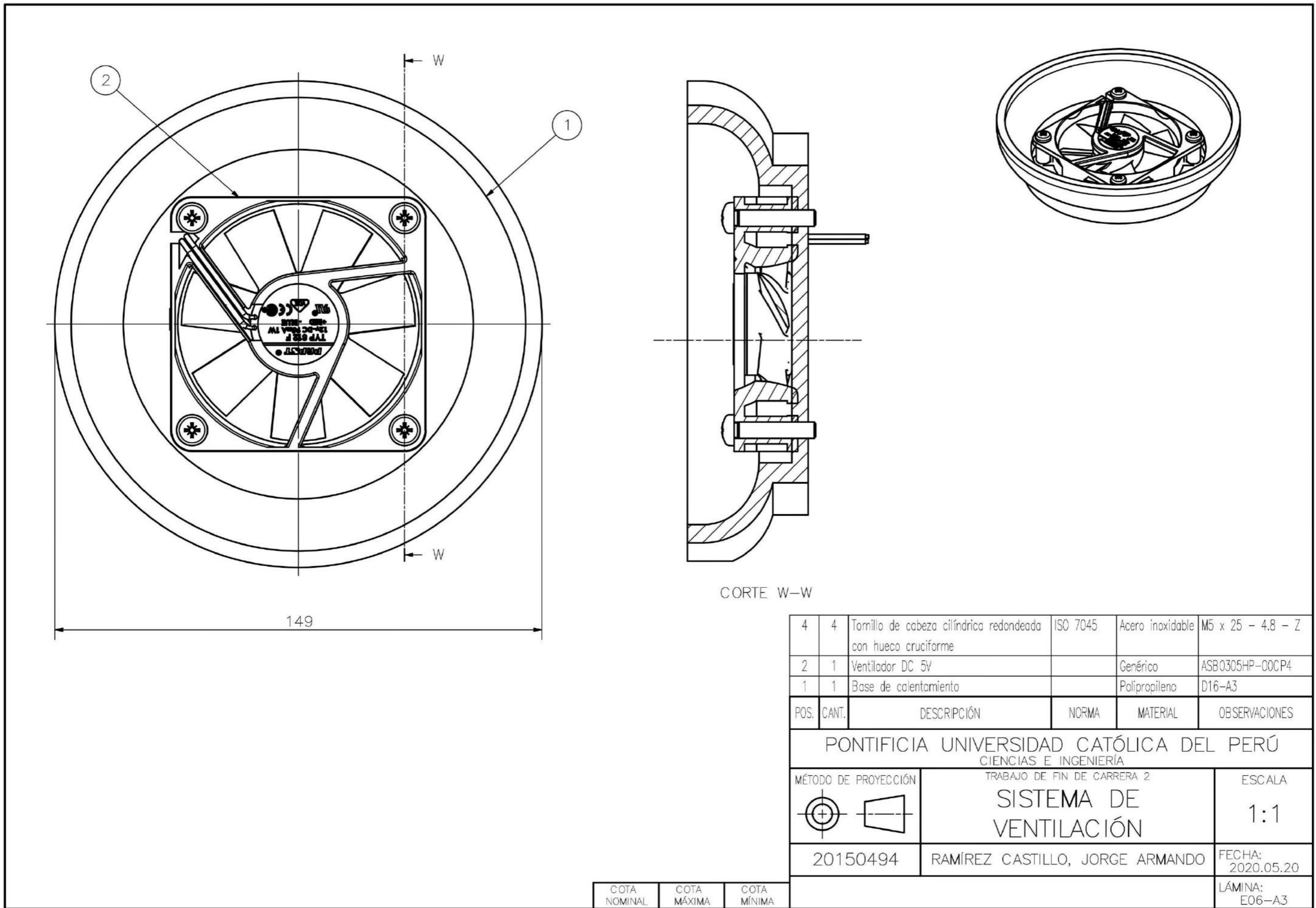


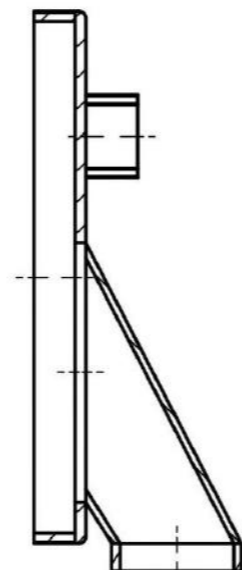
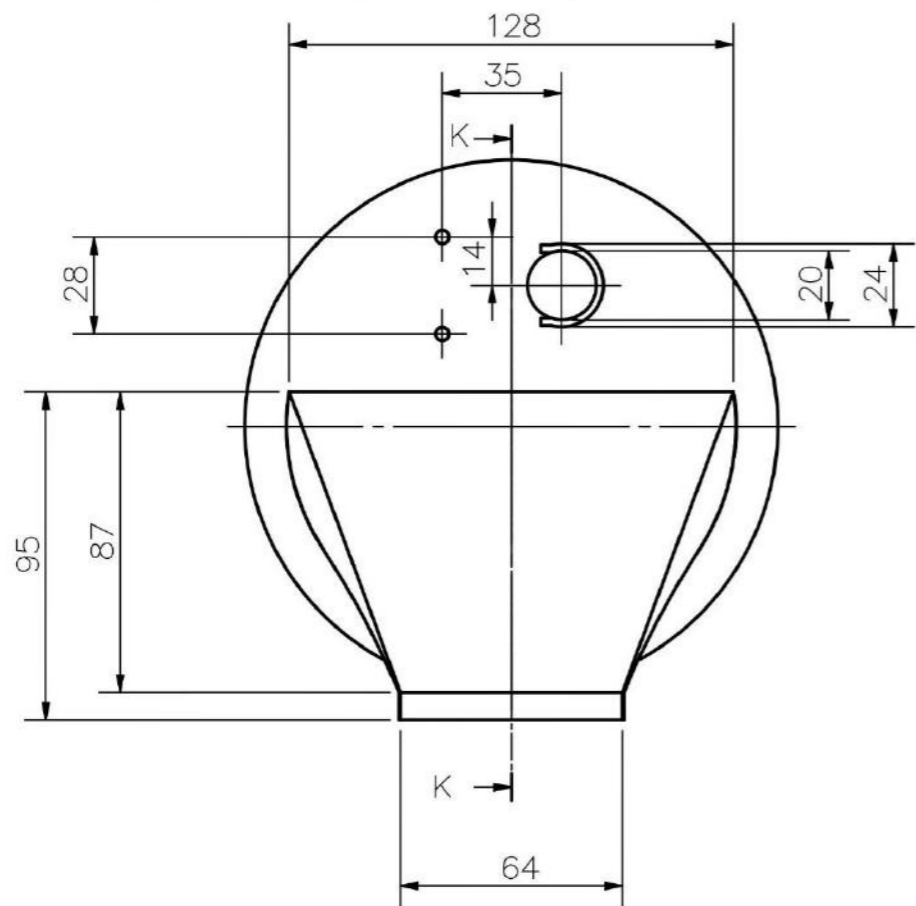
4	2	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M4 x 6 - 4.8 - H
3	1	Sensor de ultrasonido		Genérico	HC-SR04
2	1	Tapa del sistema de preparación		Resina	D13-A3
1	1	Soporte de sensor de ultrasonido 1		Plástico PETG	D17-A3

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

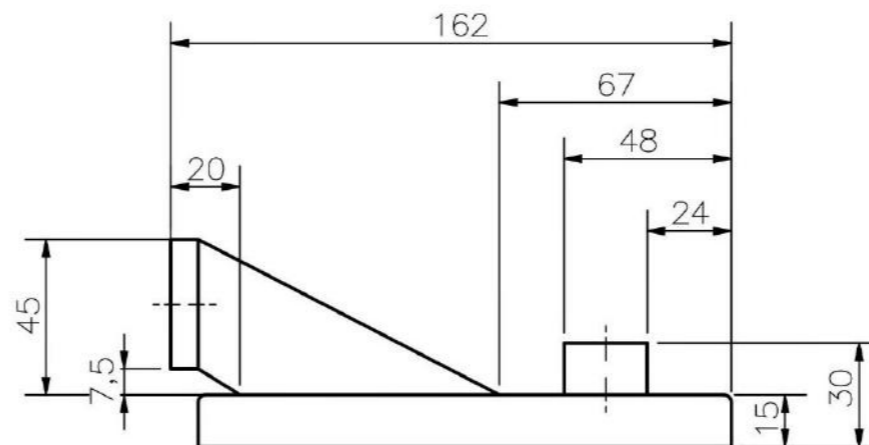
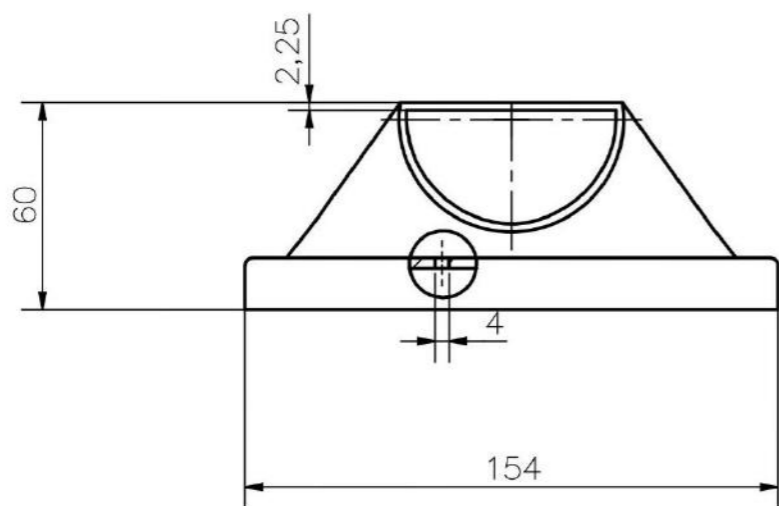
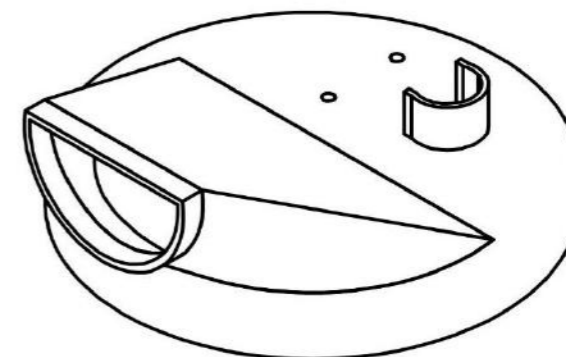
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 CUBIERTA DEL ENVASE DE PREPARACIÓN	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: E05-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------





CORTE K-K

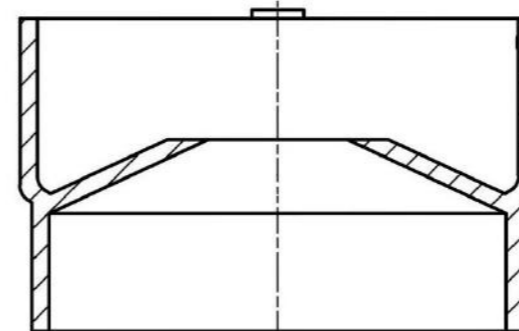
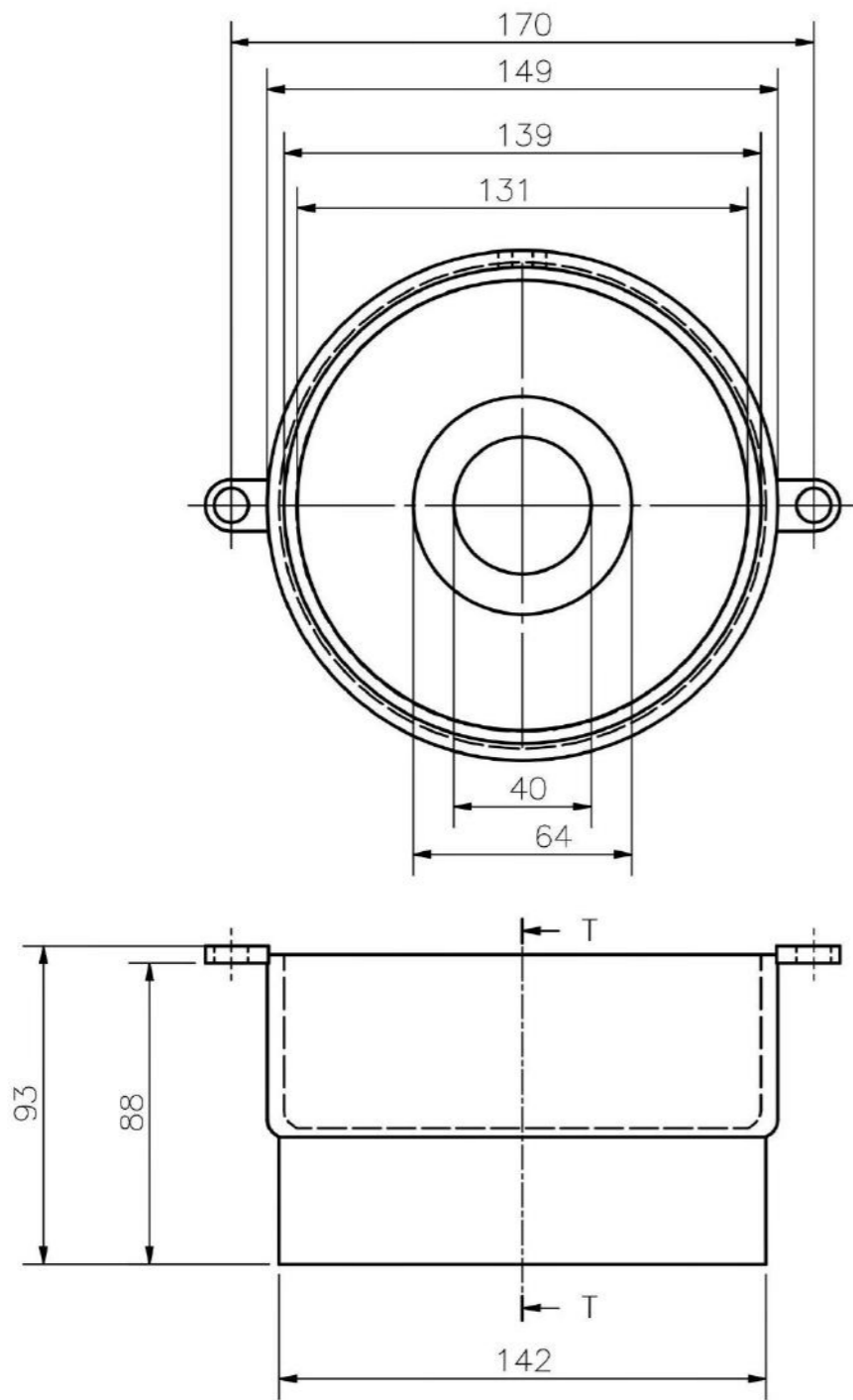


3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

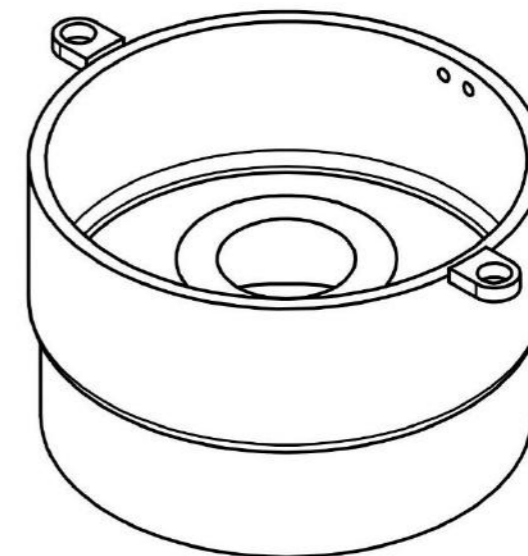
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL RESINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 TAPA DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN	ESCALA 1:2
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D13-A3



CORTE T-T



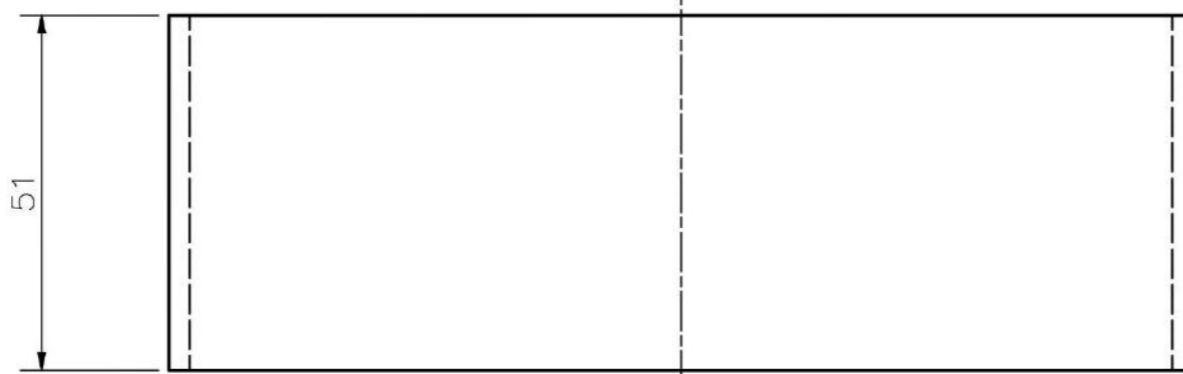
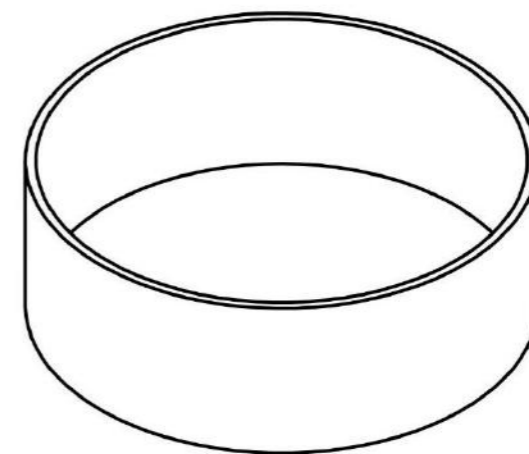
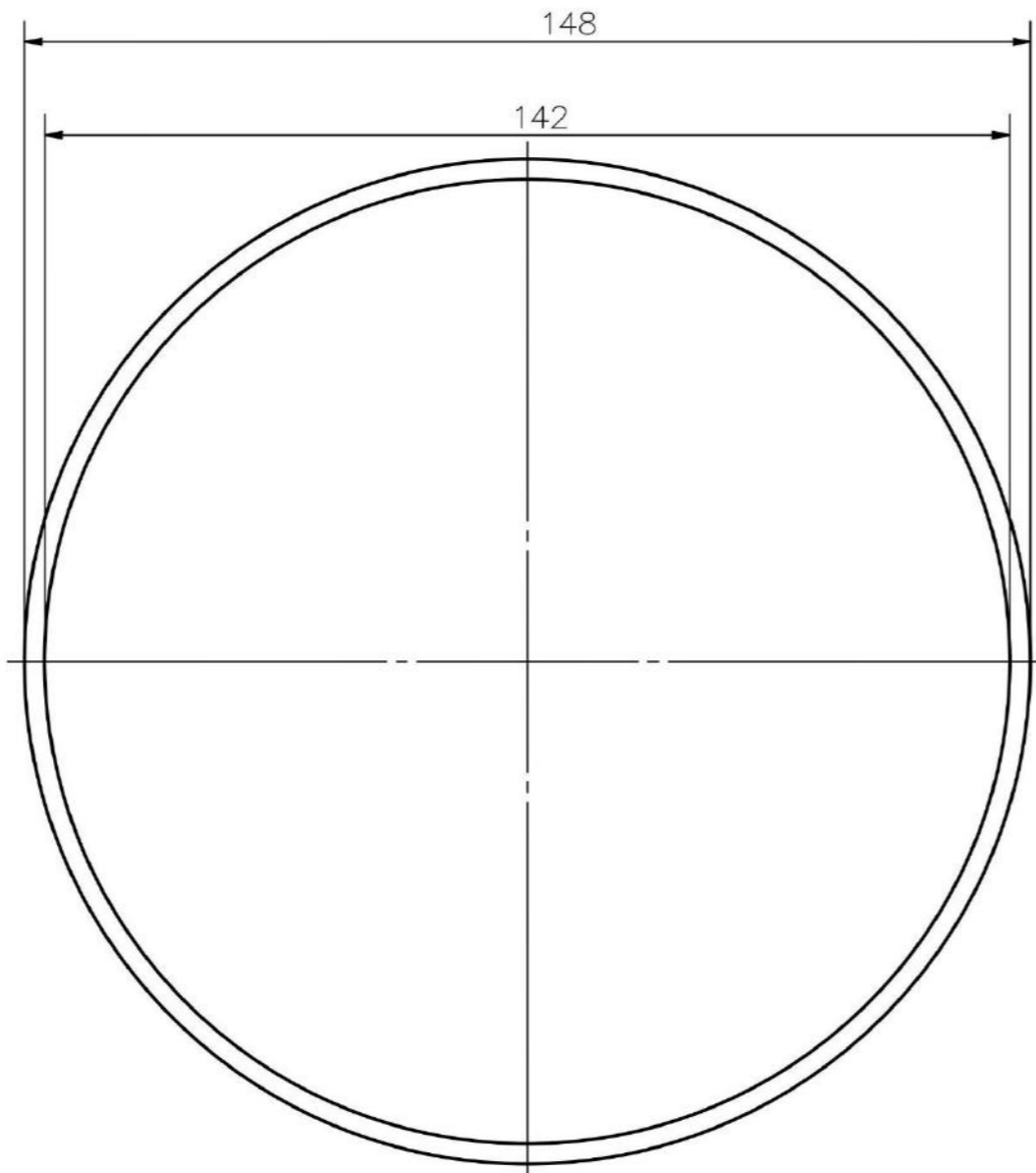
REDONDEOS R5

3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL POLIPROPILENO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 BASE DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN	ESCALA 1:2
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D14-A3

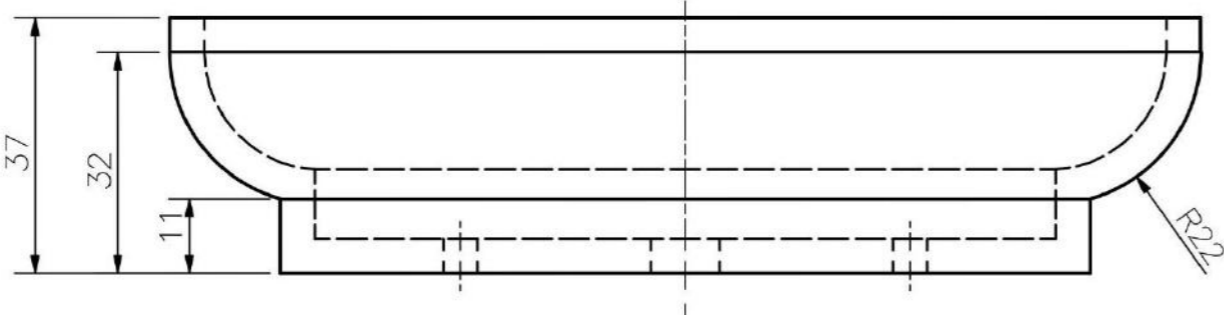
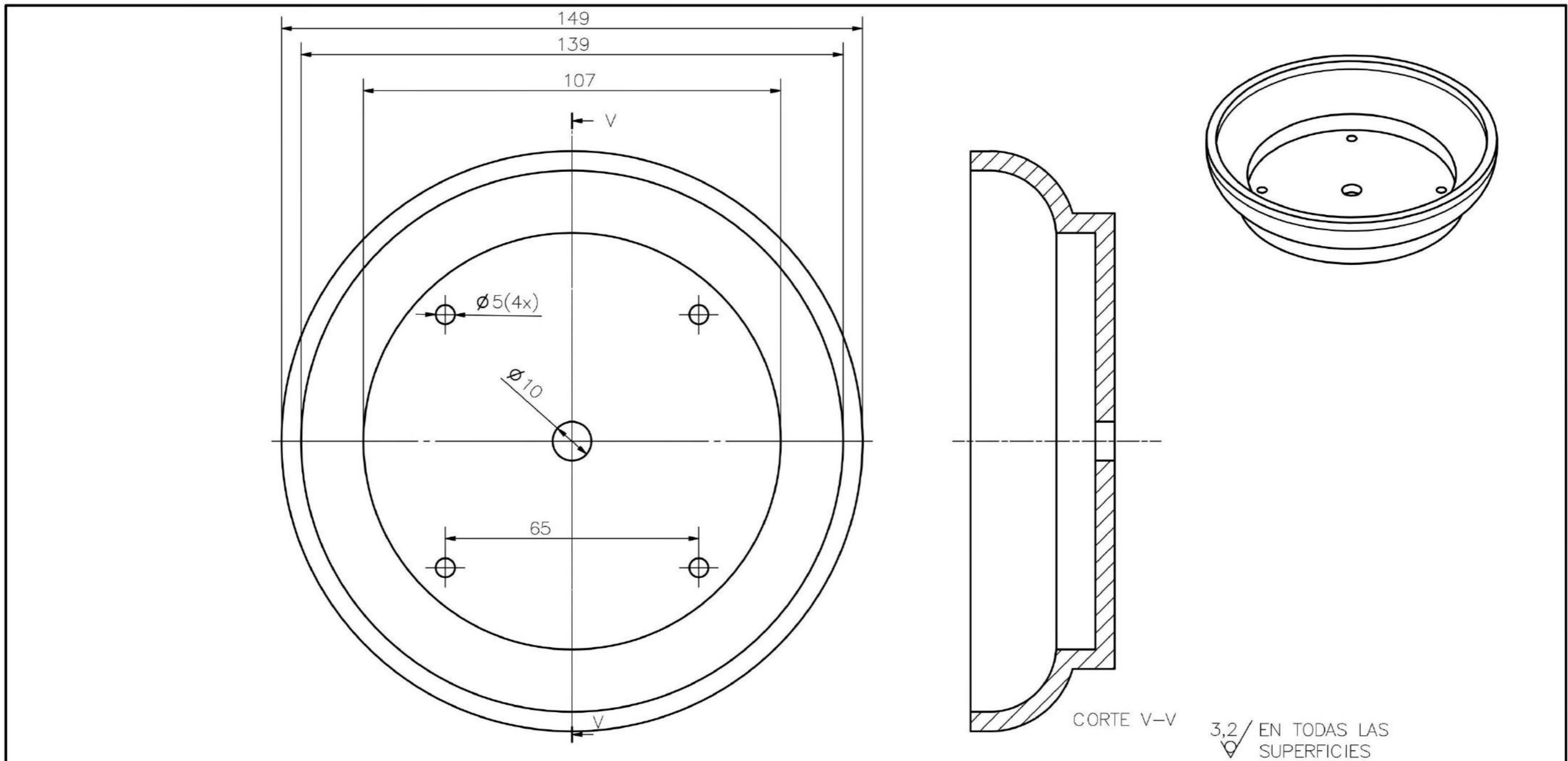


6,3/  EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL 6,3/ 	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL ALUMINIO 3003
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 RECIPiente INTERNO EXTRAÍBLE	ESCALA 1:2
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D15-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

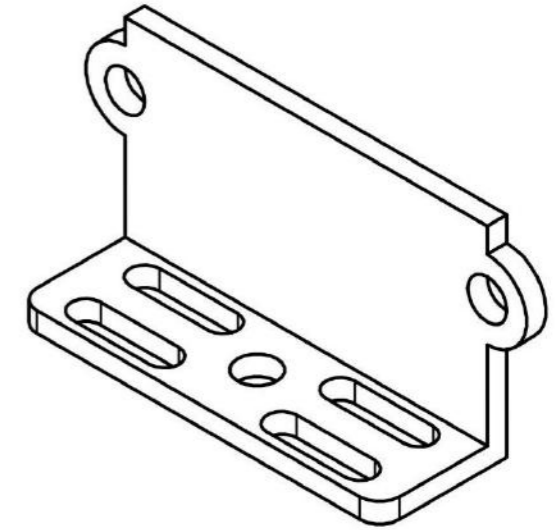
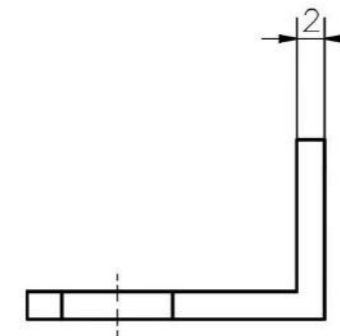
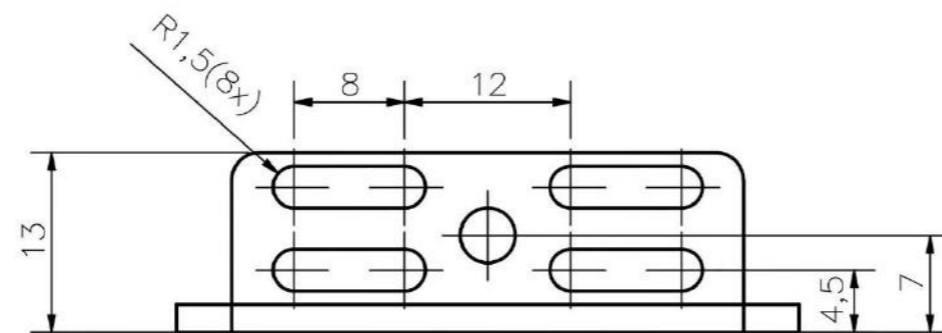
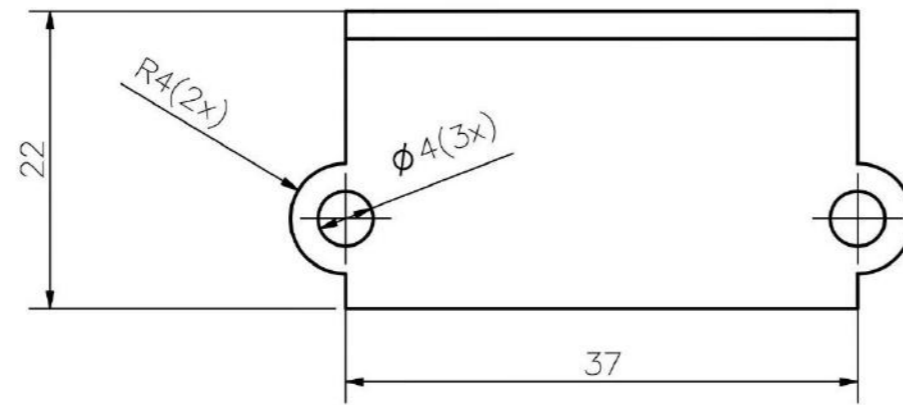
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL POLIPROPILENO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA- INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN [Symbol]	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 BASE DE CALENTAMIENTO	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D16-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



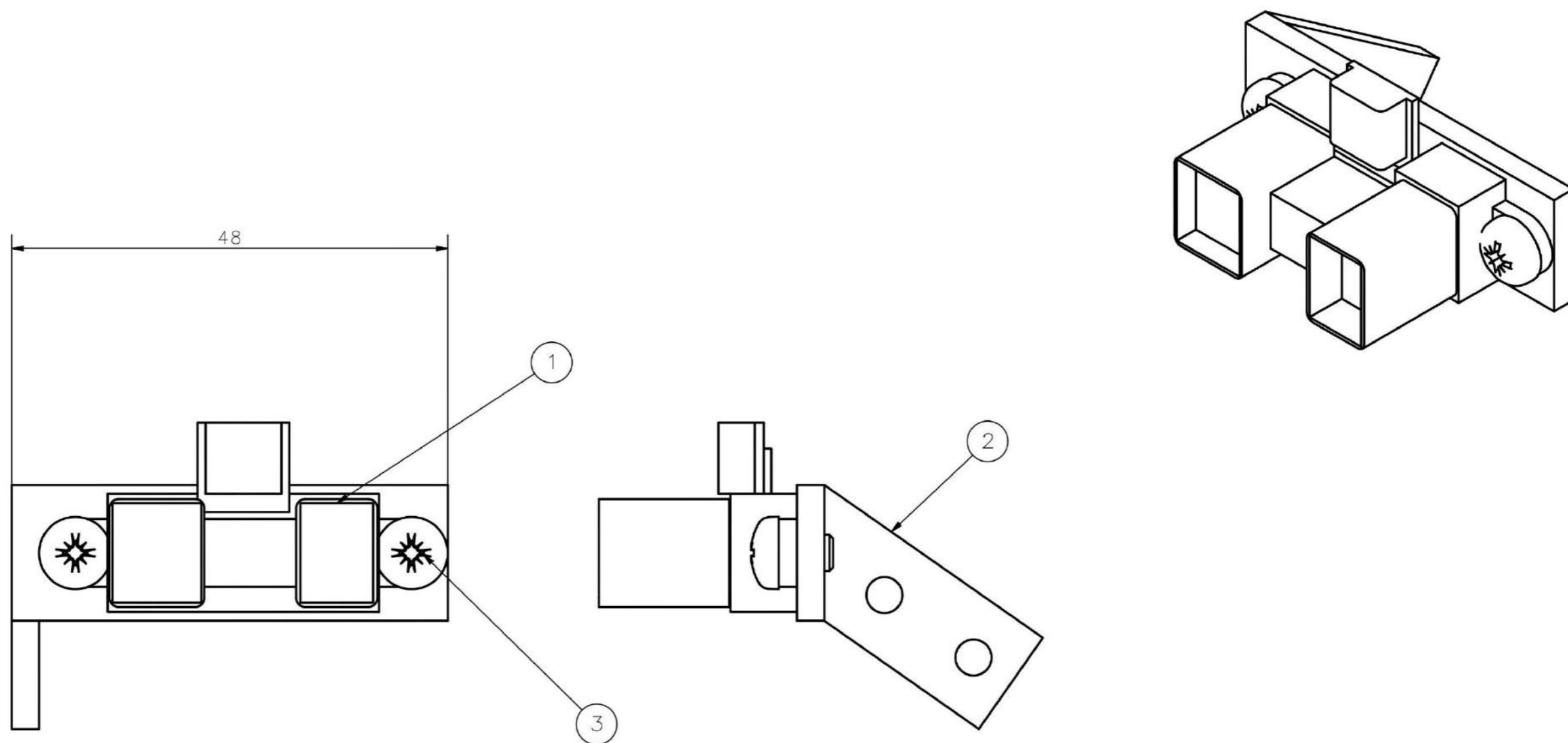
3,2/√ EN TODAS LAS SUPERFICIES

REDONDEOS R2

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 SOPORTE DEL SENSOR DE ULTRASONIDO 1	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.13
		LÁMINA: D17-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

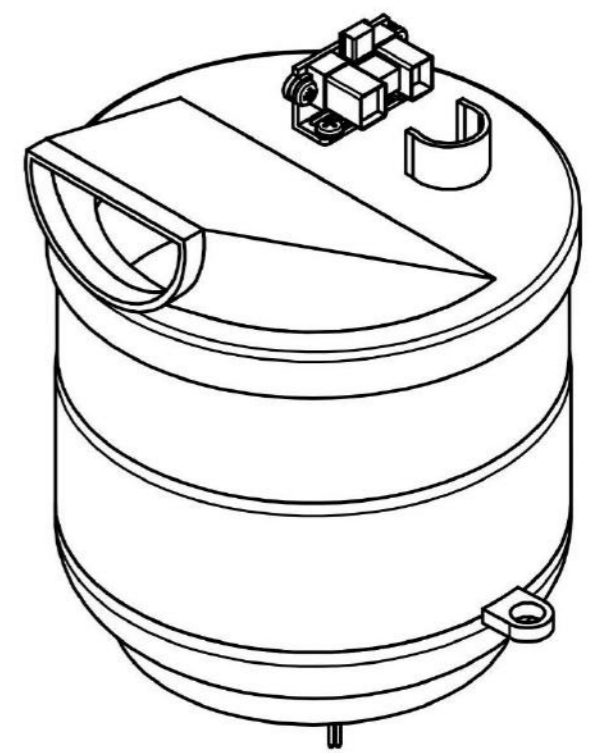
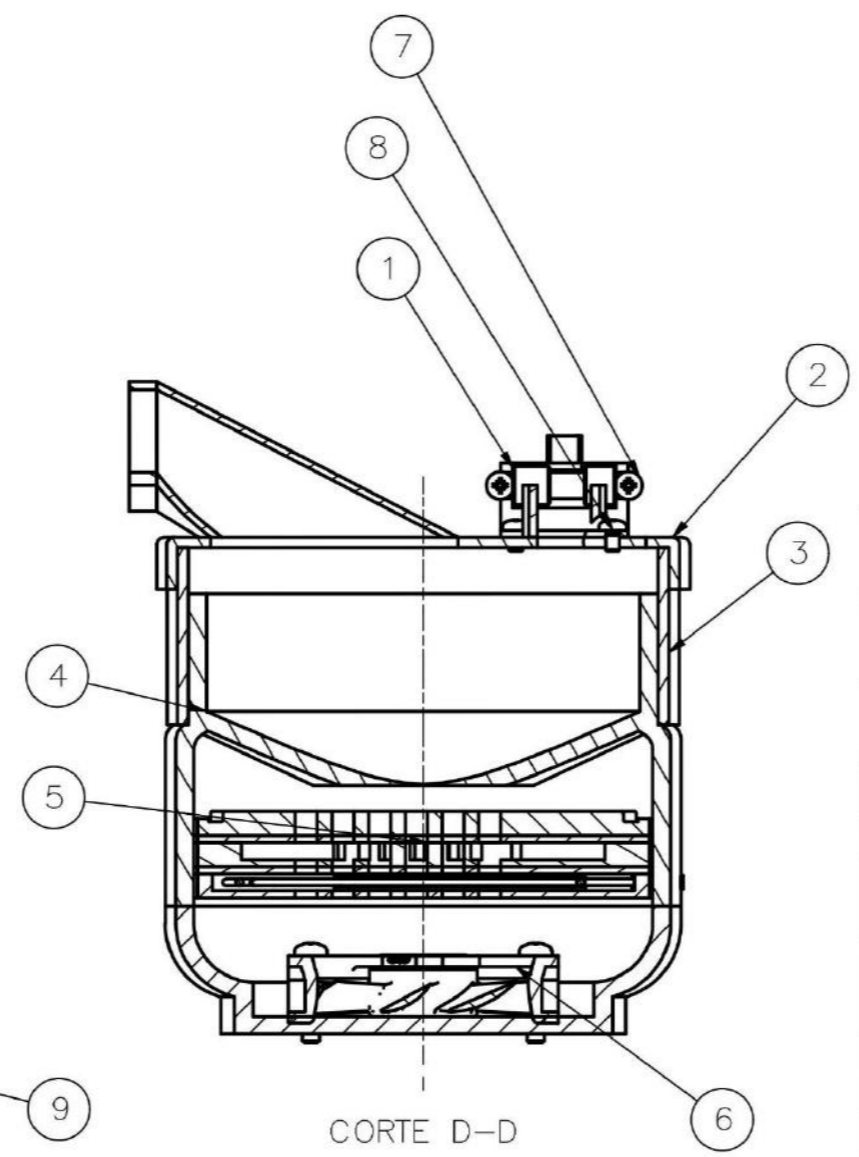
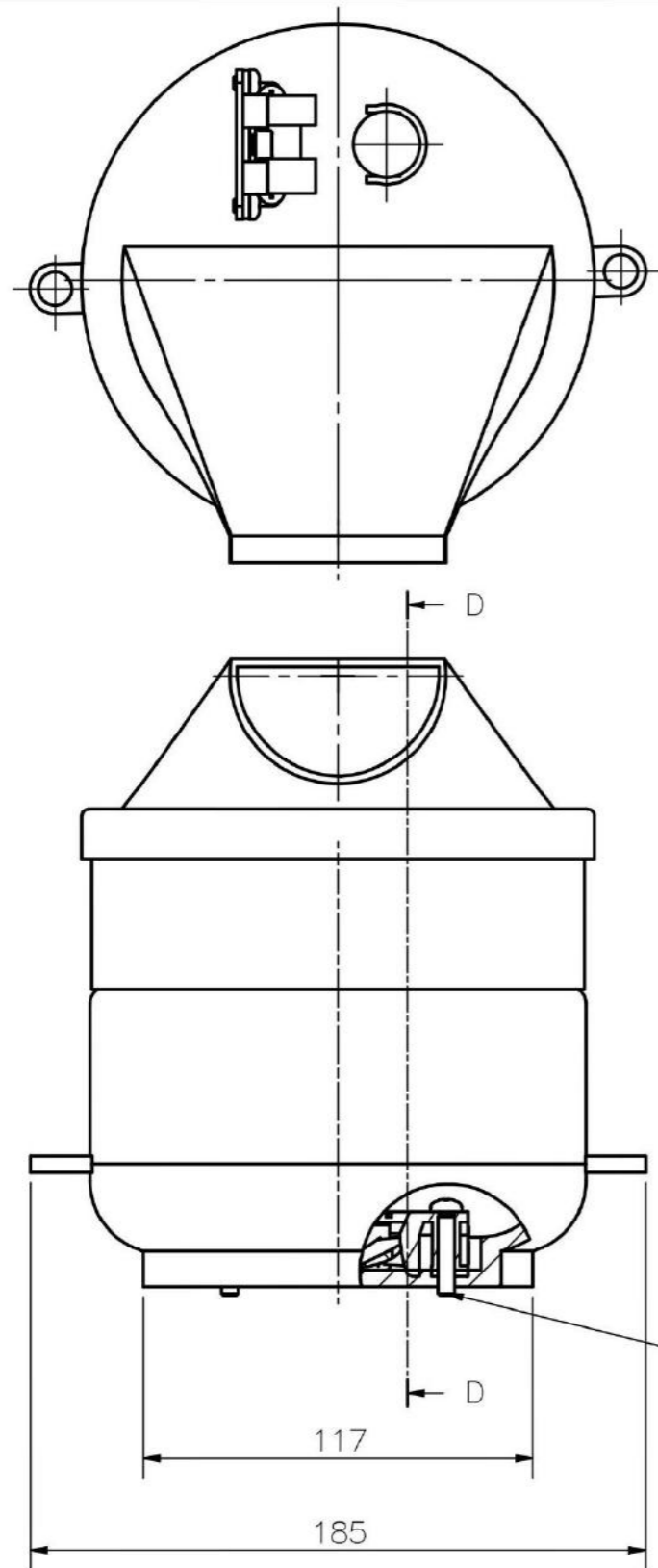


3	2	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M4 x 6 - 4.8 - Z
2	1	Soporte del sensor de ultrasonido 2		Plástico PETG	D18-A3
1	1	Sensor de ultrasonido		Genérico	HC - SR04
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2	ESCALA
	DETECTOR DE ALTURA DE GRANOS	2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: E07-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

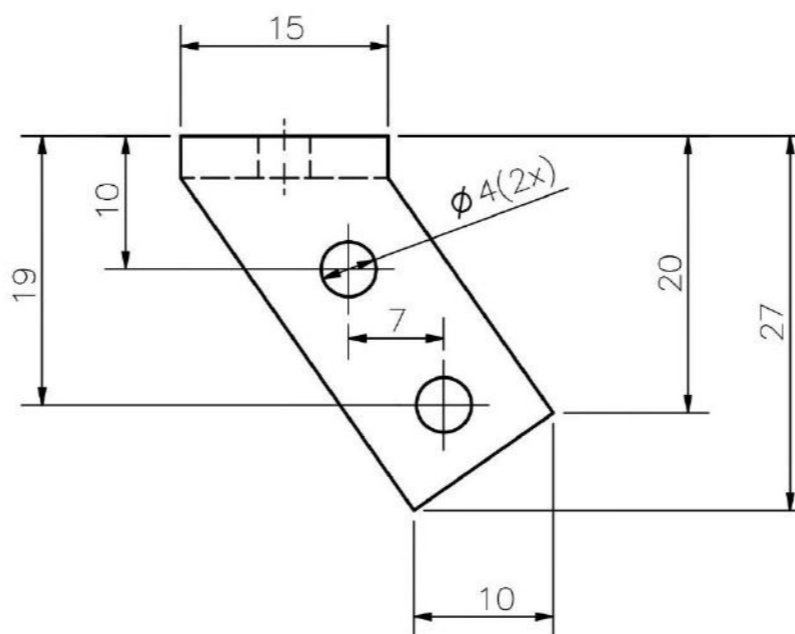
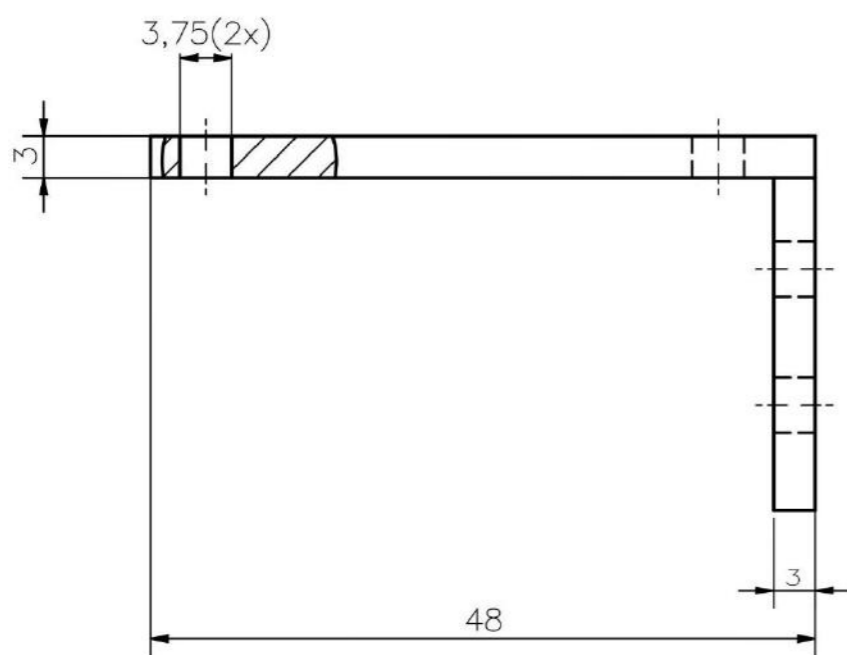
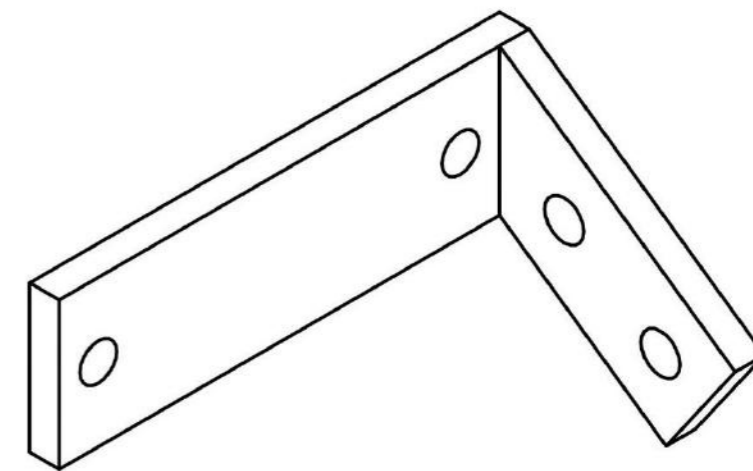
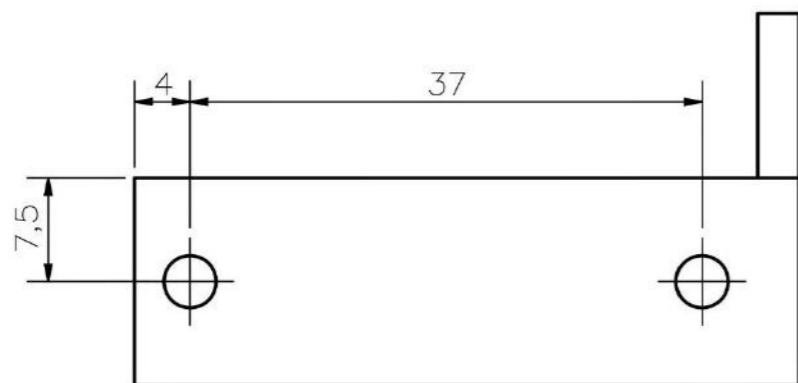


9	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M5 x 25 - 4.8 - Z
8	2	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M4 x 6 - 4.8 - H
7	2	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M4 x 5 - 4.8 - Z
6	1	Sistema de ventilación		Genérico	E06-A3
5	1	Bobina de calentamiento		Genérico	Calentador MICA
4	1	Cuerpo interno del sistema de preparación	AISI 304	Acero inoxidable	D14-A3
3	1	Recipiente interno extraíble	AISI 304	Acero inoxidable	D15-A3
2	1	Cubierta superior del recipiente de preparación		Resina	E05-A3
1	1	Sensor de presencia		Genérico	HC-SR04
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2	ESCALA
	RECIPIENTE DE PREPARACIÓN	1:2
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.06
		LÁMINA: E04-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

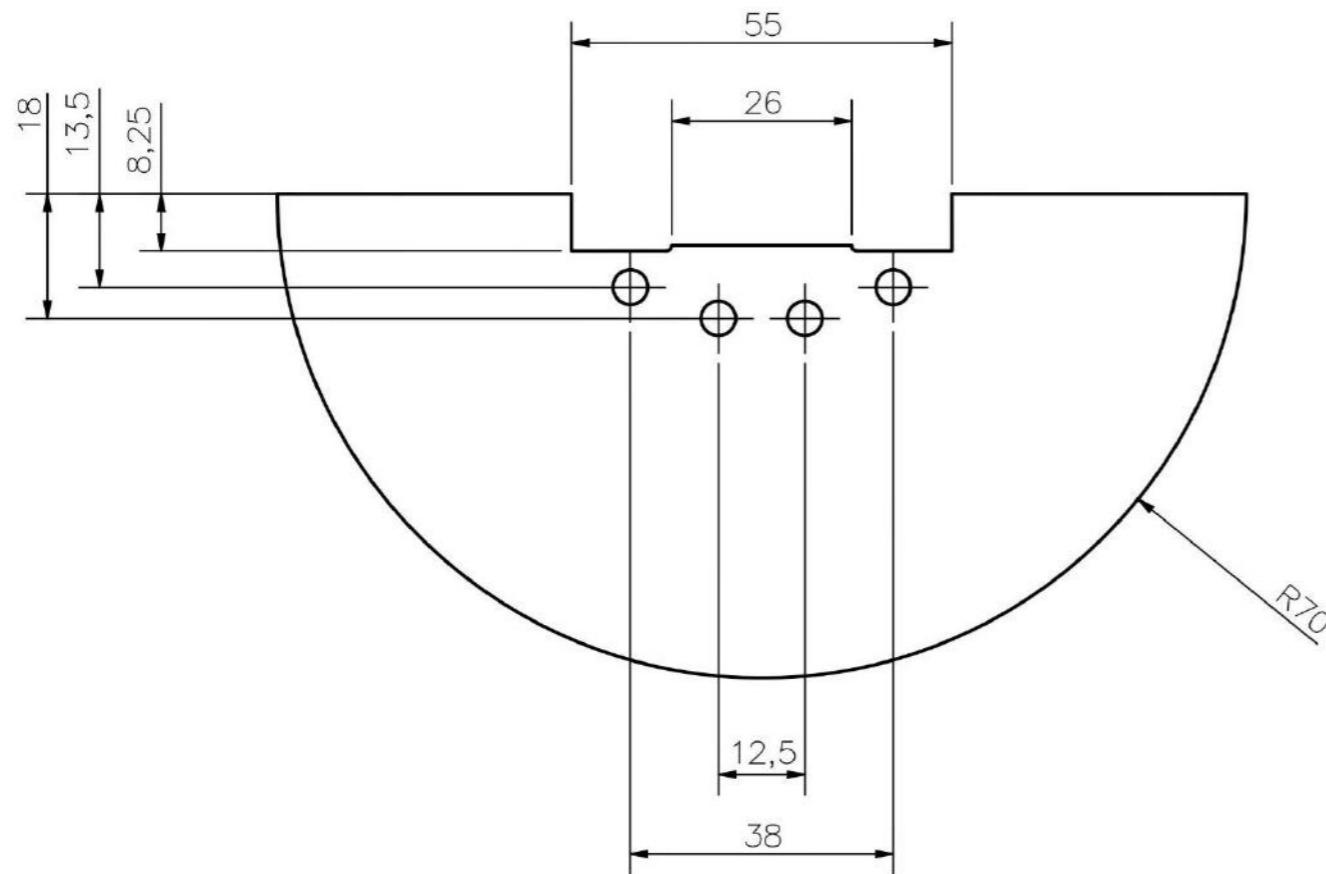
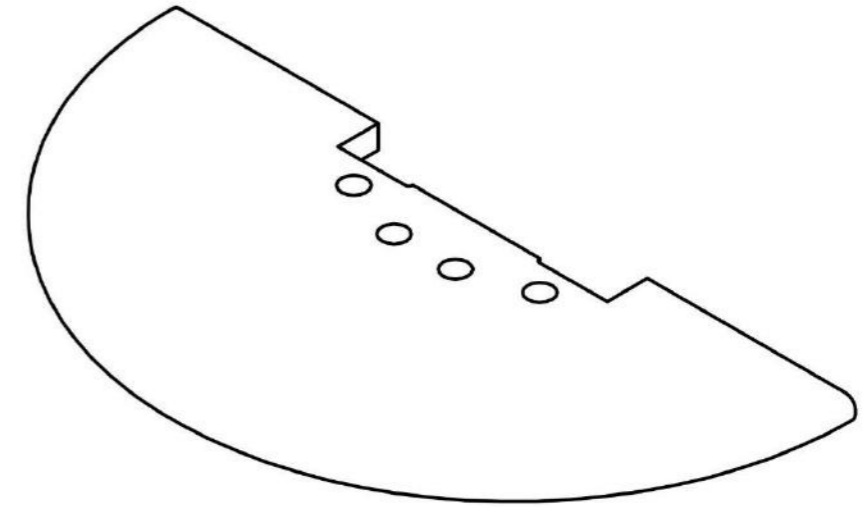
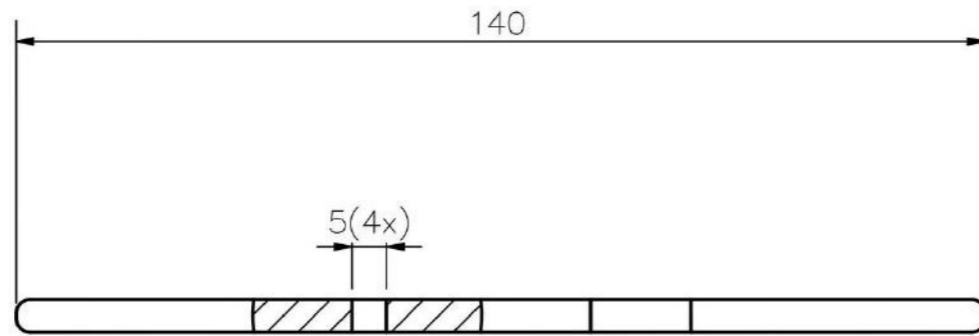


3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 SOPORTE DEL SENSOR DE ULTRASONIDO 2	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D18-A3



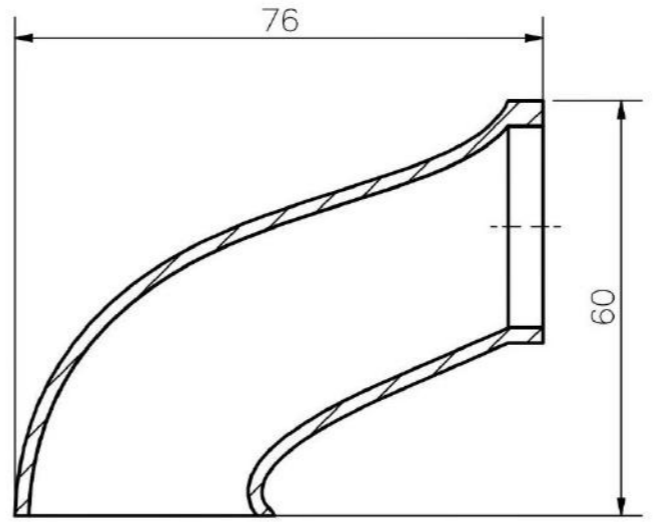
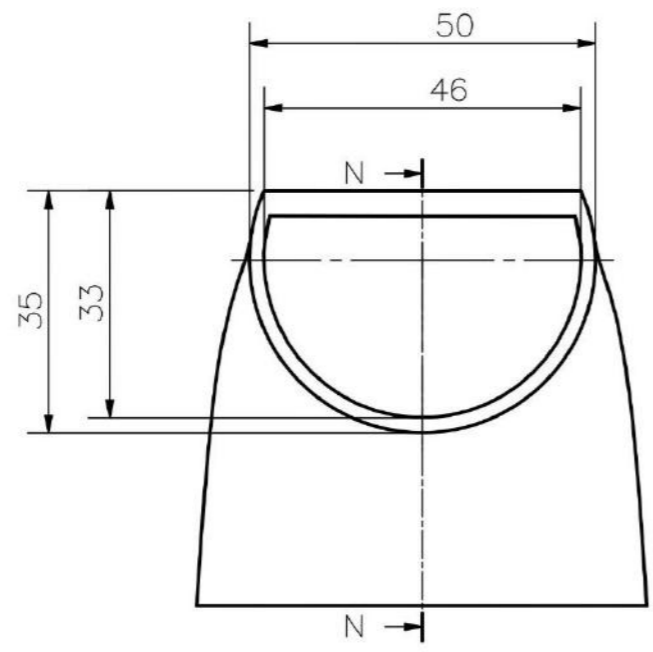
REDONDEOS R2

3,2/√ EN TODAS LAS SUPERFICIES

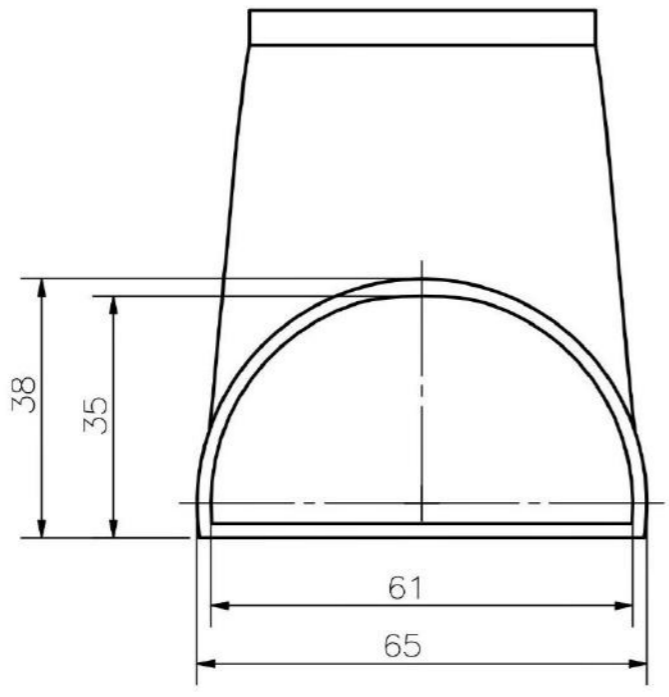
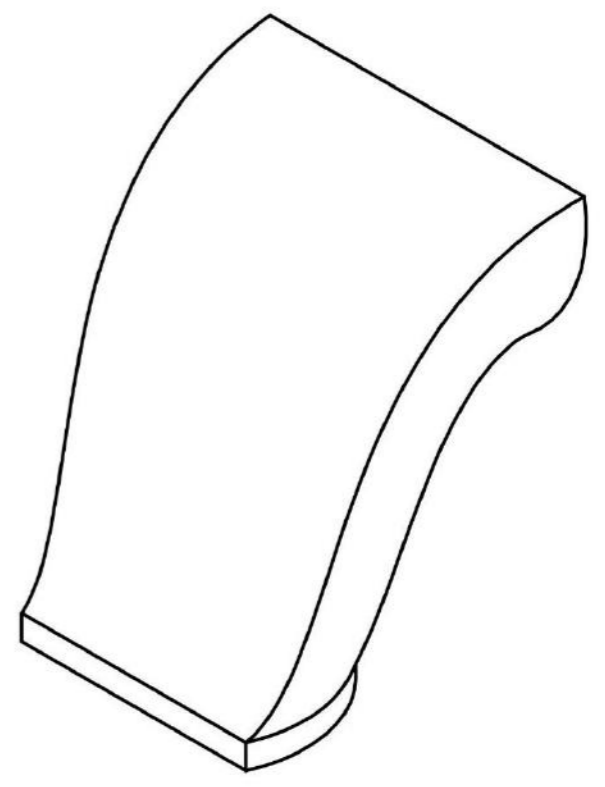
ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 TAPA DEL SISTEMA DE DESCARGA	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D19-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



CORTE N-N

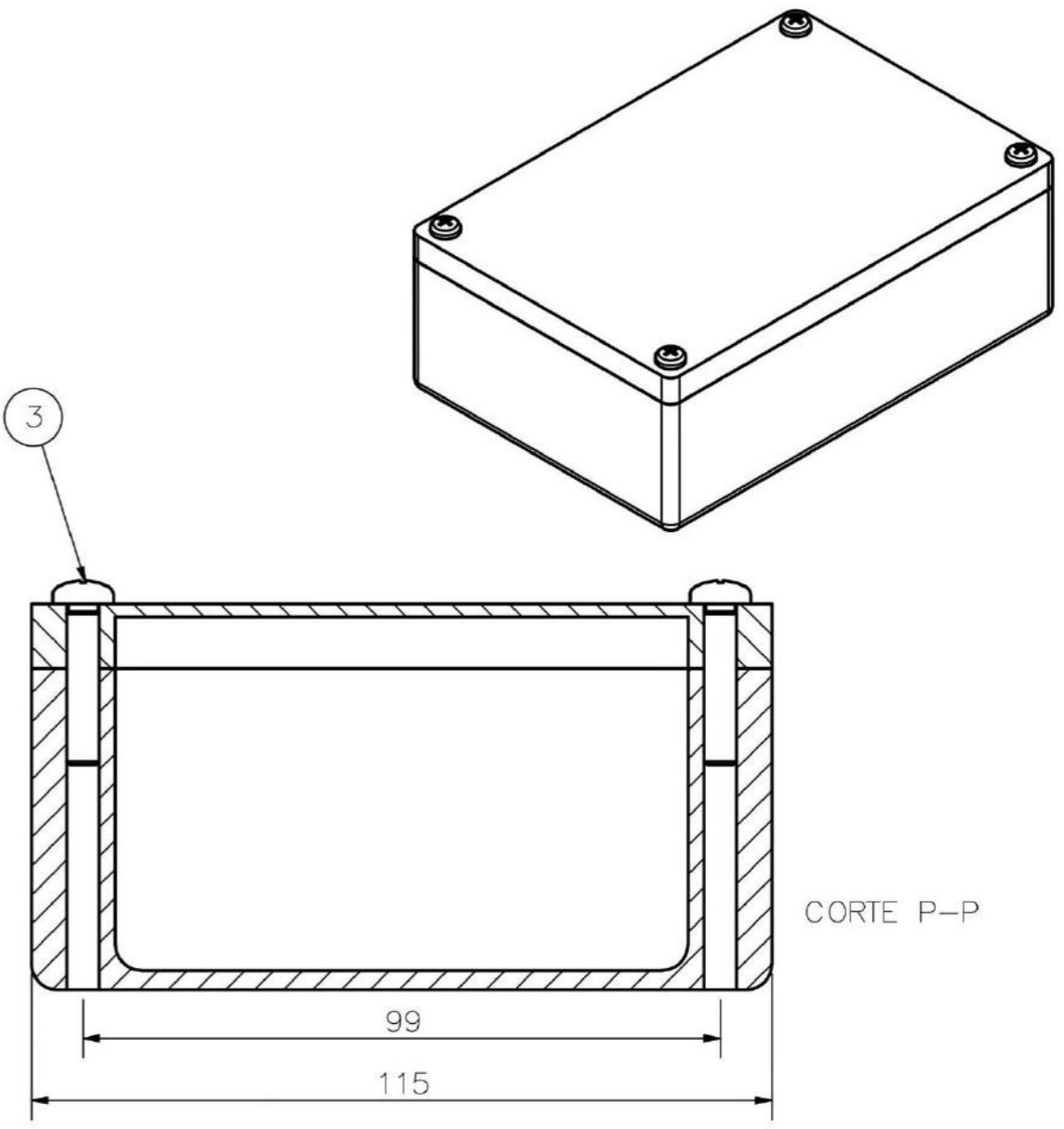
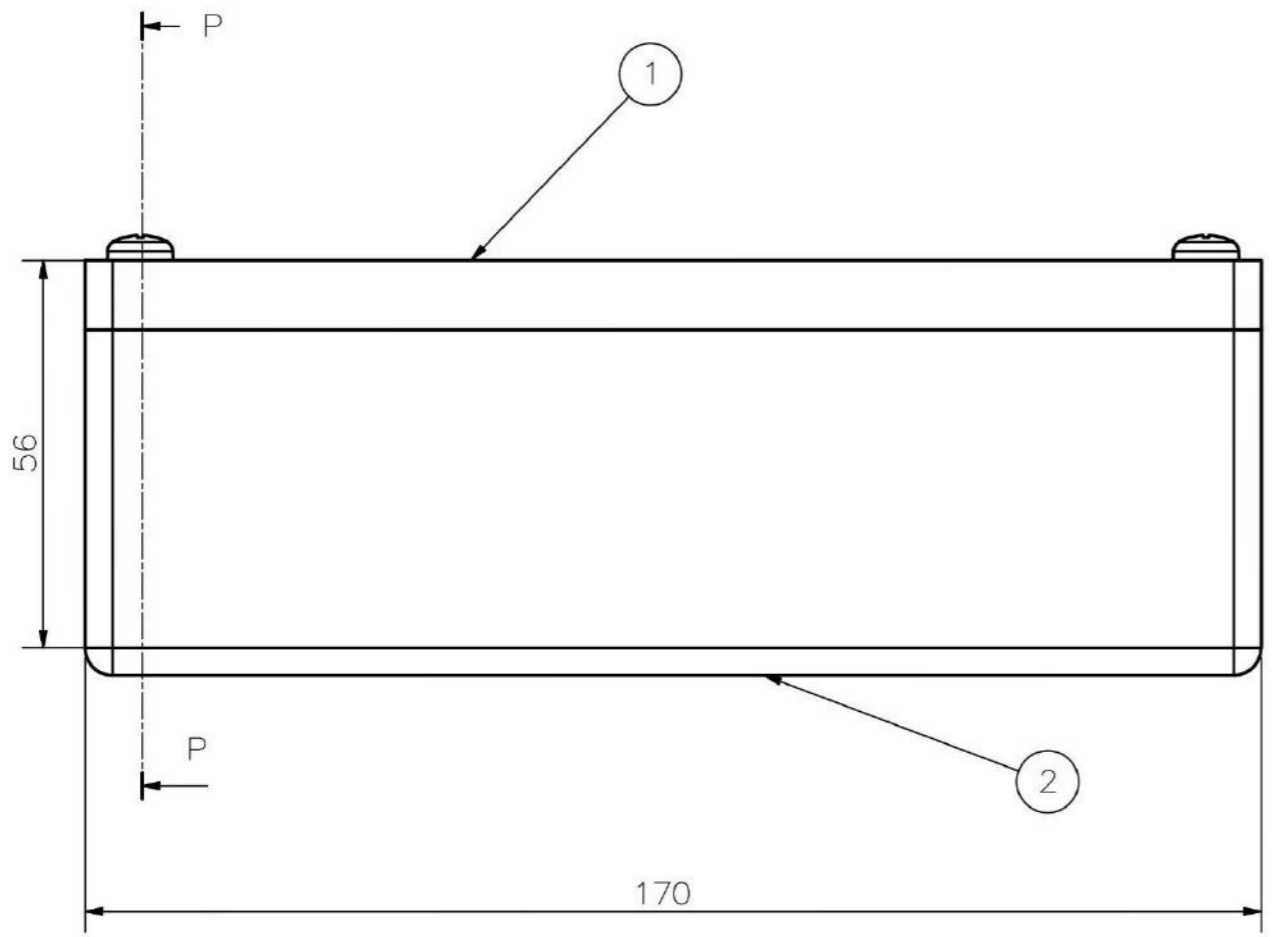


3,2 / EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D20-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

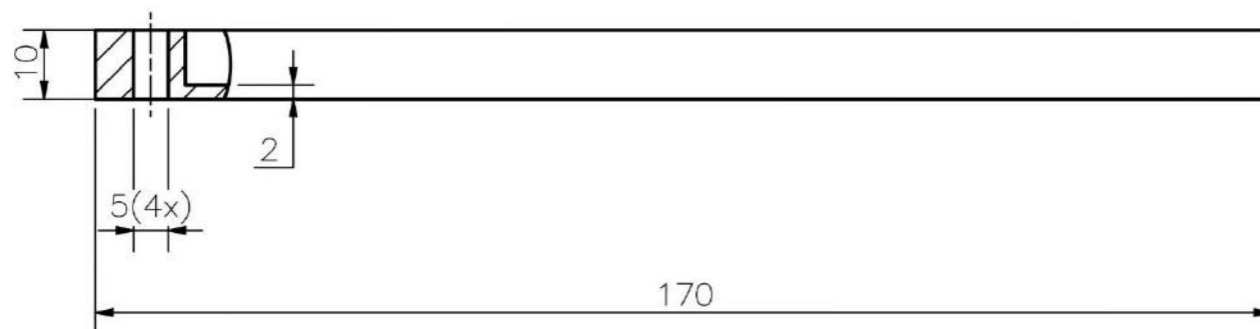
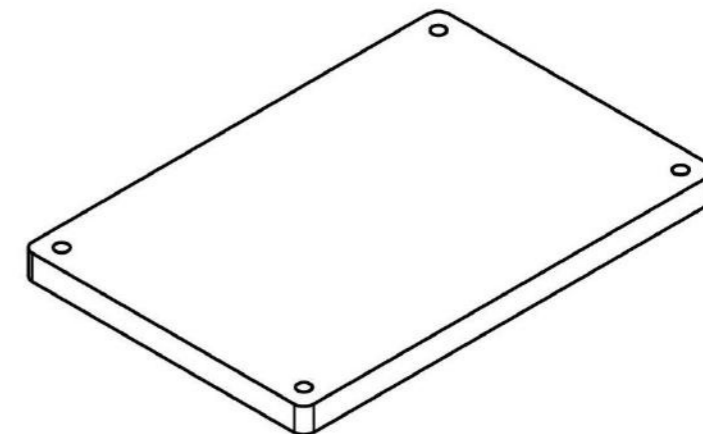
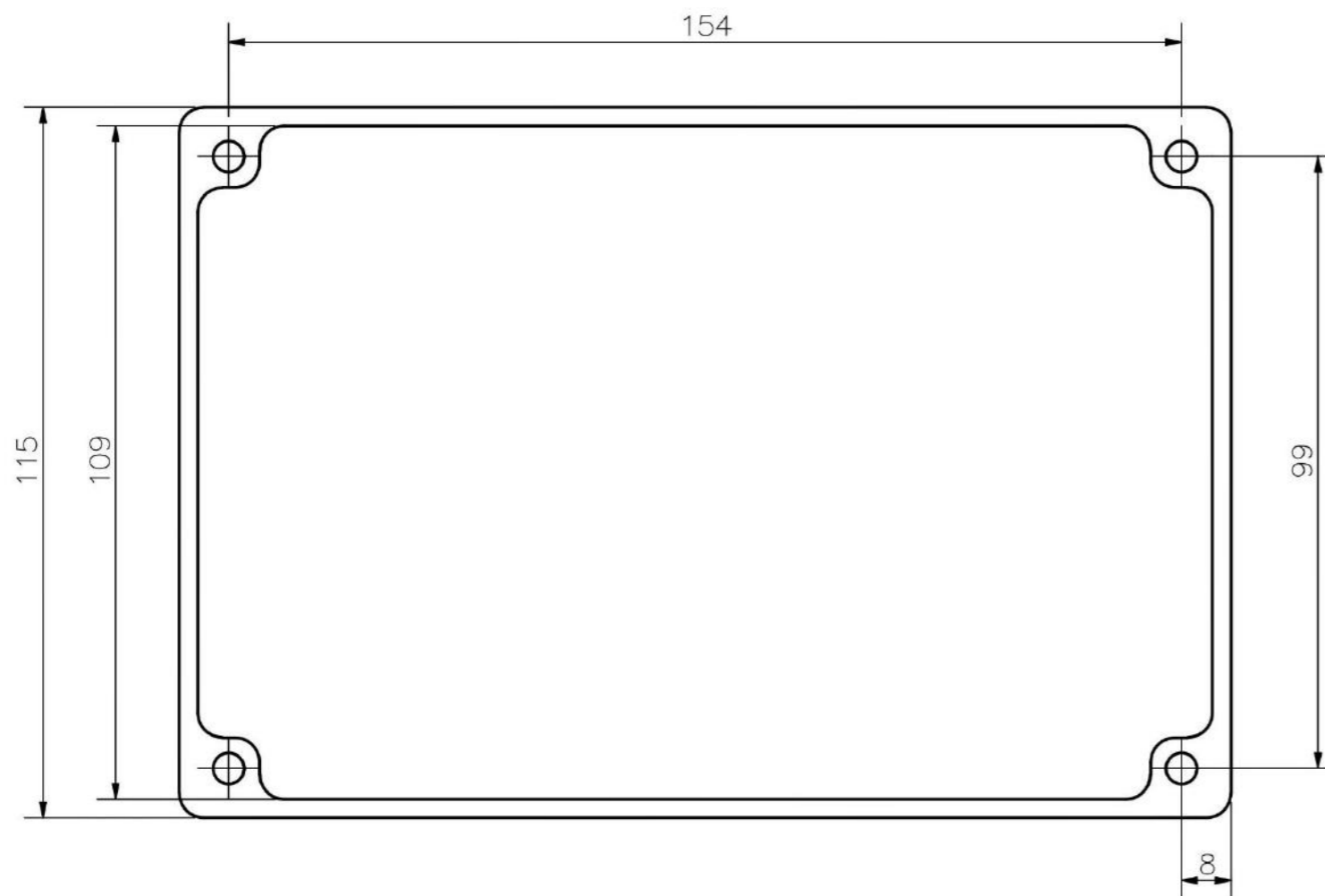
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



3	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme	ISO 7045	Acero inoxidable	M5 x 25 - 4.8 - H
2	1	Cuerpo de la caja de circuitos		Plástico PETG	D22-A3
1	1	Tapa de caja de protección de circuitos		Plástico PETG	D21-A3
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 CAJA DE PROTECCIÓN DE CIRCUITOS	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: E08-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

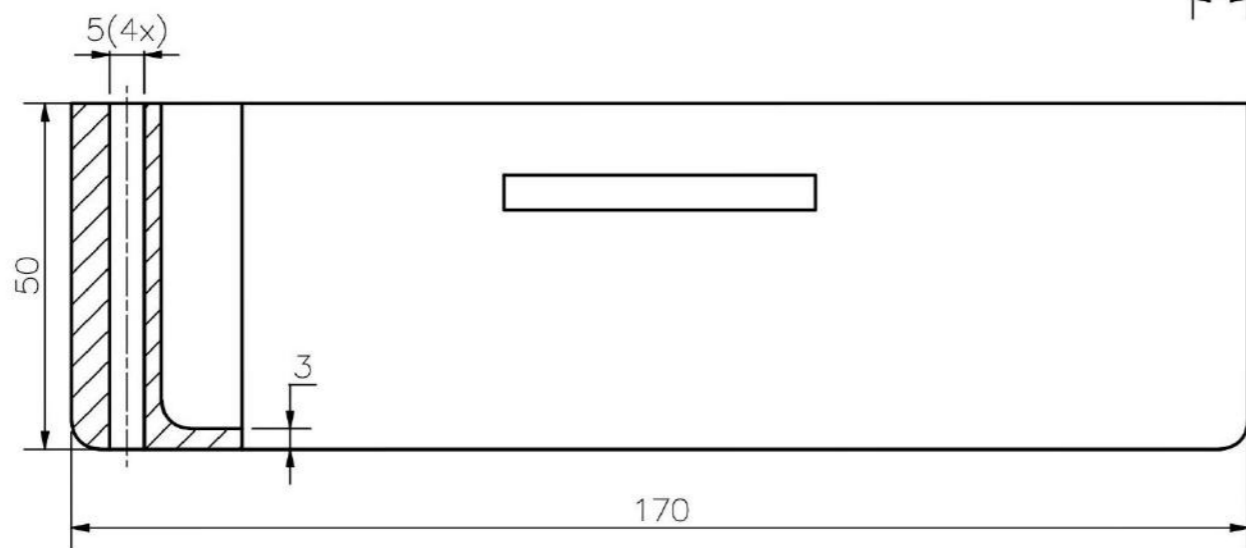
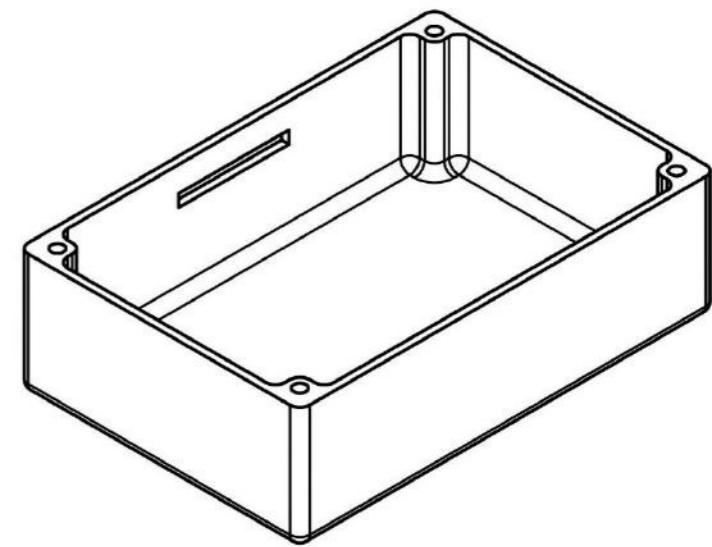
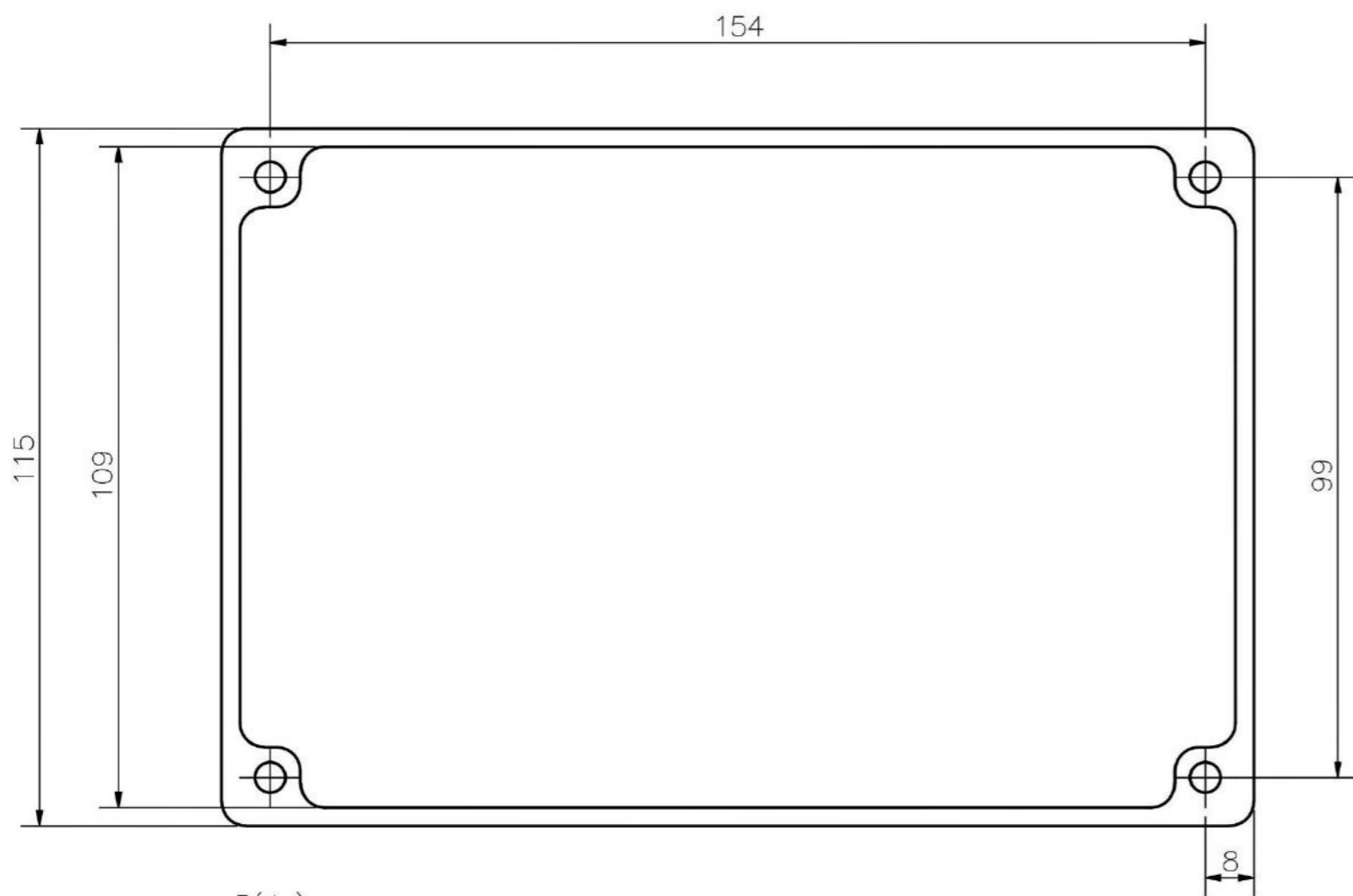


REDONDEOS R4 $\sqrt{3,2}$ EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{3,2}$	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 TAPA DE CAJA DE CIRCUITOS	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D21-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

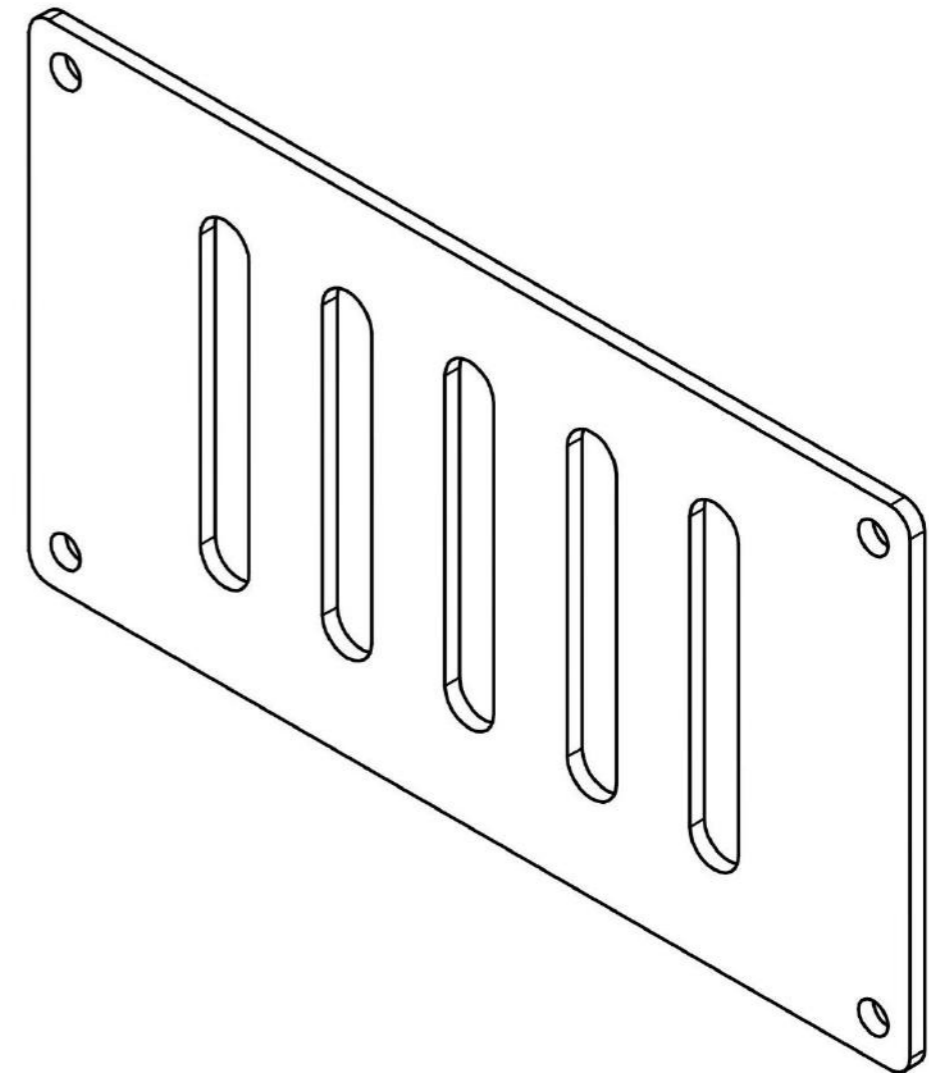
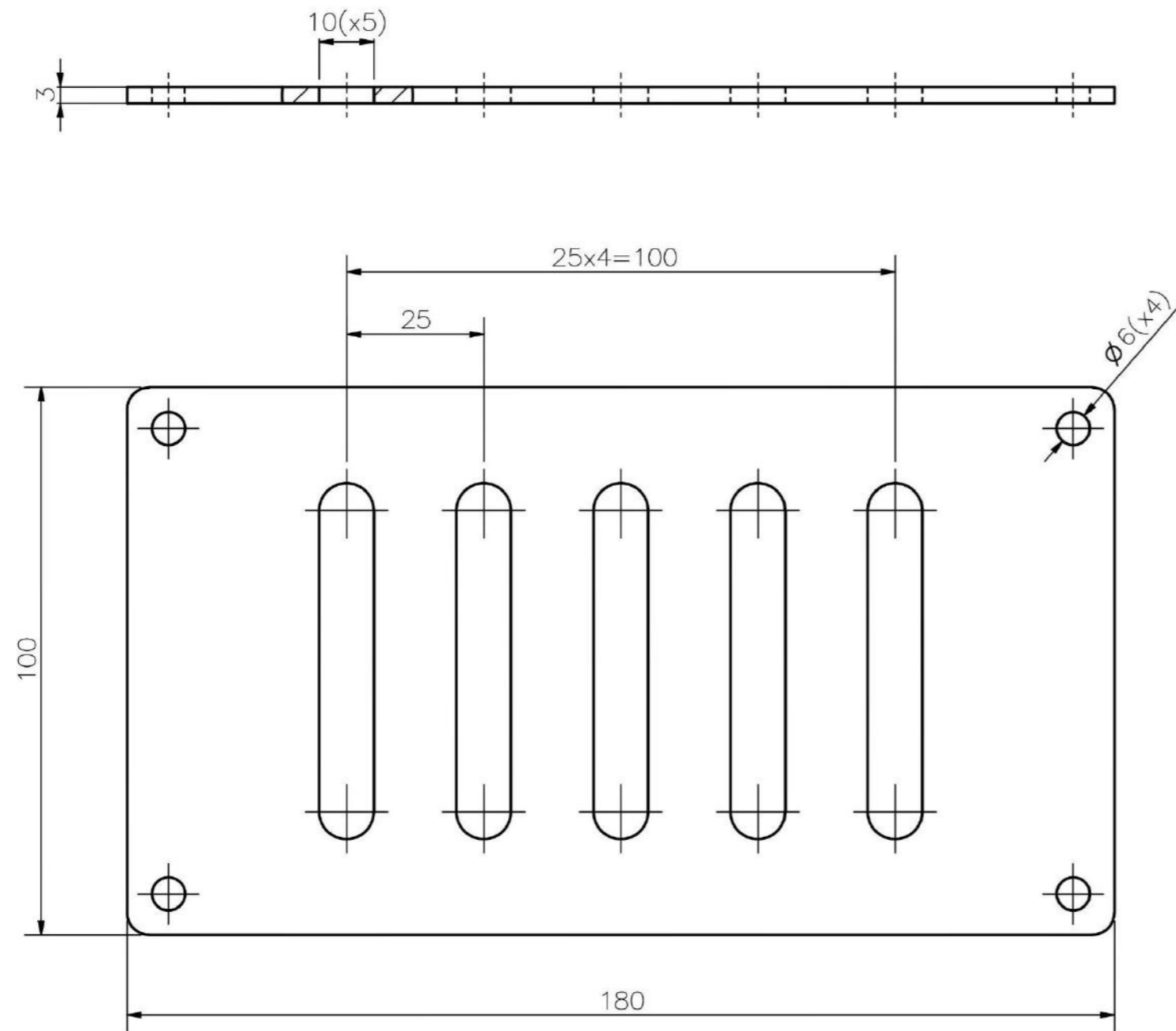


REDONDEOS R4 $\sqrt{3,2}$ EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{3,2}$	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL Plástico PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 CUERPO DE CAJA DE CIRCUITOS	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D20-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

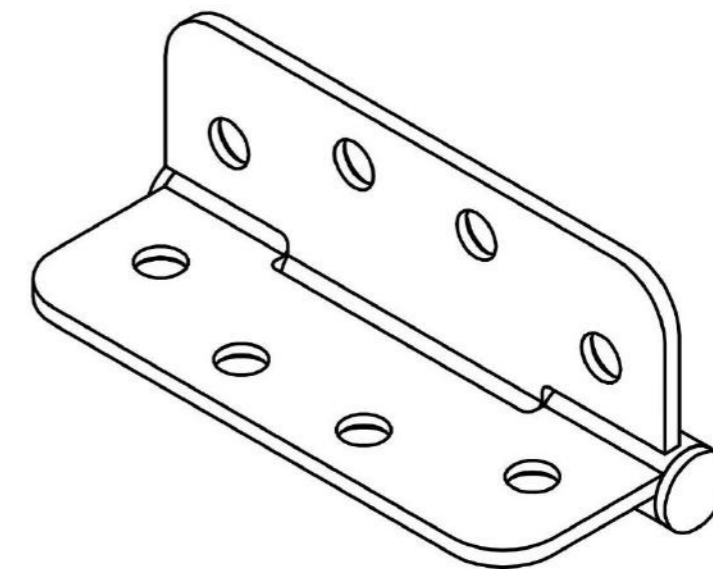
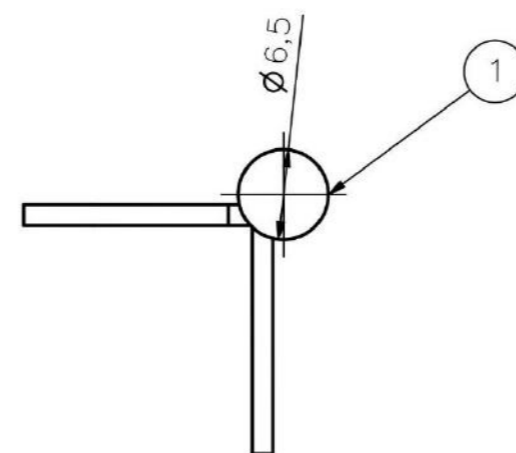
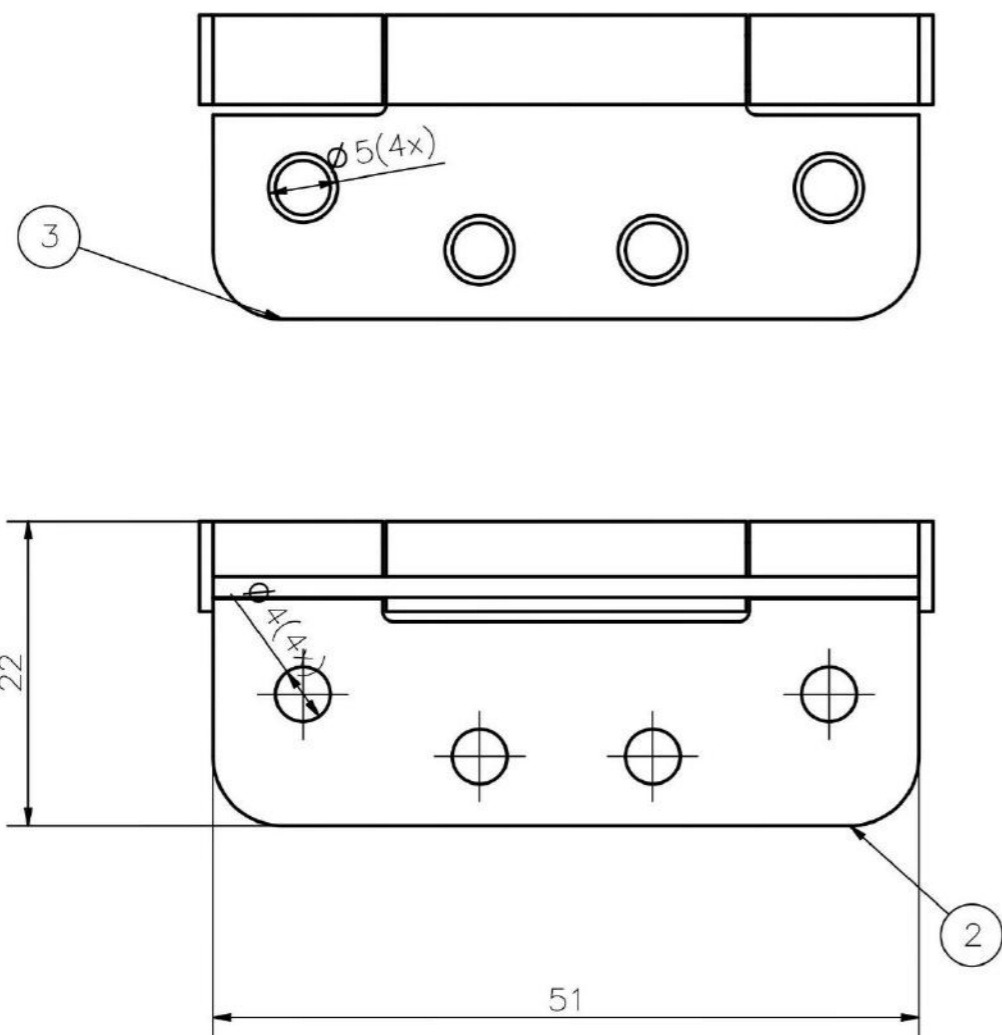


REDONDEOS R4 $\sqrt{3,2}$ EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{3,2}$	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL Plástico PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 COMPUERTA DE LA ZONA DE CIRCUITOS	ESCALA 1:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.05.20
		LÁMINA: D21-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

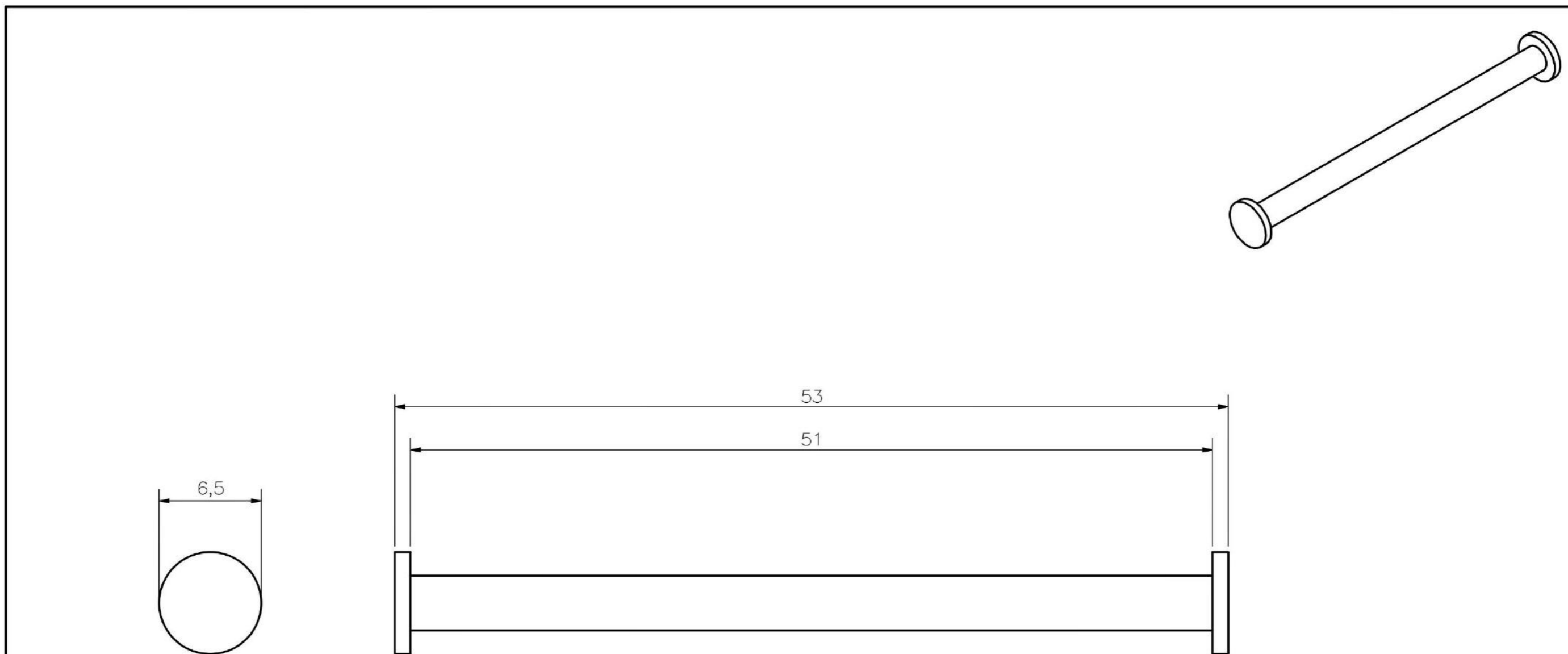


3	1	Bisagra placa superior		Plástico PETG	D05-A3
2	1	Bisagra placa inferior		Plástico PETG	D04-A3
1	1	Pin de bisagra		Plástico PETG	D03-A3
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2	ESCALA
	BISAGRA	2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.06.17
		LÁMINA: E02-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

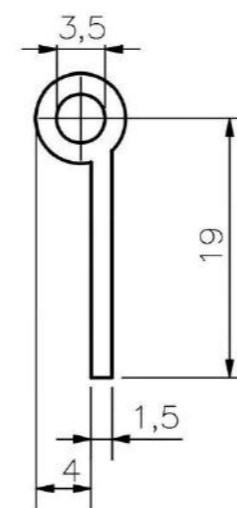
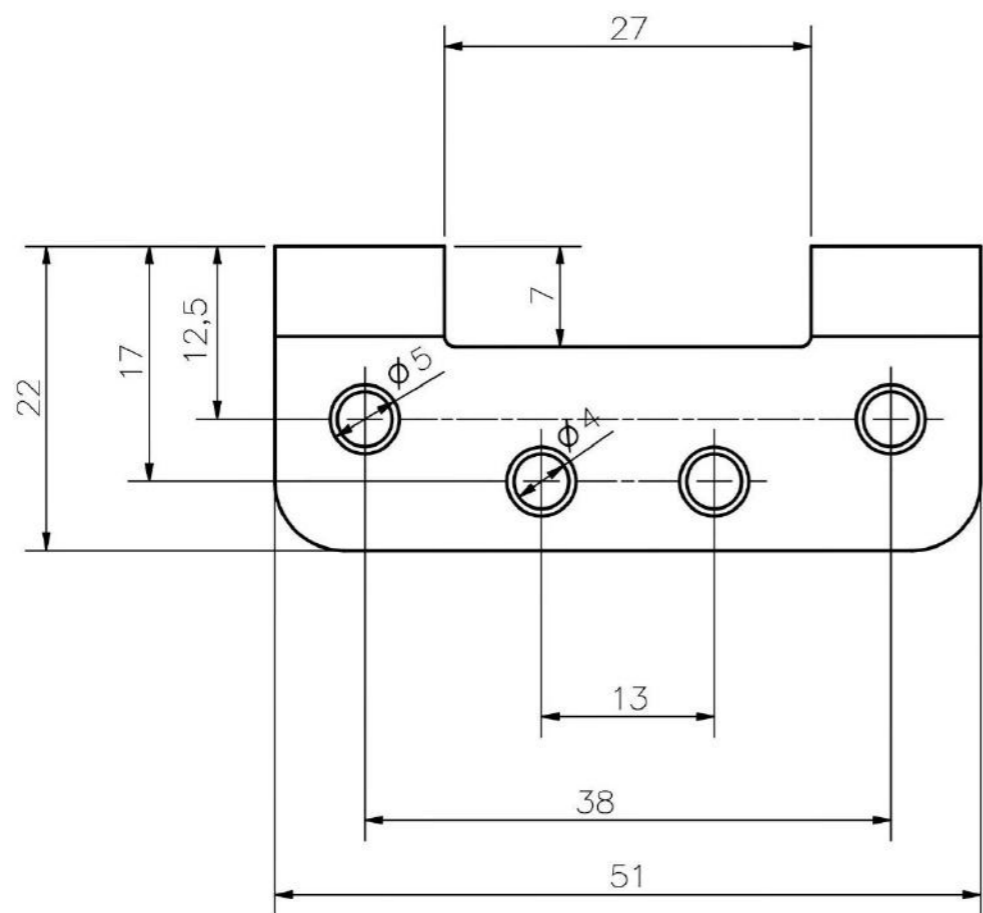
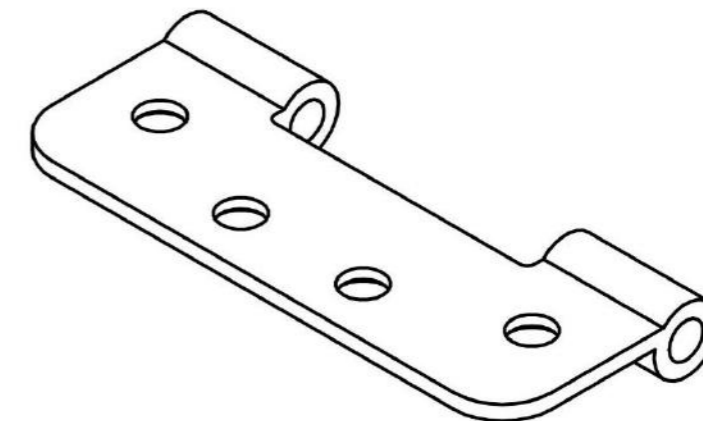


3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 PIN DE BISAGRA	ESCALA 4:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.07.20
		LÁMINA: D03 - A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

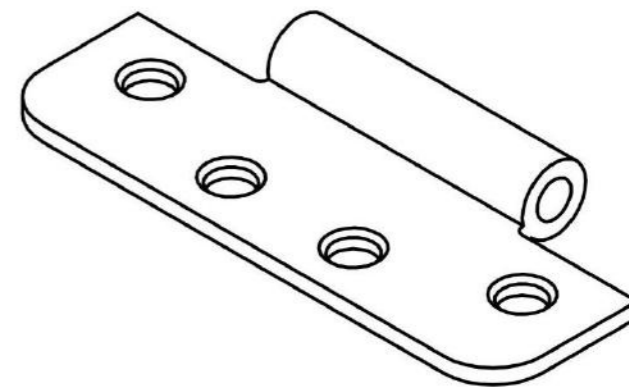
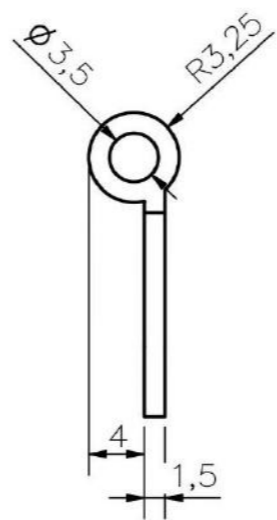
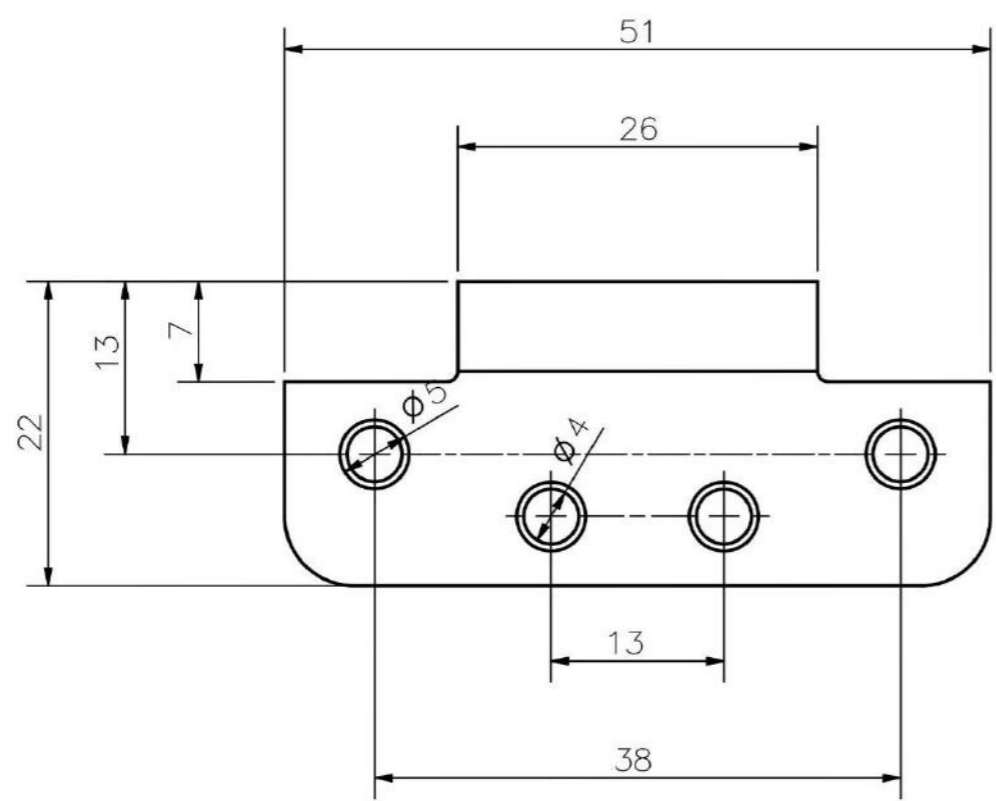


REDONDEOS 0,75 $\sqrt{3,2}$ EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{3,2}$	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 BISAGRA PLACA INFERIOR	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.06.20
		LÁMINA: D04-A3



REDONDEOS 0,75 ∇ 3,2/ EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL ∇ 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN ISO 2768 - 1 MEDIO	MATERIAL PLÁSTICO PETG
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2 BISAGRA PLACA SUPERIOR	ESCALA 2:1
20150494	RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO	FECHA: 2020.06.20
		LÁMINA: D05-A3

Anexo C: Cálculo para la selección del servomotor

En el presente anexo se detallarán los cálculos correspondientes para la selección de componentes de los subsistemas presentado en el capítulo 2. Estos cálculos sirven para justifica la elección de los componentes.

1. Cálculos para la selección del servomotor:

Se requiere calcular el torque necesario para trasladar el mecanismo dosificador y llevarlo a través de 3 distintas posiciones. Este elemento tiene como material el polipropileno.

En primer lugar, se tienen los datos disponibles:

- Se requiere que el servomotor gire un ángulo de 60° en 3 segundos, lo cual quiere decir que se requiere una velocidad angular de $= \frac{\pi}{9} \text{ rad/s}$
- Asimismo, se necesita que alcance esta velocidad en un lapso de tiempo de 1s, con lo cual la aceleración angular requerida es de $= \frac{\pi}{9} \text{ rad/s}^2$
- El momento de inercia principal del eje z del elemento dosificador $= 39.45 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$, lo cual se transforma a $0.00003945 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Conocemos que la sumatoria de torques es igual al momento de inercia por la aceleración

$$\sum M_z = I_z \cdot \alpha_z$$

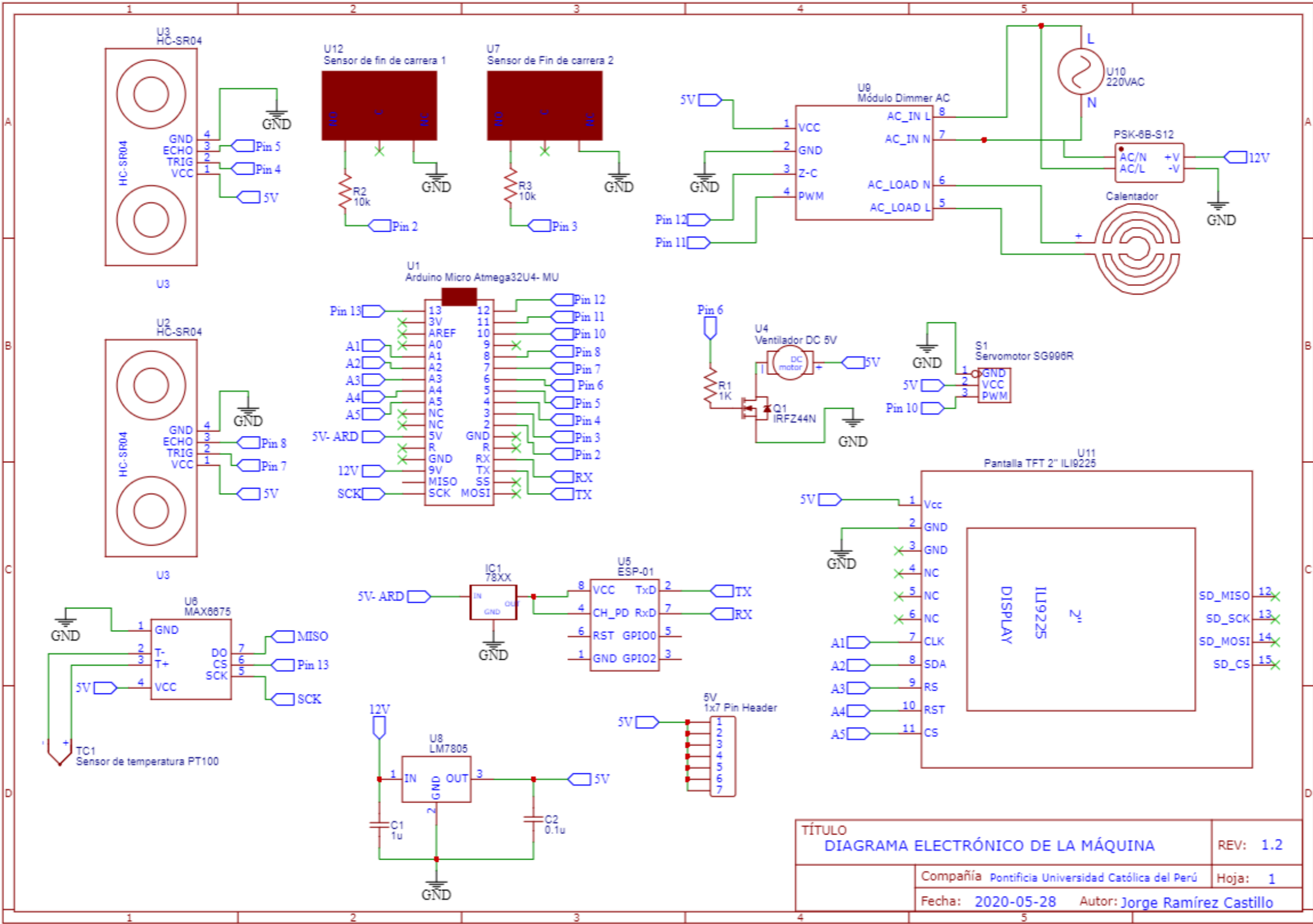
$$\text{Torque} = (0.00003945 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \cdot \frac{\pi}{9} \text{ rad/s}^2$$

$$\text{Torque} = 0.00001377064 \text{ N} \cdot \text{m} = 0.001405 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

Por lo tanto, el torque que se necesita para desplazar este elemento es insignificante, con lo cual se seleccionó el servomotor MG996R, el cual tiene un torque de parada de 9.4 kgf.cm



Anexo D: Diagrama electrónico de la Máquina de cocción de granos de maíz



Anexo E: Precios de los componentes electrónicos

E.1. Microcontrolado Arduino Atmega 32u4 – MU



Arduino Micro ATmega32U4-MU

Modelo ARD-MICRO

Uno de los arduinos más pequeños, con formato amigable para el ProtoBoard. Utiliza el mismo microcontrolador que Arduino Leonardo, el ATmega 32U4.

 Imprimir

S/. 35,00

Cantidad - +

 **Añadir al carrito**

 Añadir a la lista de deseos

Ver más grande 

E.2. Módulo WiFi Serial ESP-01 ESP8266



Módulo WiFi Serial ESP-01 ESP8266

Modelo ESP8266-ESP1

Conecta tus proyectos a tu red WiFi y elabora proyectos con Internet de las cosas (IoT).

 Imprimir

S/. 20,00

Cantidad - +

 **Añadir al carrito**

 Añadir a la lista de deseos

Ver más grande 

E.3. Módulo Dimmer AC



Modulo Dimmer AC

Modelo DRV-DIMMER

Controla cargas de corriente alterna (ventiladores, bombillas, motores) desde tu Arduino.

tu@email.com

Avisame cuando esté disponible

Imprimir

S/. 28,00

Añadir a la lista de deseos

E.4. Servomotor MG996R 11 kg



Servo MG996R 11kg

Modelo SERVO-MG996-11K

Servo robusto, de alto rendimiento, compacto, con engranes de metal, tamaño estándar, incluye accesorios y tornillos para montaje en cualquier proyecto.

Imprimir

S/. 35,00

Cantidad

1 - +

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos

E.5. Sensor de fin de carrera AVL3825613 – A

AVL3825613

Panasonic



Mouser N.º: 769-AVL3825613

Fabricante N.º: AVL3825613

Fabricante: Panasonic Industrial Devices

Ref. Cliente:

Descripción: Interruptores de acción básicos / a presión SWITCH SNAP FS-T HINGE .110"QC

Hoja de datos: [AVL3825613 Hoja de datos \(PDF\)](#)

Modelo ECAD:  [Crear o solicitar tamaño o símbolo de PCB](#)

Descargue el [Cargador de bibliotecas](#) gratuito para convertir este archivo para su herramienta ECAD. [Más información.](#)

Comparar producto [Agregar a proyecto](#) | [Añadir notas](#)

En existencias: 1,000

Existencias: 1,000 Se puede enviar inmediatamente

Introducir cantidad: Mínimo: 1 Múltiples: 1

Precio (USD)

Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	\$2.21	\$2.21
10	\$1.87	\$18.70
100	\$1.40	\$140.00

PRODUCTOS MÁS RECIENTES
PANASONIC

[ASPM Miniatur Snap Switch](#)

E.6. Sensor de temperatura RTD PT100 de 2 hilos



[Ver más grande](#)

Sensor de Temperatura RTD PT100 (2 hilos)

Modelo SEN-PT100-2

Sensor RTD con protección metálica para mejor transmisión de calor.

 Imprimir

S/. 15,00

Cantidad

E.7. Ventilador DC ASB0305HP-00CP4

ASB0305HP-00CP4



Mouser N.º: 108-ASB0305HP-00CP4
Fabricante N.º: ASB0305HP-00CP4
Fabricante: Delta Electronics
Ref. Cliente:

Descripción: Ventiladores tangenciales CC DC Tubeaxial Fan, 30x6 5mm, 5VDC, Superflo Bearing, 4 Position Rectangular Connector, Locked Rotor Sensor, Tachometer, PWM

Hoja de datos: [ASB0305HP-00CP4 Hoja de datos \(PDF\)](#)

Más información: [Conozca más sobre Delta Electronics ASB0305HP-00CP4](#)

Comparar producto [Agregar a proyecto](#) | [Añadir notas](#)

Disponibilidad

Existencias: 0

En pedido: 1,046 Se espera el 15/10/2020

Plazo de entrega de fabrica: 28 Semanas ?

Mínimo: 1 Múltiples: 1

Introducir cantidad:

Precio (USD)

Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	\$9.43	\$9.43
10	\$8.82	\$88.20
25	\$8.00	\$200.00
60	\$7.38	\$369.00
100	\$6.46	\$646.00
250	\$6.05	\$1,512.50
500	\$5.64	\$2,820.00
1,000	\$5.43	\$5,430.00
2,500	Presupuesto	

E.8. Transmisor para termocupla MAX6675



[Ver más grande](#)

Transmisor para termocupla MAX6675

Modelo SEN-TX-MAX6675

Transmisor con compensación para junta fría y con una excelente resolución.

S/. 20,00

Cantidad

E.9. Sensor Ultrasonido HC-SR04



Sensor Ultrasonido HC-SR04

Modelo SEN-HCSR04

El sensor HC-SR04 te permite medir distancia mediante ultrasonido, muy utilizado en Robots Sumo y Laberinto.

tu@email.com

Avisame cuando esté disponible

Imprimir

S/. 8,00


 Añadir a la lista de deseos

E.10. Mica – Elemento calentador para máquina de cocción de granos de maíz de 1000W



Mica Popcorn Machine Heating Element Parts for 1000W

FOB Price:	US \$0.8-2.9 / Piece
Min. Order:	10 Pieces

Port: Xiaolan, China

Production Capacity: 8000000monthly

Payment Terms: T/T, Western Union, Paypal, Money Gram


 Contact Now


 Chat with Supplier.


 Inquiry Basket


 Favorites

E.11. Pantalla LCD TFT 2.0" RGB SPI 176x220 (ILI9225)



[Ver más grande](#)

Display LCD TFT 2.0" RGB SPI 176x220 (ILI9225)

Modelo DISP-LCDTFT-20

Esta pantalla te permite mostrar texto y gráficos de forma sencilla. Soporta colores RGB, no táctil, si incluye adaptador para memoria micro SD.

Imprimir

S/. 35,00

Cantidad

1 - +

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos

E.12. Fuente de alimentación RPS-60-12

RPS-60-12



Ampliar

Las imágenes son para referencia solamente. Ver especificaciones del producto.

Mouser N.º: 709-RPS60-12

Fabricante N.º: RPS-60-12

Fabricante: [MEAN WELL](#)

Ref. Cliente:

Descripción: Suministros de energía de conmutación 60W 12V 5A

Hoja de datos: [RPS-60-12 Hoja de datos \(PDF\)](#)

Modelo ECAD: [Crear o solicitar tamaño o símbolo de PCB](#)

Descargue el [Cargador de bibliotecas](#) gratuito para convertir este archivo para su herramienta ECAD. [Más información.](#)

Más información: [Conozca más sobre MEAN WELL RPS-60-12](#)

Comparar producto [Agregar a proyecto](#) | [Añadir notas](#)

En existencias: 260

Existencias: 260 Se puede enviar inmediatamente

En pedido: 288 Se espera el 27/07/2020

Plazo de entrega de fábrica: 14 Semanas

Mínimo: 1 Múltiples: 1

Introducir cantidad: Comprar


Precio (USD)


Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	\$14.00	\$14.00
10	\$13.57	\$135.70
25	\$13.41	\$335.25
50	\$12.98	\$649.00
100	\$12.76	\$1,276.00
260	\$12.33	\$3,082.50
500	\$11.86	\$5,930.00

Especificaciones

Anexo F: Cotización de los componentes mecánicos




F.1. Cotización para las piezas impresas en 3D




VEO		VICERRECTORADO ADMINISTRATIVO SALA DE MANUFACTURA DIGITAL VEO 3D	 PUCP				
FORMATO DE COTIZACIÓN			ORDEN N°				
			FECHA	08-07-20			
DATOS DEL CLIENTE	ESTIMADO (A)	JORGE ARMANDO RAMÍREZ CASTILLO					
	RUC DNI CÓDIGO PUCP						
	CORREO ELECTRÓNICO	jaramirezc@pucp.edu.pe					
	DIRECCIÓN	-					
DATOS DE SERVICIO	<small> NOMBRE DE PIEZA O ARCHIVO: Nombre de la pieza o el archivo a cotizar. CANTIDAD: Número de copias de archivo o pieza. IMPRESORA: Impresora utilizada para la cotización. MATERIAL: Tipo de material escogido para la cotización. COLOR: Color disponible para la impresión. </small>						
	NOMBRE DE PIEZA NOMBRE DE ARCHIVO	CANTIDAD	IMPRESORA	MATERIAL	COLOR	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
	Servicio de Impresión 3D						
	Componentes maquina	1	Connex	resin		S/. 107.8	S/. 108
							SUB TOTAL
						IGV 18%	S/. 19
						TOTAL	S/. 127
DATOS DE ENTREGA	TIEMPO DE ENTREGA REFERENCIAL	días útiles después de emitida la boleta o factura de pago.					
	VIGENCIA DE COTIZACIÓN	30 días.					
DATOS DE CONTACTO	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 32, Perú (+511) 626 2000 Anexo 3945 Correo vvo3d@pucp.pe Web http://www.pucp.edu.pe/vvo						




VEO		VICERRECTORADO ADMINISTRATIVO SALA DE MANUFACTURA DIGITAL VEO 3D		 PUCP					
FORMATO DE COTIZACIÓN			ORDEN N°						
			FECHA	14-07-20					
DATOS DEL CLIENTE	ESTIMADO (A)	Jorge Ramirez							
	RUC DNI CÓDIGO PUCP								
	CORREO ELECTRÓNICO	j.ramirez@inventum.pe							
	DIRECCIÓN	-							
DATOS DE SERVICIO	<small>NOMBRE DE PIEZA O ARCHIVO: nombre de la pieza o el archivo a imprimir. CANTIDAD: número de copias de archivo o pieza. IMPRESORA: impresora utilizada para la cotización. MATERIAL: Tipo de material escogido para la cotización. COLOR: Color disponible para la impresión.</small>								
	NOMBRE DE PIEZA NOMBRE DE ARCHIVO	CANTIDAD	IMPRESORA	MATERIAL	COLOR	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL		
Servicio de Impresión 3D									
tapa_prepr	1		Resina	negro	S/.	49.2	S/.	49	
							SUB TOTAL	S/.	49
							IGV 18%	S/.	58
							TOTAL	S/.	107
DATOS DE ENTREGA	TIEMPO DE ENTREGA REFERENCIAL		días útiles después de emitida la boleta o factura de pago.						
	VIGENCIA DE COTIZACIÓN		30 días.						
DATOS DE CONTACTO			PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 32, Perú (+511) 626 2000 Anexo 1945 Correo vco3d@pucp.pe Web http://www.pucp.edu.pe/veo						

F.2. Precio de los tornillos empleados en el sistema


NOMBRE	PRECIO
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica ranurada ISO 1207 M3 x 6</p>	<div data-bbox="375 302 470 414"> </div> <div data-bbox="406 414 710 705"> </div> <div data-bbox="383 728 774 795"> </div> <p>304 A2-70 GB65 DIN EN ISO 1207 A2-70 M2 M2.5 M3 cabeza ranurada de acero inoxidable ranura columna redonda queso tornillo 20/50/100 Uds</p> <div data-bbox="837 324 1380 380"> <p>Ahora más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 55 : 58</p> </div> <p>PEN 13,38 <small>PEN-19,13 -30%</small></p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 136,60 ▾</p> <p><small>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario!</small> + PEN 7,01 dto. por cada PEN 52,54</p> <p>Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M3X6mm</p> <p>M2X5mm M2X6mm M2X8mm M2X10mm M2X12mm</p> <p>M2X18mm M2X20mm M2.5X14mm M2.5X16mm M3X6mm</p> <p>M3X8mm M3X10mm M3X12mm M3X14mm M3X16mm</p> <p>M3X18mm M3X30mm</p> <p>Color: 100 PCS</p> <p>20 PCS 50 PCS 100 PCS</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H – M5 x 12</p>	<div data-bbox="367 828 438 896"> </div> <div data-bbox="359 884 790 1187"> </div> <div data-bbox="550 1265 606 1332"> </div> <p>Gb818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4,8 ▾ 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <div data-bbox="837 896 1380 952"> <p>Ahora más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 54 : 36</p> </div> <p>PEN 13,91 / lote (100 unidades)</p> <p><small>PEN-14,79 -6%</small></p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55 ▾</p> <p><small>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario!</small> Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M5 50PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 12 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H M10 x 12</p>	<div data-bbox="383 1366 486 1489"> </div> <div data-bbox="438 1444 774 1747"> </div> <div data-bbox="391 1792 774 1825"> </div> <p>304 A2-70 GB818-85 DIN ISO 7045 M10 cabeza plana cruciforme tornillos de acero inoxidable máquina de tornillo Phillips tornillo de madera de 50/100 Uds</p> <div data-bbox="837 1388 1380 1444"> <p>Ahora más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 52 : 02</p> </div> <p>PEN 305,48 <small>PEN-407,33 -25%</small></p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 136,60 ▾</p> <p><small>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario!</small> + PEN 7,01 dto. por cada PEN 52,54</p> <p>Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: 10X20mm</p> <p>10X20mm 10X25mm 10X30mm 10X35mm 10X40mm</p> <p>10X45mm 10X55mm 10X65mm 10X70mm 10X75mm</p> <p>10X80mm 10X85mm 10X90mm 10X95mm 10X100mm</p> <p>Color: 100PCS</p> <p>50PCS 100PCS</p>

<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo H ISO 7045 H M4x 6</p>	 <p>Gb818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 v 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 49 : 08</p> <p>PEN 10,79 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN-11,49 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55 v</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuariod Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M4 100PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 6 mm</p> <p>2 mm 4 mm 5 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12</p>	 <p>304 GB818-85 DIN ISO 7045 M1.6 M2 M2.5 M3 cabeza plana cruciforme tornillos de acero inoxidable máquina de tornillo Philips tornillo de madera</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 48 : 24</p> <p>PEN 14,01 PEN-18,67 -25%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 136,60 v</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuariod + PEN 7,01 dto. por cada PEN 52,54</p> <p>Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: 2X12mm</p> <p>1.6X2mm 1.6X3mm 1.6X4mm 1.6X5mm 1.6X6mm</p> <p>1.6X8mm 1.6X10mm 1.6X12mm 1.6X16mm 2X3mm</p> <p>2X4mm 2X5mm 2X6mm 2X8mm 2X10mm 2X12mm</p> <p>2X14mm 2X16mm 2X18mm 2X20mm 2X22mm</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M2 x 3</p>	 <p>304 GB818-85 DIN ISO 7045 M1.6 M2 M2.5 M3 cabeza plana cruciforme tornillos de acero inoxidable máquina de tornillo Philips tornillo de madera</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 47 : 06</p> <p>PEN 11,91 PEN-15,91 -25%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 136,60 v</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuariod + PEN 7,01 dto. por cada PEN 52,54</p> <p>Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: 2X3mm</p> <p>1.6X2mm 1.6X3mm 1.6X4mm 1.6X5mm 1.6X6mm</p> <p>1.6X8mm 1.6X10mm 1.6X12mm 1.6X16mm 2X3mm</p> <p>2X4mm 2X5mm 2X6mm 2X8mm 2X10mm 2X12mm</p> <p>2X14mm 2X16mm 2X18mm 2X20mm 2X22mm</p>

<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M4 x 5</p>	 <p>50 Uds M2 M2.5 M3 M4 ISO7045 DIN7985 GB818 304 de acero inoxidable con cabeza redonda de estrella pernos tornillos Phillips</p> <p>★★★★★ 5.0 - 128 Valoraciones 185 vendidos</p> <p>PEN 6,97</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Usa IKZLSZL2NSPT y llévate PEN 3,50 dto.</p> <p>Conseguir cupones</p> <p>Size: M4(50pcs)</p> <p>M2.5(50pcs) M4(50pcs) M2(50pcs) M3(50pcs)</p> <p>Length: 5 mm</p> <p>4 mm 5 mm 6 mm 8 mm 10 mm 12 mm</p> <p>Cantidad:</p> <p>1 + 1191 unidades disponibles</p> <p>Envío: PEN 4,37 Envío gratis en compras de PEN 34,65 o más (método de envío seleccionado)</p> <p>a Spain por AliExpress Saver Shipping</p> <p>Fecha estimada de entrega el 19/08</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M4 x 6</p>	 <p>GB818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 - 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 45 : 05</p> <p>PEN 10,79 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN-11:49 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M4 100PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 6 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M5 x 12</p>	 <p>GB818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 - 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 43 : 59</p> <p>PEN 13,91 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN-14:79 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M5 50PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 12 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p>

<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M5 x 25</p>	 <p>Gb818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 - 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 43 : 15</p> <p>PEN 20,42 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN 21,72 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M5 50PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 25 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M5 x 6</p>	 <p>Gb818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 - 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 41 : 37</p> <p>PEN 11,56 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN 12,30 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M5 50PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 6 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p> <p>millimeter</p>
<p>Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme tipo Z ISO 7045 Z M2 x 12ISO 7045 Z M5 x 8</p>	 <p>Gb818 M1.6 M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 Iso7045 Din7985 304 de acero inoxidable de cabeza plana cruciforme Pm tornillos Phillips tornillos Sus304</p> <p>★★★★★ 4.8 - 8 Valoraciones 8 vendidos</p> <p>Ahorra más comprando ahora Acaba en 1 d 07 : 37 : 50</p> <p>PEN 12,44 / lote (100 unidades)</p> <p>PEN 13,24 -6%</p> <p>Descuento directo: PEN 3,51 dto. por cada PEN 59,55</p> <p>PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario Conseguir cupones</p> <p>Tamaño: M5 50PCS</p> <p>M4 100PCS M5 50PCS M1.6 100PCS M2.5 100PCS</p> <p>M6 50PCS M2 100PCS M3 100PCS</p> <p>Longitud: 8 mm</p> <p>2 mm 4 mm 3 mm 25 mm 30MM 5 mm 6 mm</p> <p>8 mm 10 mm 12 mm 14 mm 18 mm 20 mm 22</p>

Tornillo de cabeza semicircular aplastada ISO 7380 - 1 M5 x 8



PFJGJ Buy Screw, Find PengFa.

Peng Fa ISO7380 negro 10,9 tornillo de cabeza de botón M2 M2.5 M3 M4 M5 M6 M8 hexágono tornillos de cabeza redonda tornillo con cabeza hexagonal

★★★★★ 5.0 ~ 9 Valoraciones 8 vendidos

PEN 6,13

PEN 10,51 Cupón de nuevo usuario [Conseguir cupones](#)

Tamaño: M5 (10PCS)

M2.5 (50PCS) M4 (20PCS) M8 (5PCS) M2 (50PCS)

M3 (50PCS) **M5 (10PCS)** M6 (10PCS)

Longitud: 8mm

4mm 25mm 30mm 35mm 40mm 45mm 50mm

5mm 6mm **8mm** 10mm 12mm 20mm 16mm

F.3. Cotización para la elaboración del cuerpo interno del sistema de preparación



LIMG SAC
"Innovando soluciones para Industrias"
hacemos para que las cosas duren

Venta de tuberías, Mangueras Mandals, filtros ranura trapezoidal y planchas, roscado de tuberías,

Mecanizado de piezas, Bombeado y pestañado, Rolado de tubería, rolado de planchas, corte y doblez

Fabricación de Carretes Bridados, Spools, Spout Feeder

Cotización 001-029495
 RUC: 20547358555

CLIENTE :
 DIRECCION:
 CONTACTO:
 E-MAIL :

FECHA :13-07-2020
 REFERENCIA:
 TELEFONO :
 CELULAR :

Estimados señores, atendiendo su gentil solicitud, nos es grato presentarle nuestra cotización por:

Item	Descripción	Cantidad	P. Unitario	Sub. Total
001	Anillo de 6 mm diámetro interior 142 mm x 51 mm	1 UND	S/ 30.00	S/30.00

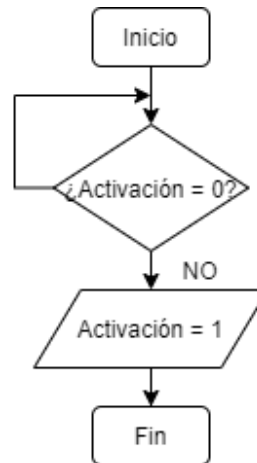
Observaciones:

1. Los precios son en soles, **NO incluye IGV.**
2. Deposito
3. Esta cotización deja sin validez a las anteriores.
4. Validez oferta: **3 días hábiles.**
5. Tiempo de entrega: 1 días hábiles contados a partir del día siguiente de emitida la OC.
6. Entrega: LOCAL DEL LIMGSAC.
7. Razón Social: LOBOS EN INGENIERIA METALICA GROUP SAC
8. NÚMERO DE CUENTA EN SOLES: **191 – 2087547 – 0 – 31 BANCO DE CRÉDITO DEL PERU.**

NOTA: LOS DEPÓSITOS REALIZADOS EN PROVINCIA, EL QUE DEPOSITA ASUME LOS GASTOS DE COMISIÓN BANCARIA, LIMG SAC RECIBE EL IMPORTE COMPLETO PACTADO EN LA PRESENTE COTIZACIÓN.

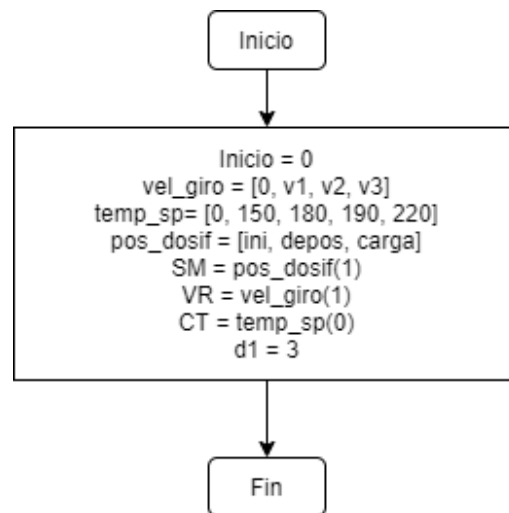
Anexo G: Diagramas de flujo de la Máquina de cocción de granos

G.1. Diagrama de flujo del subprograma “Esperar señal de activación”



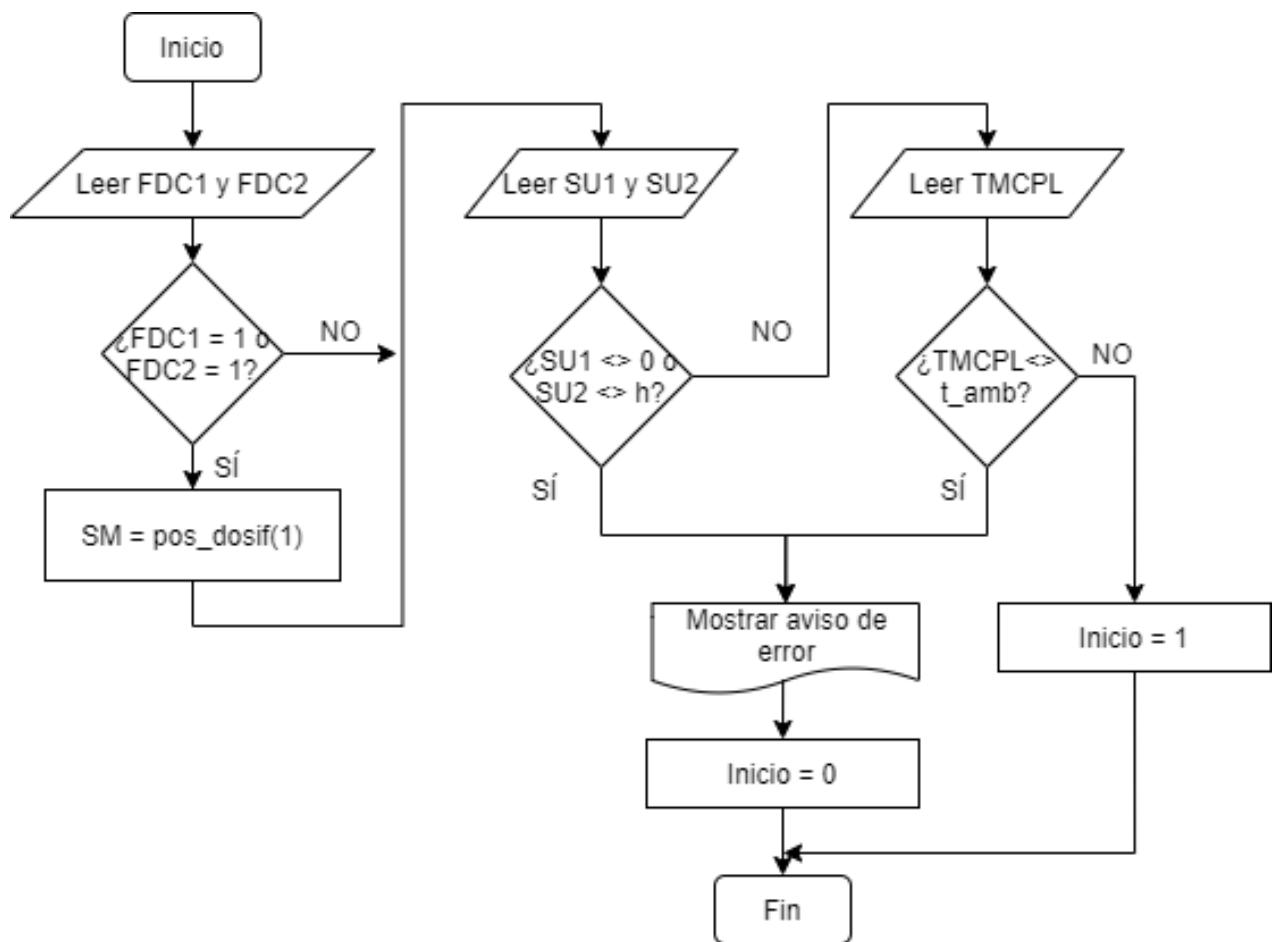
G.2. Diagrama de flujo del subprograma “Inicialización de variables”

Variable	Función
Inicio	Inicializar el proceso de preparación
vel_giro	Arreglo con las velocidades predefinidas de giro para el ventilador DC
temp_sp	Arreglo con las temperaturas críticas involucradas en el proceso
pos_dosif	Arreglo con las posiciones del dosificador en el plano XY
SM	Acción que debe realizar el servomotor
VR	Acción que debe realizar el ventilador
CT	Acción que debe realizar el calentador
d1	Valor de la distancia crítica para la altura del contenido en el recipiente de descarga
h	Valor de la distancia calibrada hacia el fondo del recipiente vacío
ini	Vector de dos dimensiones con la posición inicial del sistema dosificador
depos	Vector de dos dimensiones con la posición para el depósito de granos
carga	Vector de dos dimensiones para realizar la carga de granos al subsistema de preparación

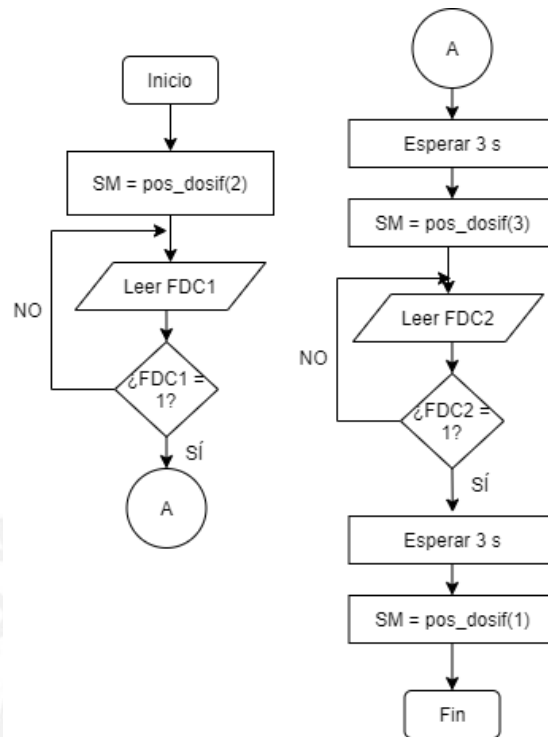


G.3. Diagrama de flujo del subprograma para verificación del estado de componente

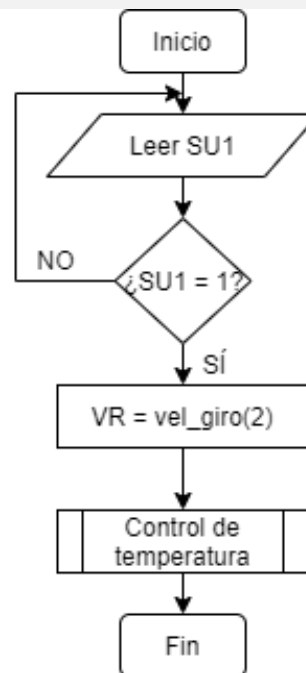
Variable	Función
FDC1	Permite indicar si el sensor de fin de carrera 1 está activado
FDC2	Permite indicar si el sensor de fin de carrera 2 está activado
SU1	Permite indicar si el sensor de ultrasonido ha detectado la presencia de un elemento
SU2	Permite indicar si el recipiente de la zona de descarga está lleno y ha alcanzado una distancia d1.
TMCP	Si $TMCP < t_{amb}$, significa que el recipiente de cocción no está a temperatura ambiente. Funciona con la variable t_{amb} .
t_{amb}	Vector con el rango de temperaturas normales de funcionamiento [20, 25], en °C



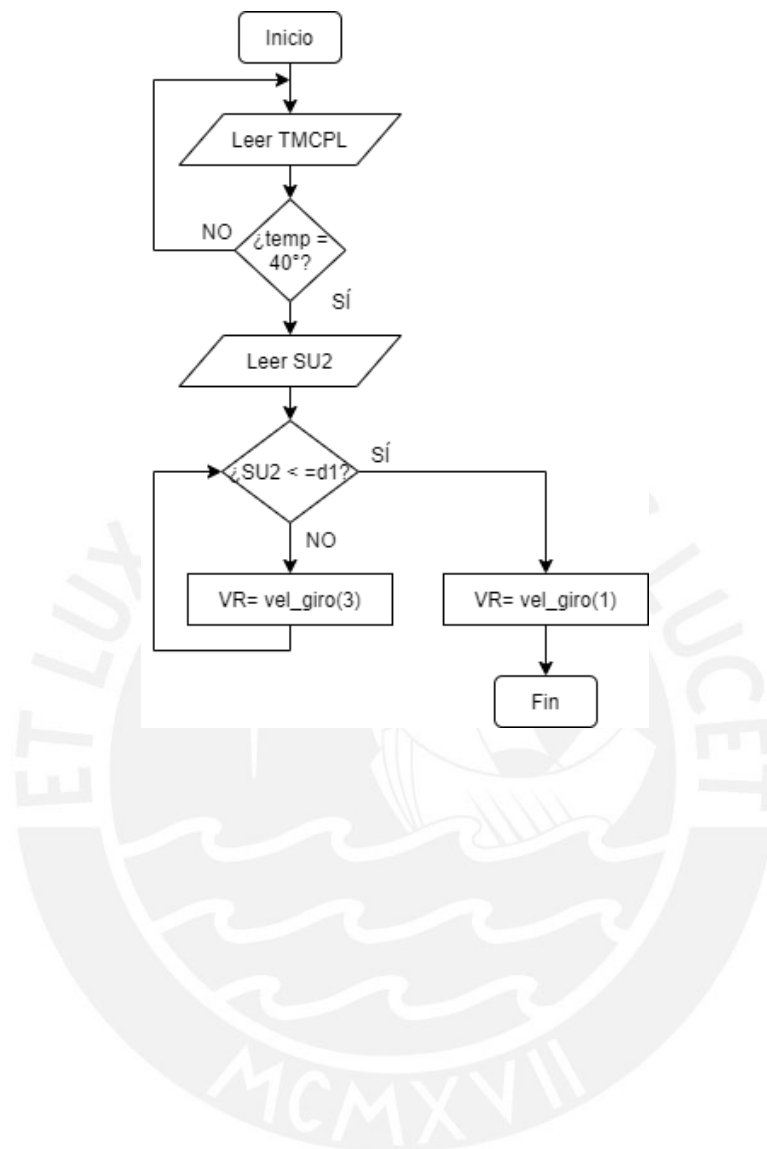
G.4. Diagrama de flujo del subprograma para la carga de granos



G.5. Diagrama de flujo del subprograma para la preparación de granos

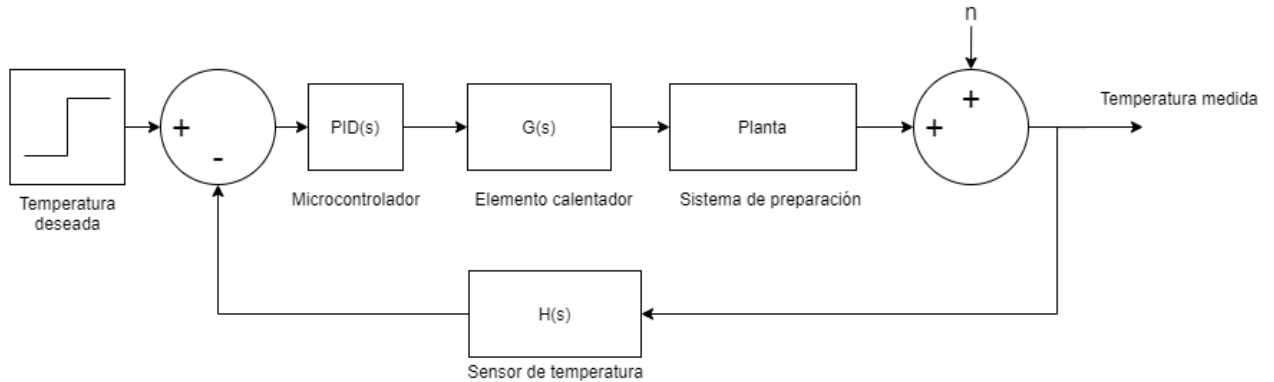


G.6. Diagrama de flujo del subprograma para la descarga de granos.

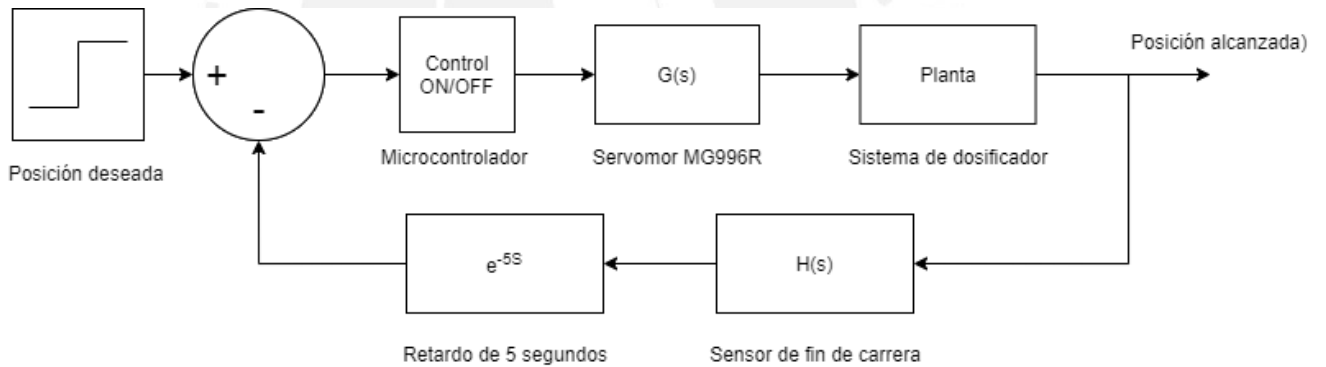


Anexo H: Diagramas de control de la Máquina de cocción de granos

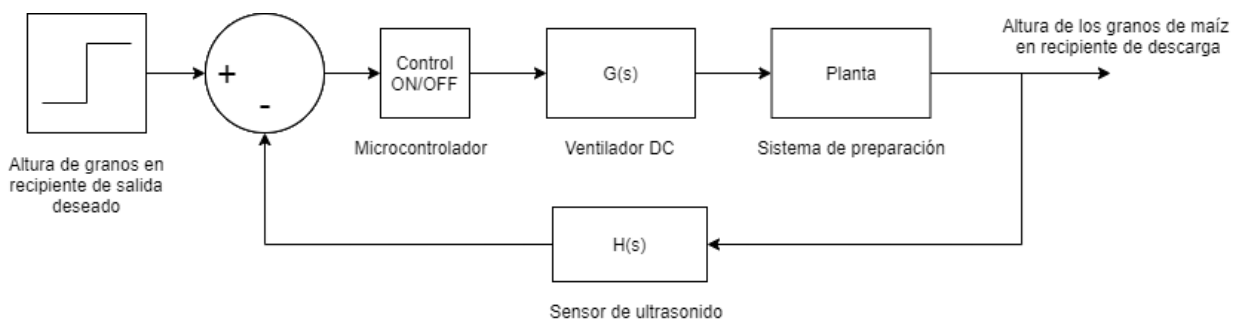
H.1. Diagrama de control de temperatura



H.2. Diagrama de control para la carga de granos



H.3. Diagrama de control para la descarga de granos



Anexo I: Diseño conceptual de la Máquina de cocción de granos de maíz

I.1 Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		HOJA 1 de 7 Edición: 2	
INVESTIGACIÓN:		DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO	Fecha: 05/10/2019 Revisado: 20/11/2019 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Preparar granos de maíz de manera automática cuando se envíe una señal de control a través de una interfaz cerebro-computador que detecta la caída de rendimiento mental de un estudiante durante una sesión de estudio para brindar descansos efectivos y saludables.	Ramírez, Jorge
	E	MATERIA: solo máquina de cocción de granos de maíz: <ul style="list-style-type: none"> • Ingresas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Granos de maíz enteros ○ Aire o aceite a temperatura ambiente • Salida: <ul style="list-style-type: none"> ○ Granos de maíz cocidos ○ Aire o aceite caliente ○ Granos de maíz sin cocinar 	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS		HOJA 2 de 7	
		Edición: 2	
INVESTIGACIÓN:		<p>DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO</p>	
CLIENTE:		<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	
		<p>Fecha: 05/10/2019</p> <p>Revisado: 20/11/2019</p> <p>Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO</p>	
Fecha	Exigencia o Deseo	Fecha	Exigencia o Deseo
23/10/19	E	<p>ENERGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingresas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Energía eléctrica de 220 VAC monofásica a 60 Hz. ○ Energía mecánica • Sale: <ul style="list-style-type: none"> ○ Energía luminosa de los indicadores led y la interfaz. ○ Energía calorífica. 	Ramírez, Jorge
	E	<p>SEÑAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada: <ul style="list-style-type: none"> ○ Señal de inicio para la BCI ○ Señal de parada de emergencia. ○ Señal de configuración de valor relativo. ○ Señal de encendido para la BCI • Salida: <ul style="list-style-type: none"> ○ Señal de máquina en funcionamiento. ○ Señal de emergencia/alarma ○ Señal de fin de proceso de cocción. 	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 3 de 7
INVESTIGACIÓN:		DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO	Edición: 2 Fecha: 05/10/2019 Revisado: 20/11/2019 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO,
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	JORGE ARMANDO
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	E	TIEMPO: El trabajo de investigación se entregará el 22 de noviembre.	Ramírez, Jorge
	E	PRESUPUESTO: El dispositivo EEG tiene un costo que oscila entre los \$1000 y \$25,000. Por otro lado, la máquina no debe sobrepasar los S/. 6000.	Ramírez, Jorge
	E	USO: Destinado a estudiantes universitarios, para permitirles conocer el momento en que su rendimiento mental decae, durante sus sesiones de estudio, y así activar, previo a este, una máquina automática que prepare palomitas de maíz sin necesidad de supervisión, para que pueda tomar descansos efectivos y saludables, realizando otras actividades antes de retomar la labor académica.	Ramírez, Jorge
	E	TRANSPORTE: Dispositivo EEG es inalámbrico. La computadora que realizará el procesamiento se encontrará fija. Por otro lado, la máquina de cocción de granos de maíz tendrá la facilidad de ser transportable.	Ramírez, Jorge

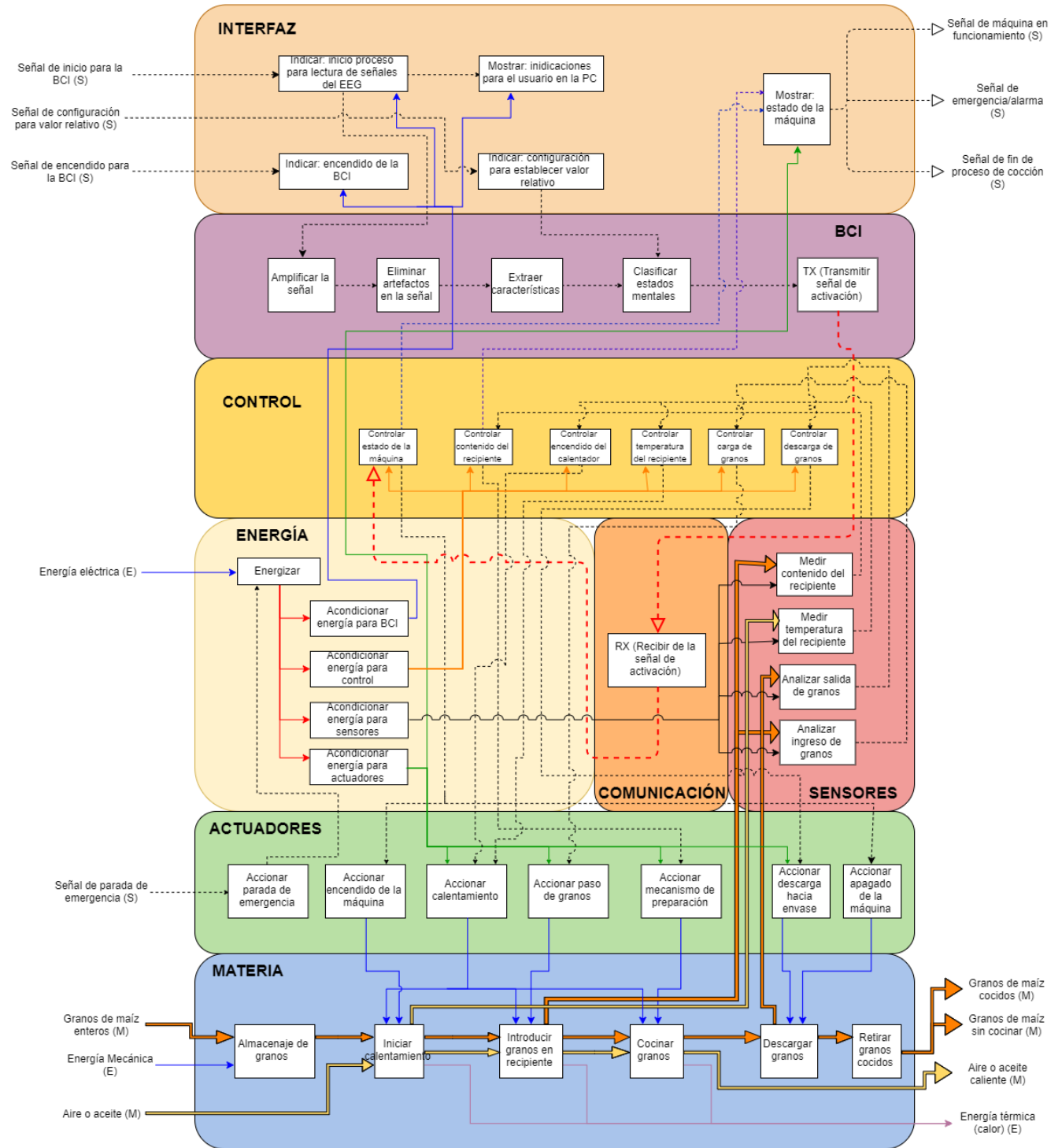
LISTA DE EXIGENCIAS		HOJA 4 de 7	
		Edición: 2	
INVESTIGACIÓN:		<p>DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO</p>	
CLIENTE:		<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</p>	
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	D	<p>MONTAJE:</p> <p>Máquina de cocción de granos de maíz, será de fácil armado y desarmado. El dispositivo EEG inalámbrico, en caso requiera reparación, tendrá que ser enviado con un técnico especializado.</p>	Ramírez, Jorge
	E	<p>CONTROL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contenido del recipiente de descarga • Encendido de la máquina por la BCI • Temperatura del recipiente • Carga y descarga de granos • Motores de ventilación 	Ramírez, Jorge
	E	<p>SEGURIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema preservará la integridad del usuario y de todas las personas que se encuentren alrededor. • Dispositivo EEG con un grado de protección IP67. La máquina de palomitas de maíz considerará el grado de protección IP65. • Se contará con la norma NSF/ANSI 51, de estándares mínimos para construcción de máquinas de comida. 	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS		HOJA 5 de 7	
		Edición: 2	
INVESTIGACIÓN:	DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO		Fecha: 05/10/2019 Revisado: 20/11/2019 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	E	ERGONOMÍA: <ul style="list-style-type: none"> • Diseño que evite el desperdicio de los granos de maíz. Asimismo, los indicadores mostrarán la información de manera clara. • El dispositivo EEG inalámbrico será colocado en la cabeza del operario sin afectar su comodidad y rango de movimiento, tomando en cuenta la norma ISO/IEEE 11073. • Para el sistema en conjunto se seguirá la norma ISO9241, que se refiere a la interacción hombre – máquina. 	Ramírez, Jorge
	E	MANTENIMIENTO: Máquina debe estar diseñada de tal manera que se pueda desarmar fácilmente para la realización de labores de mantenimiento. Este mantenimiento deberá ser realizado cada 6 meses por un técnico especializado. Los repuestos podrán ser adquiridos de manera local. Respecto al dispositivo EEG, en caso presente fallas, este tendrá que ser reparado por un técnico especializado.	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS		HOJA 6 de 7	
		Edición: 4	
INVESTIGACIÓN:	DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO		Fecha: 05/10/2019 Revisado: 20/11/2019 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	E	SOFTWARE: Será empleado el entorno SIMULINK, dentro del software MATLAB, que permite la realización de los algoritmos de procesamiento de señales, elaborando un código adaptable y optimizable, ya que se trabajará mediante iteraciones. Por otro lado, para la programación de la máquina se empleará un software de código abierto.	Ramírez, Jorge
	D	COMUNICACIÓN: La máquina y el dispositivo EEG se comunicarán empleado un protocolo determinado por la computadora. Asimismo, el EEG podrá mantenerse conectado a una computadora en un rango de hasta 5m.	Ramírez, Jorge
	D	INTERFAZ DE USUARIO: La BCI activará la máquina. Esta máquina tendrá botones e indicadores que permitirán de la misma manera una manipulación manual. Por otro lado, la BCI mostrará al usuario indicaciones a seguir para la configuración, para el inicio del proceso.	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 7 de 7 Edición: 2
INVESTIGACIÓN:	DISEÑO DEL CONCEPTO ÓPTIMO DE LA INTEGRACIÓN ENTRE UN MÁQUINA DE COCCIÓN DE GRANOS DE MAÍZ CON UN SISTEMA DE ACTIVACIÓN A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ CEREBRO- COMPUTADOR (BCI) QUE DETECTA CAÍDAS EN EL DESEMPEÑO COGNITIVO EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS PARA PROPORCIONAR DESCANSOS EFECTIVOS DURANTE SESIONES DE ESTUDIO		Fecha: 05/10/2019 Revisado: 20/11/2019 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
Fecha	Exigencia o Deseo	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
23/10/19	D	LIMPIEZA: Los electrodos del dispositivo podrán ser extraídos para ser limpiados contra el polvo. El gorro en donde se colocan los electrodos tendrá que ser lavado. Por otro lado, la máquina podrá ser fácilmente limpiada una vez que se haya enfriado y sus accesorios para ser lavados.	Ramírez, Jorge
	D	GEOMETRÍA: La máquina no deberá exceder las siguientes dimensiones: 40 cm x 50 cm x 50 cm. Respecto al dispositivo EEG, este tiene dimensiones regulables y adaptable, de acuerdo a la forma de la cabeza del usuario.	Ramírez, Jorge
	D	MATERIAL: La máquina estará recubierta interiormente por acero inoxidable y la carcasa estará elaborada de plástico libre de BPA. Además, estos materiales deben ser capaces de soportar altas temperaturas (hasta los 180°C), humedad y la corrosión. Asimismo, el dispositivo EEG está conformado por electrodos secos hechos de una aleación de oro especial.	Ramírez, Jorge

I.2 Estructura de funciones



I.3 Lista de funciones

Se presentará detalladamente cada una de las funciones parciales que forman parte del sistema, detallando brevemente de qué se encarga cada una.

- **Amplificar la señal:** dado que las señales eléctricas generadas por el cuerpo humano tienen amplitudes muy pequeñas, se realiza una amplificación y posterior conversión A/D, para trabajarlas adecuadamente.
- **Eliminar artefactos en la señal:** señales no deseadas, producidas involuntariamente por el usuario, son eliminadas para analizar únicamente las señales de interés.
- **Extraer características de la señal:** mientras el usuario realiza una actividad académica, se realiza el análisis de las señales cerebrales, obteniendo datos de interés.
- **Clasificar estados mentales:** los valores de las señales obtenidas para los estados mentales son comparados con un valor obtenido para el usuario en condiciones de actividad no-académica.
- **Transmitir señal de activación:** dependiendo del resultado de la comparación, se realizará la generación de una señal de control que activará la máquina que se desea controlar.
- **Mostrar indicaciones para el usuario:** en la interfaz con la que el usuario interactuará, se tendrá que realizar el proceso de configuración previo, así como regular el valor obtenido en el análisis inicial de las señales cerebrales proporcionadas antes de realizar la actividad académica dependiendo de su estado.
- **Indicar inicio de proceso para lectura de las señales EEG:** para comenzar la lectura de las señales cerebrales a través del dispositivo EEG.
- **Indicar configuración para establecer valor relativo:** en la interfaz de configuración se da inicio al proceso para detectar señales cerebrales antes de realizar la actividad académica.
- **Mostrar estado del proceso de la máquina:** para tener conocimiento del estado del proceso de cocción en la máquina de palomitas de maíz.
- **Accionar parada de emergencia de la máquina:** en caso se presenten problemas durante el proceso de preparación, se notificará al usuario para que este pueda detenerla inmediatamente.



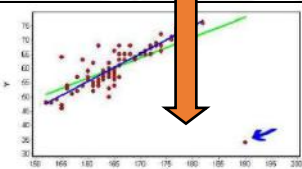
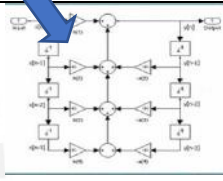
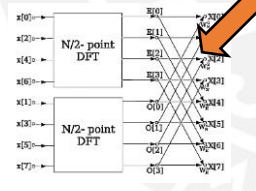
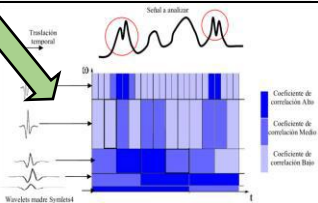
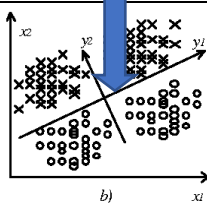
- **Acondicionar energía para BCI:** dispositivo para regular el voltaje proporcionado a la BCI.
- **Energizar:** dispositivo que permitirá energizar los distintos componentes eléctricos del sistema.
- **Acondicionar energía para control:** dispositivo que regula el voltaje proporcionado al controlador.
- **Acondicionar energía para sensores:** dispositivo que regula el voltaje proporcionado a los sensores.
- **Acondicionar energía para actuadores:** dispositivo que regula el voltaje proporcionado a los actuadores.
- **Almacenar granos:** se colocan los granos dentro de la máquina previo al proceso de preparación.
- **Accionar calentamiento:** dispositivo que genera el calor que se requiere para el proceso de preparación.
- **Iniciar calentamiento:** se calienta el recipiente en donde serán preparadas las palomitas de maíz.
- **Accionar encendido de la máquina:** actuador que permite generar el encendido de la máquina.
- **Cocinar granos:** se produce el proceso de cocción de los granos de maíz a través de los sistemas mecánicos considerados.
- **Medir contenido del recipiente:** sensor empleado para regular la cantidad de palomitas de maíz contenidas en el recipiente.
- **Analizar presencia de granos en la entrada:** sensor para detectar si los granos de maíz han ingresado correctamente.
- **Analizar presencia de granos en la salida:** sensor para detectar si los granos han sido descargados correctamente.
- **Medir temperatura del recipiente:** sensor para analizar si se ha alcanzado la temperatura óptima en el proceso de preparación y para evitar un sobrecalentamiento del sistema.
- **Accionar apagado de la máquina:** actuador para detener el proceso de preparación.
- **Descargar granos:** salida de granos cocidos hacia un recipiente.

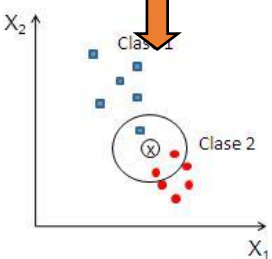
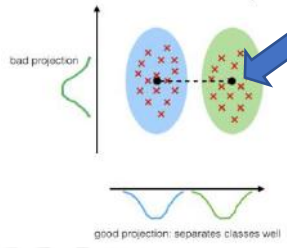
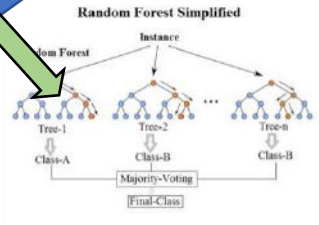



- **Retirar granos cocidos:** granos son retirados de la máquina una vez que se culmine con el proceso de preparación y se notifique al usuario.
- **Recibir señal de activación:** dispositivo a través del cual se recibirá la señal enviada por la BCI para generar la activación de la máquina.
- **Controlar variables:** el dispositivo de control recibirá información del sensor para controlar cada uno de los actuadores del sistema.



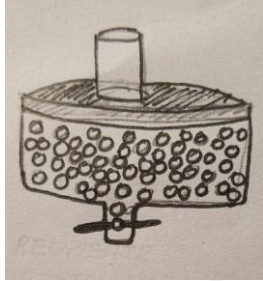
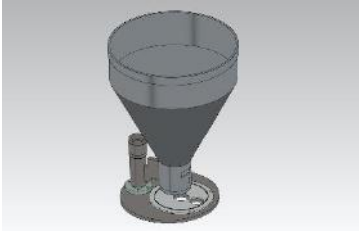


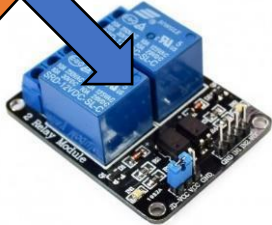




I.4 Matriz morfológica

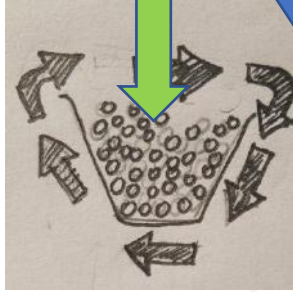

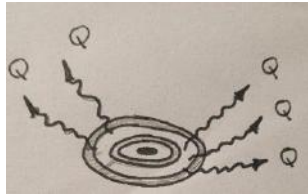
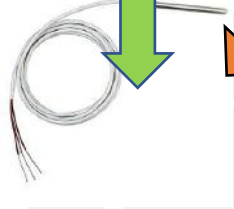


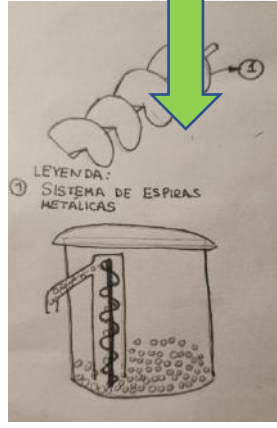
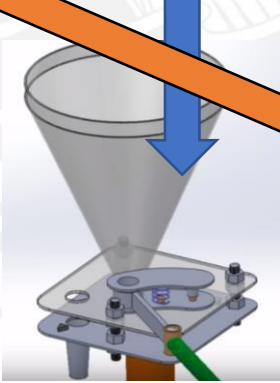
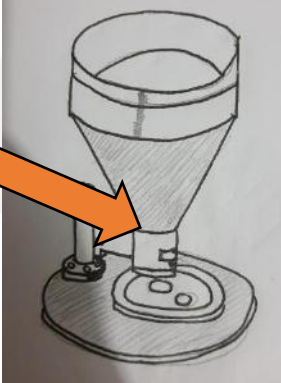



Subsistema de activación

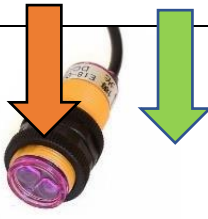
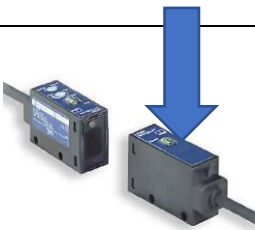

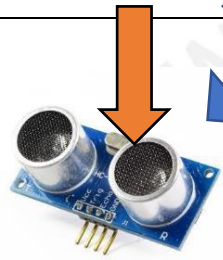
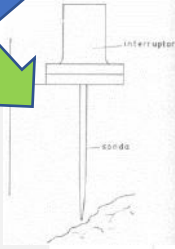
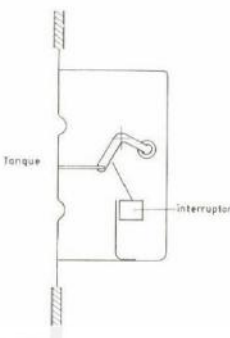


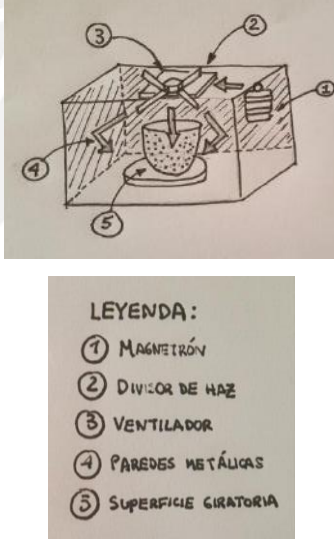

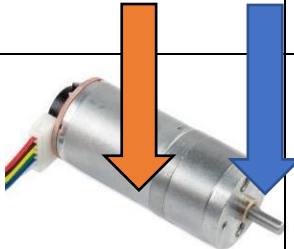

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Amplificar la señal	 <p>Amplificador EEG g.Nautilus - g.tec</p>		
Eliminar artefactos en la señal	 <p>Procesamiento de imágenes: filtros espaciales</p>	 <p>Métodos estadísticos: Métodos de regresión</p>	 <p>Procesamiento de señales: Banco de filtros digitales</p>
Extraer características de la señal	 <p>Método en el dominio en la frecuencia: DFT</p>	 <p>Métodos STF (Dominio en el tiempo y la frecuencia)</p>	 <p>Métodos en el dominio en el tiempo</p>






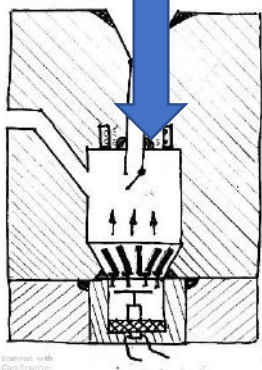
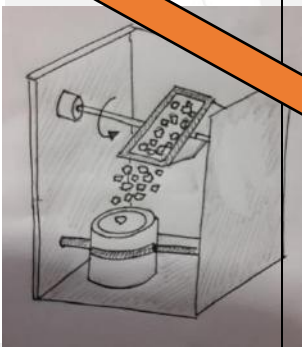
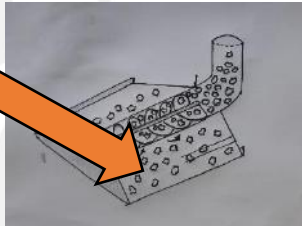

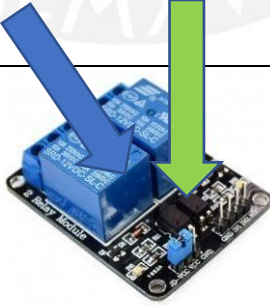

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Clasificar estados mentales	 <p>Métodos de clasificación adaptativa supervisada</p>	 <p>Métodos de clasificación y análisis estadístico</p>	 <p>Métodos de aprendizaje de máquina: redes neuronales</p>
Transmitir señal de activación	 <p>Ordenador de placa reducida – protocolo USB</p>	 <p>Computadora de escritorio – protocolo bluetooth</p>	 <p>Computadora portátil – protocolo Wifi</p>

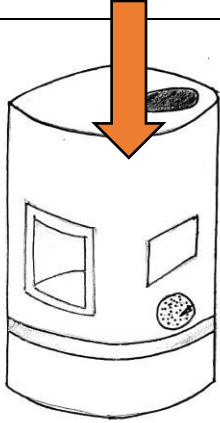
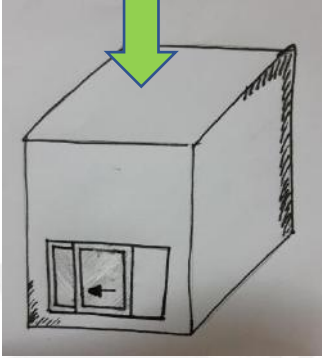


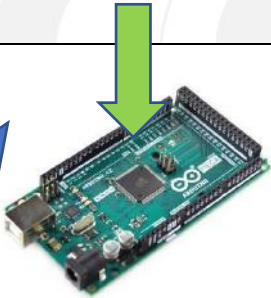

Subsistema de preparación

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Almacenar granos	 <p>Recipiente contenedor</p>	 <p>Múltiples recipientes con porciones establecidas</p>	 <p>Recipiente al vacío con tapa plegable</p>
Accionar encendido de la máquina	 <p>Interruptor wifi</p>	 <p>Módulo Relé inalámbrico</p>	 <p>Interruptor bluetooth</p>
Accionar calentamiento	 <p>Calentador enfundado</p>	 <p>Calentador en aletas</p>	 <p>Calentador de recipientes</p>













Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Iniciar calentamiento	 <p>Por conducción</p>	 <p>Por convección</p>	 <p>Por radiación</p>
Medir temperatura del recipiente	 <p>RTD</p>	 <p>Termocupla</p>	 <p>Termistor NTC</p>
Introducir granos	 <p>LEYENDA: ① SISTEMA DE ESPIRAS METÁLICAS</p> <p>Espiras rotatorias y salida en tubo</p>	 <p>Sistema dosificador con sistema de medición</p>	 <p>Sistema dosificador circular con engranajes</p>
Accionar paso de granos	 <p>Servomotor</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Analizar presencia de granos en la entrada	 <p>Sensor de proximidad fotoeléctrico reflectivo</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico en barrera</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>
Medir contenido del recipiente	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	 <p>Sensor de varilla rígida y flexible</p>	 <p>Membrana sensitiva</p>
Cocinar granos	 <p>Sistema rotatorio de cocción mediante aceite</p>	 <p>Sistema de cocción mediante flujo de aire caliente</p>	 <p>Sistema de cocción mediante microondas</p>
Accionar mecanismo de preparación	 <p>Servomotor</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>


Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Accionar descarga	 <p>Servomotor</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>
Analizar presencia de granos a la salida	 <p>Sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	
Descargar granos hacia recipiente	 <p>Transporte mediante tuberías internas</p>	 <p>Sistema basculante</p>	 <p>Sistema de espiras rotatorias</p>
Accionar apagado de la máquina	 <p>Manualmente</p>	 <p>Módulo Relé inalámbrico</p>	 <p>Interruptor wifi</p>

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Retirar granos cocidos de la máquina	 <p>Salida hacia un envase exterior</p>	 <p>Compuerta deslizable a la salida con sistema de apertura</p>	 <p>Depósito interno extraíble</p>
Controlar variables	 <p>Computador de placa reducida</p>	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>FPGA</p>

Subsistema de energía

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Energizar	 +  Interruptor termomagnético + Fuente de alimentación lineal	 +  Interruptor termomagnético + Fuente de alimentación conmutada	 +  Interruptor rotativo + Fuente de alimentación regulable
Acondicionar energía - BCI			
Acondicionar energía - control	 Regulador de tensión electromecánico	 Regulador de voltaje conmutado	 Regulador de tensión lineal
Acondicionar energía - sensores			
Acondicionar energía - actuadores			
Accionar parada de emergencia	 Interruptor de seguridad NVR	 Interruptor de palanca	 Interruptor inalámbrico

Subsistema de Interfaz de usuario

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Mostrar datos de entrada (indicaciones para usuario, configuración para establecer escala relativa)			
Indicar inicio de proceso para lectura de señales del EEG	Ordenador de placa reducida	Computadora de escritorio	Computadora portátil
Indicar encendido de la BCI			
Mostrar estado de la máquina	 Pantalla LCD +  Indicadores sonoros	 Indicadores LED +  Indicadores sonoros	 Pantalla LCD TFT

I.4. CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

Concepto de solución 1

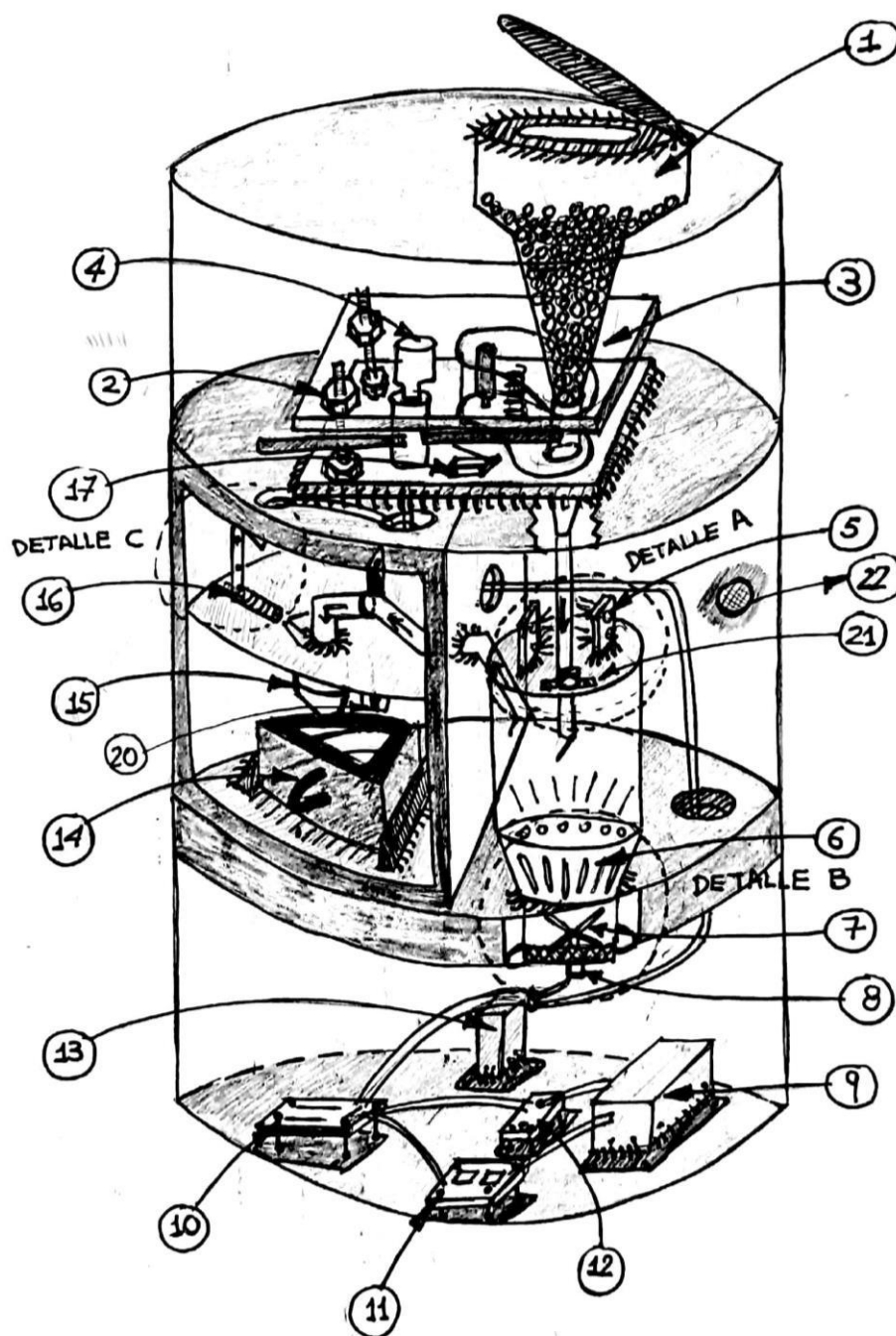


Figura I- 1. Concepto de solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla I- 1. Leyenda de la figura I-1.

Fuente: Elaboración propia

1	Recipiente contenedor
2	Tornillos de ajuste para sistema dosificador
3	Mecanismo dosificador
4	Servomotor
5	Sensor fotoeléctricos emisor – receptor
6	Calentador enfundado
7	Ventilador
8	Motor DC
9	Fuente de alimentación lineal
10	Microcontrolador
11	Módulo Relé inalámbrico
12	Regulador de voltaje conmutado
13	Drivers y tarjetas
14	Recipiente interno extraíble
15	Boquilla de salida
16	Sensor infrarrojo
17	Sensor de fin de carrera
18	Pantalla TFT táctil
19	Parlante
20	Sensor de ultrasonido
21	Termocupla tipo K

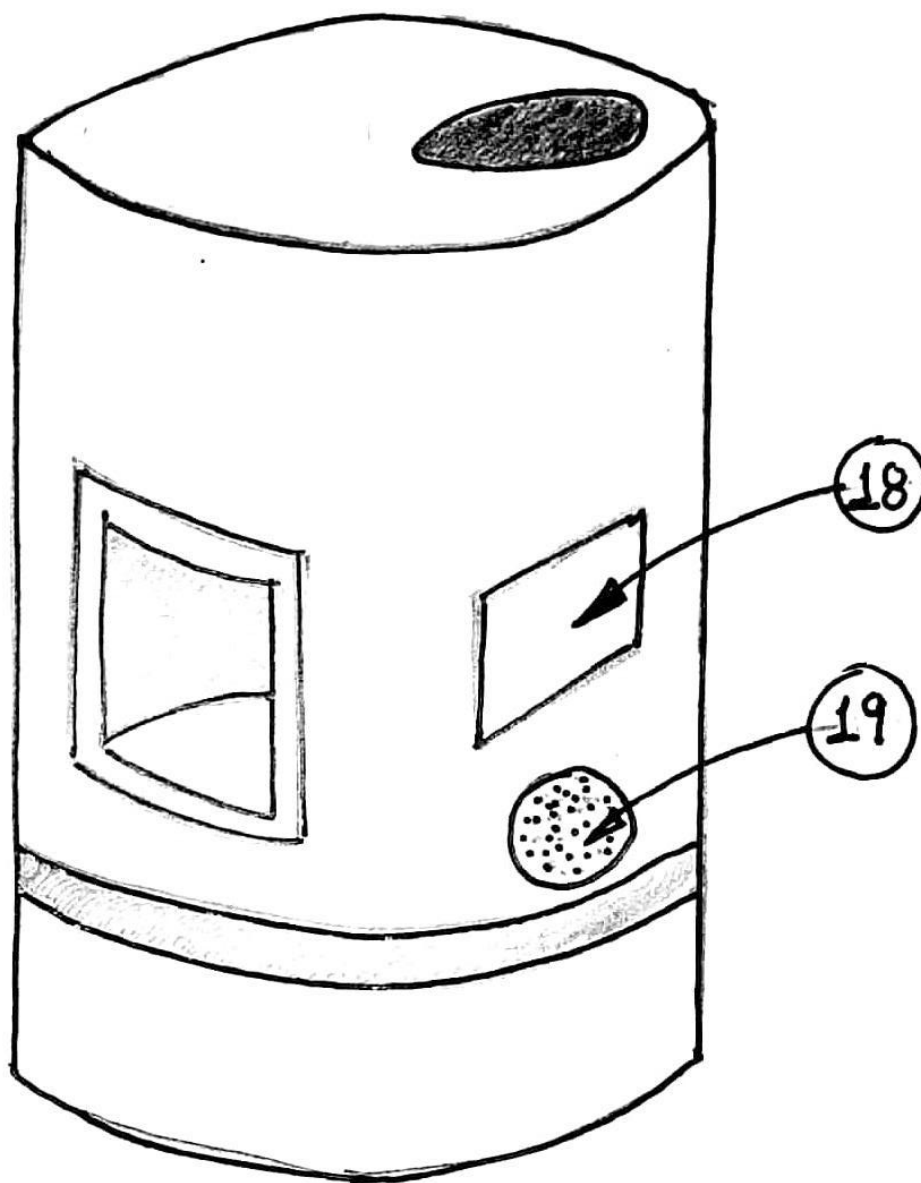


Figura I- 2. Diseño exterior del concepto de solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

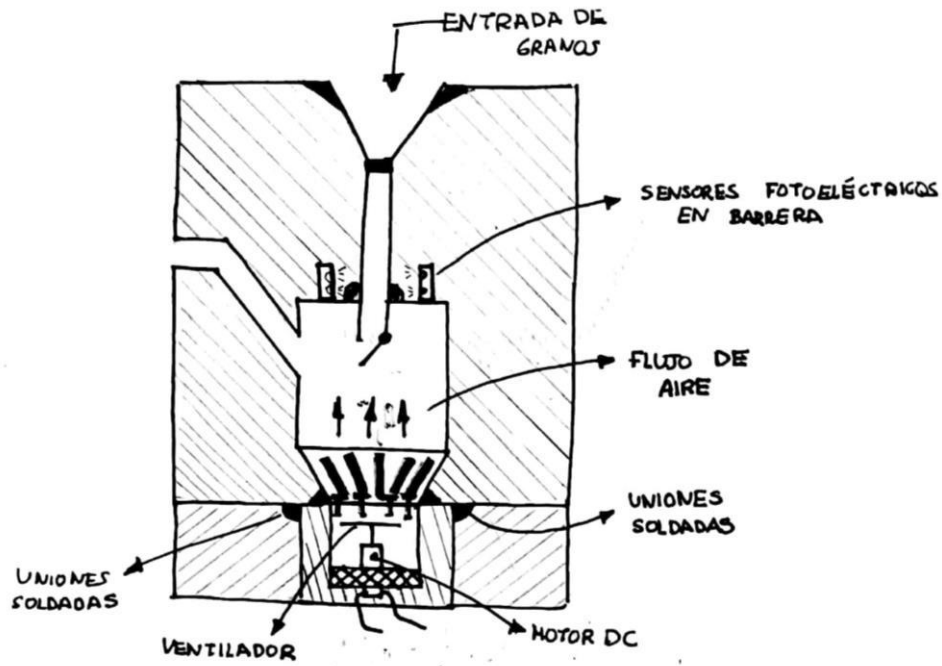


Figura I- 3. Detalle A de la figura I-3: Sistema de preparación del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

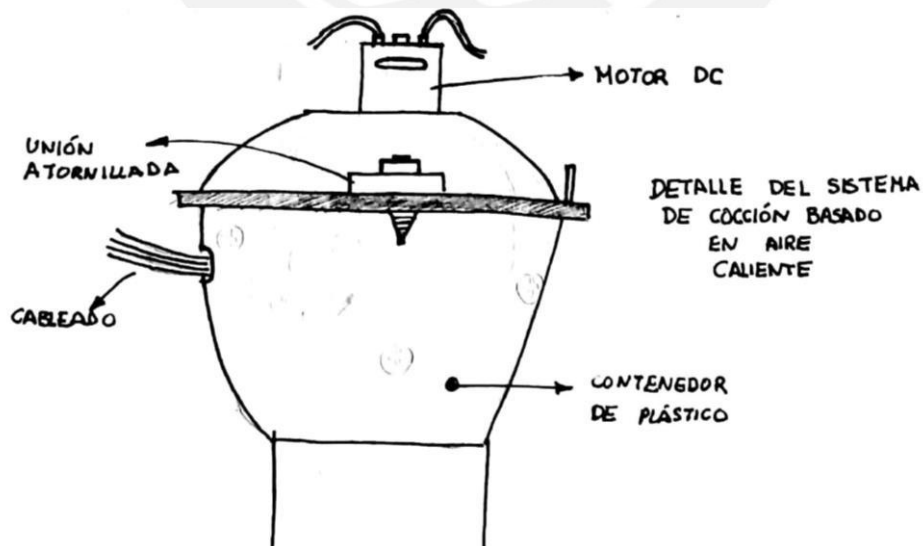


Figura I- 4 .Detalle B de la figura I-1: Motor que va conectado al ventilador.

Fuente: Elaboración propia.

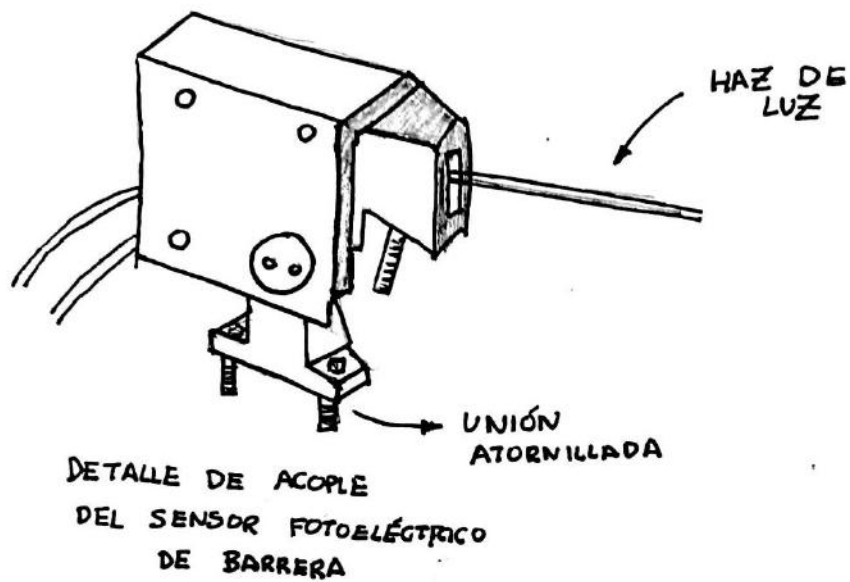


Figura I- 5. Acople del sensor fotoeléctrico de barrera. Fuente: Elaboración propia.

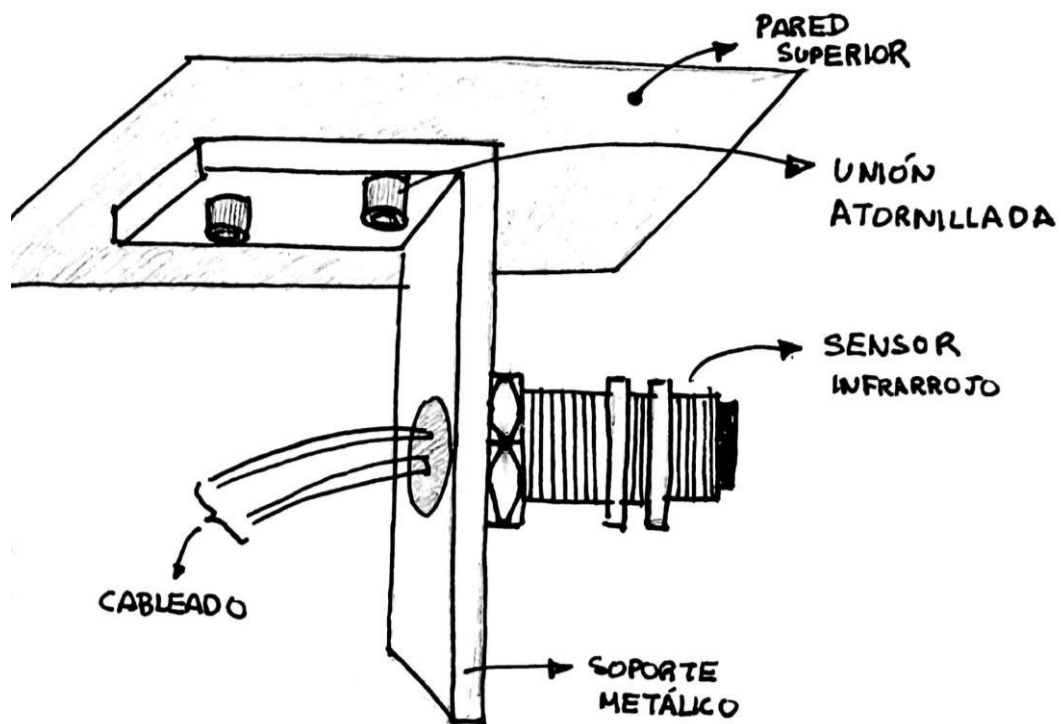


Figura I- 6. Detalle C de la figura I-1: Soporte para sensor inductivo.

Fuente: Elaboración propia.

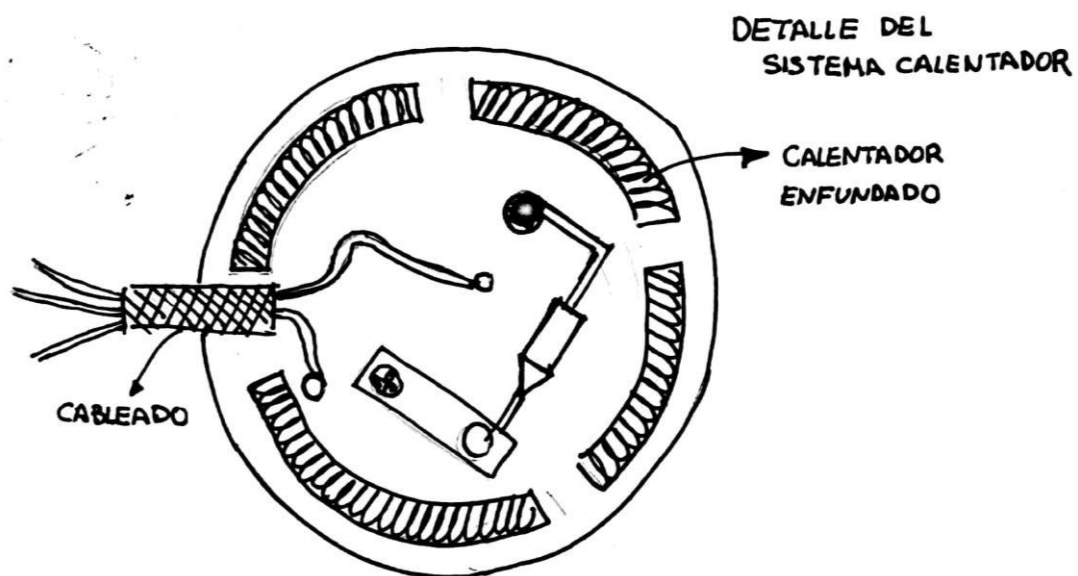


Figura I- 7. Elemento Calentador que forma parte del detalle B.

Fuente: Elaboración propia.

Concepto de solución 2

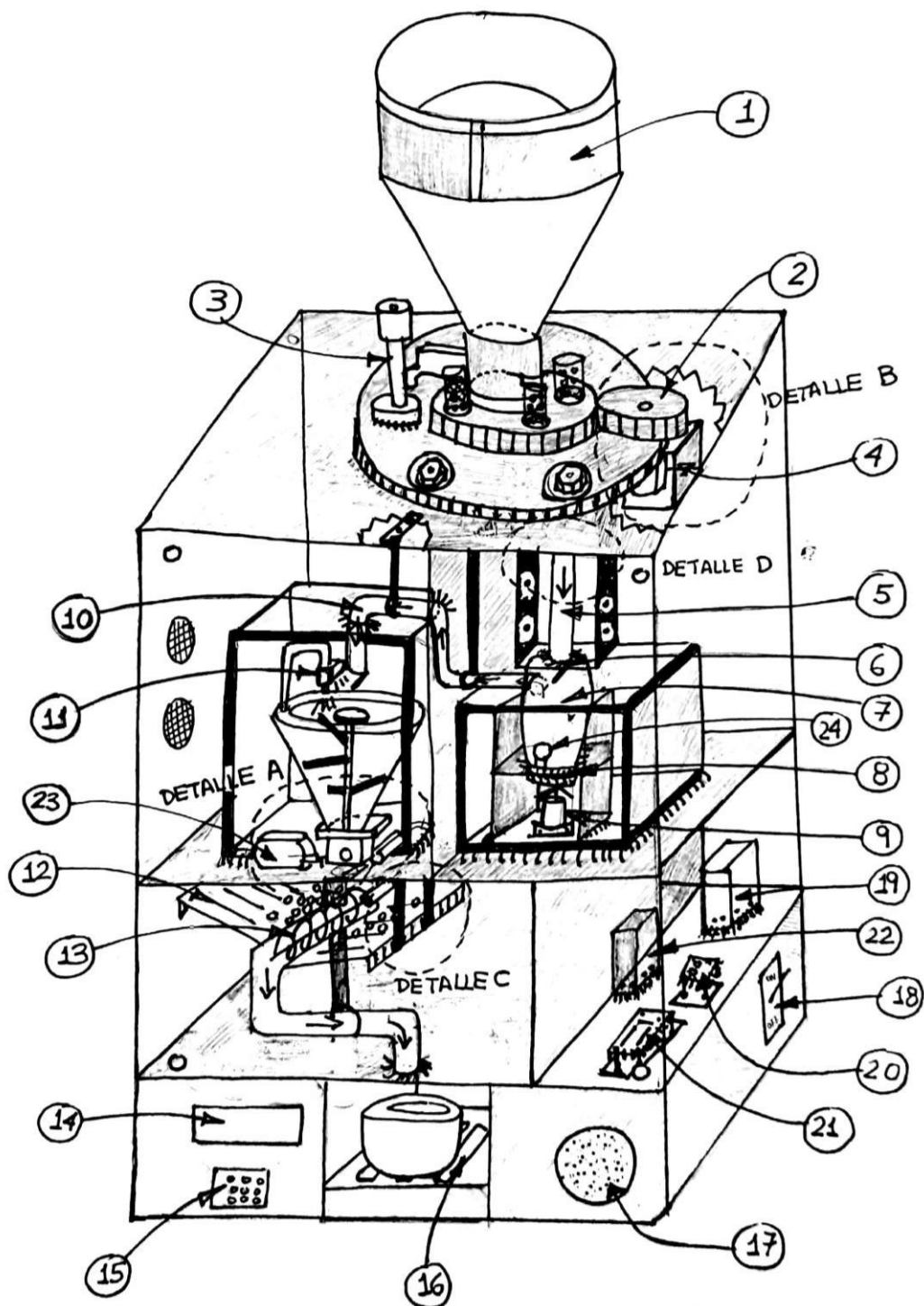


Figura I- 8. Concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla I- 2. Leyenda de la figura I-8. Fuente: Elaboración propia.

1	Recipiente contenedor con porciones preestablecidas
2	Sistema de engranajes
3	Sistema dosificador circular
4	Motor a pasos
5	Manguera de transporte
6	Compuerta de entrada
7	Recipiente de preparación
8	Calentador en aletas
9	Ventilador accionado por un motor DC
10	Manguera de transporte
11	Sensor ultrasónico
12	Tolva de descarga
13	Espiras rotatorias accionadas por un motor a pasos
14	Pantalla LCD
15	Botonera
16	Bandeja
17	Parlante
18	Interruptor de emergencia
19	Regulador de tensión lineal + Fuente de alimentación conmutada
20	Interruptor WIFI
21	Computador de placa reducida
22	Drivers y tarjetas
23	Servomotor
24	RTD

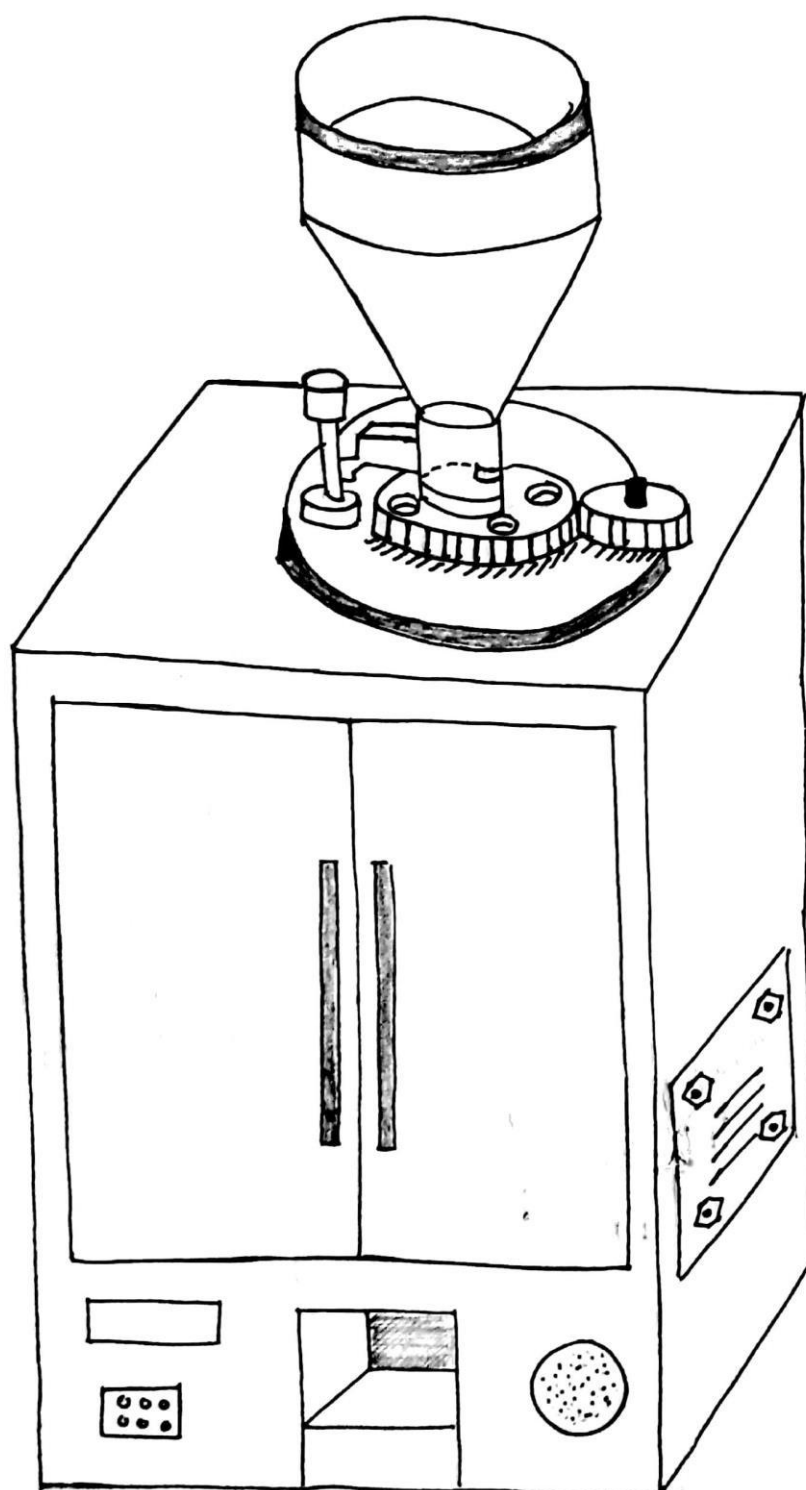


Figura I- 9. Diseño exterior del concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

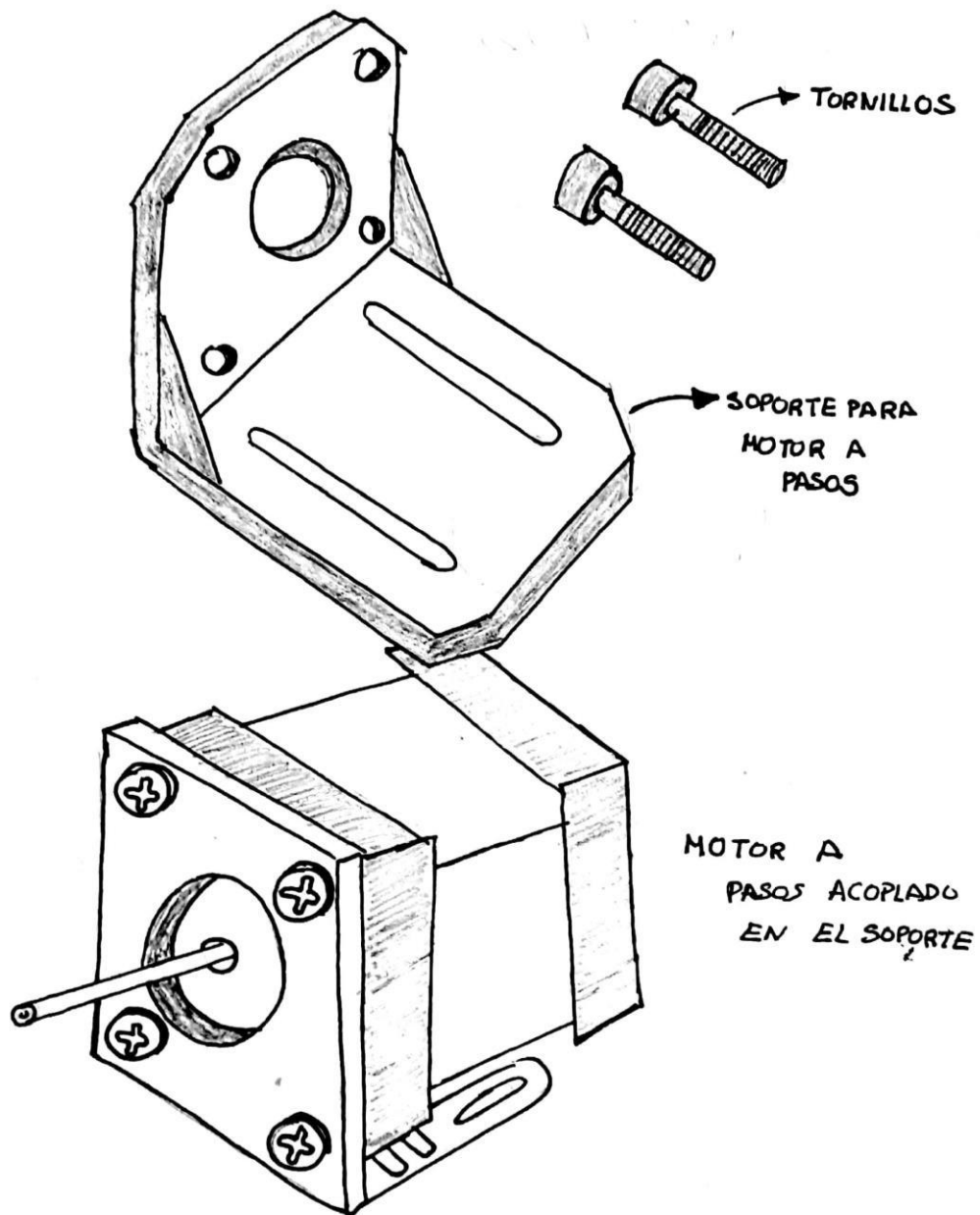


Figura I- 10. Detalle A de la figura I-8: Soporte para motor.

Fuente: Elaboración propia.

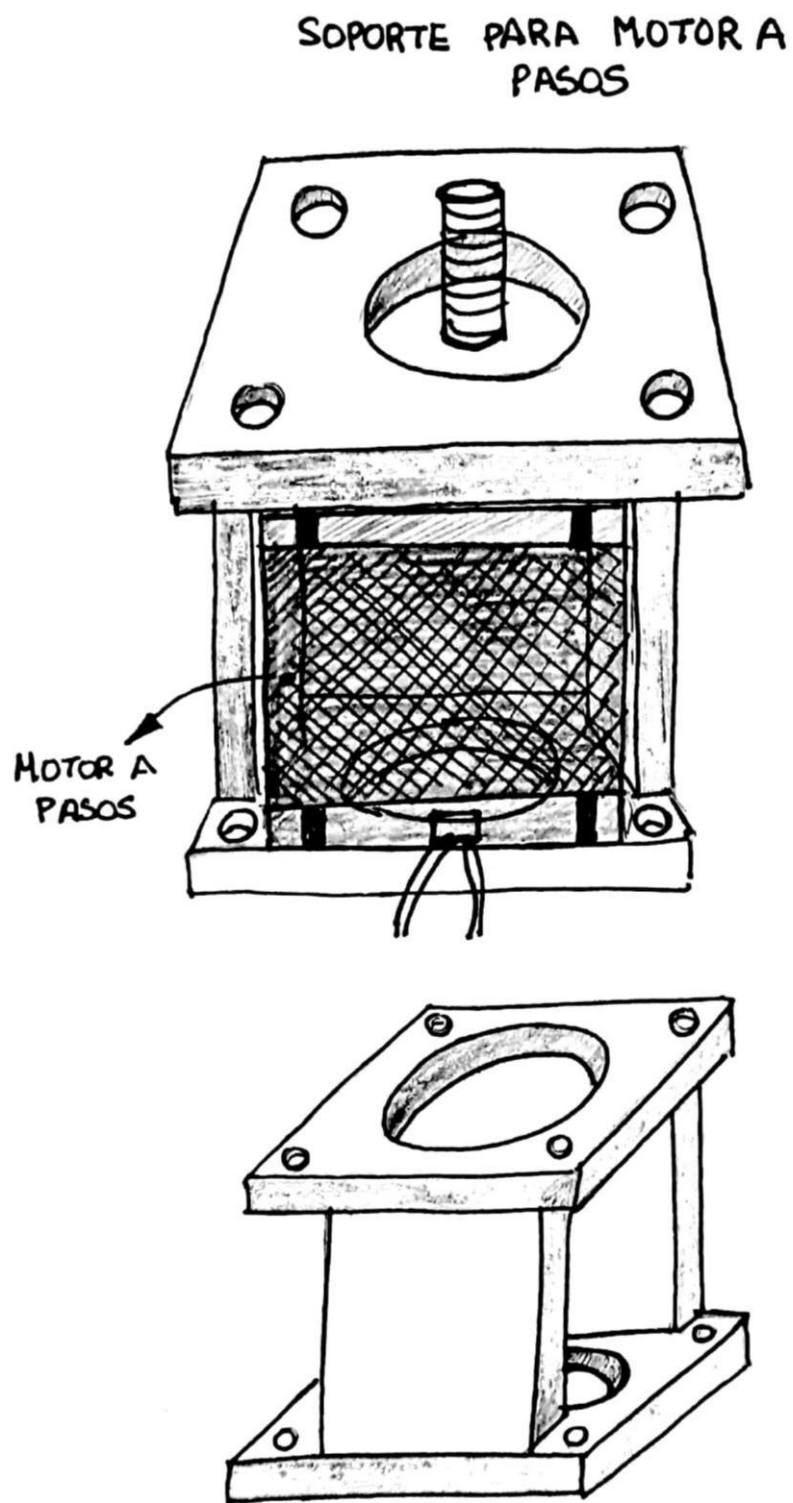


Figura I- 11. Detalle B de la figura I-8: Soporte para el servomotor.

Fuente: Elaboración propia.

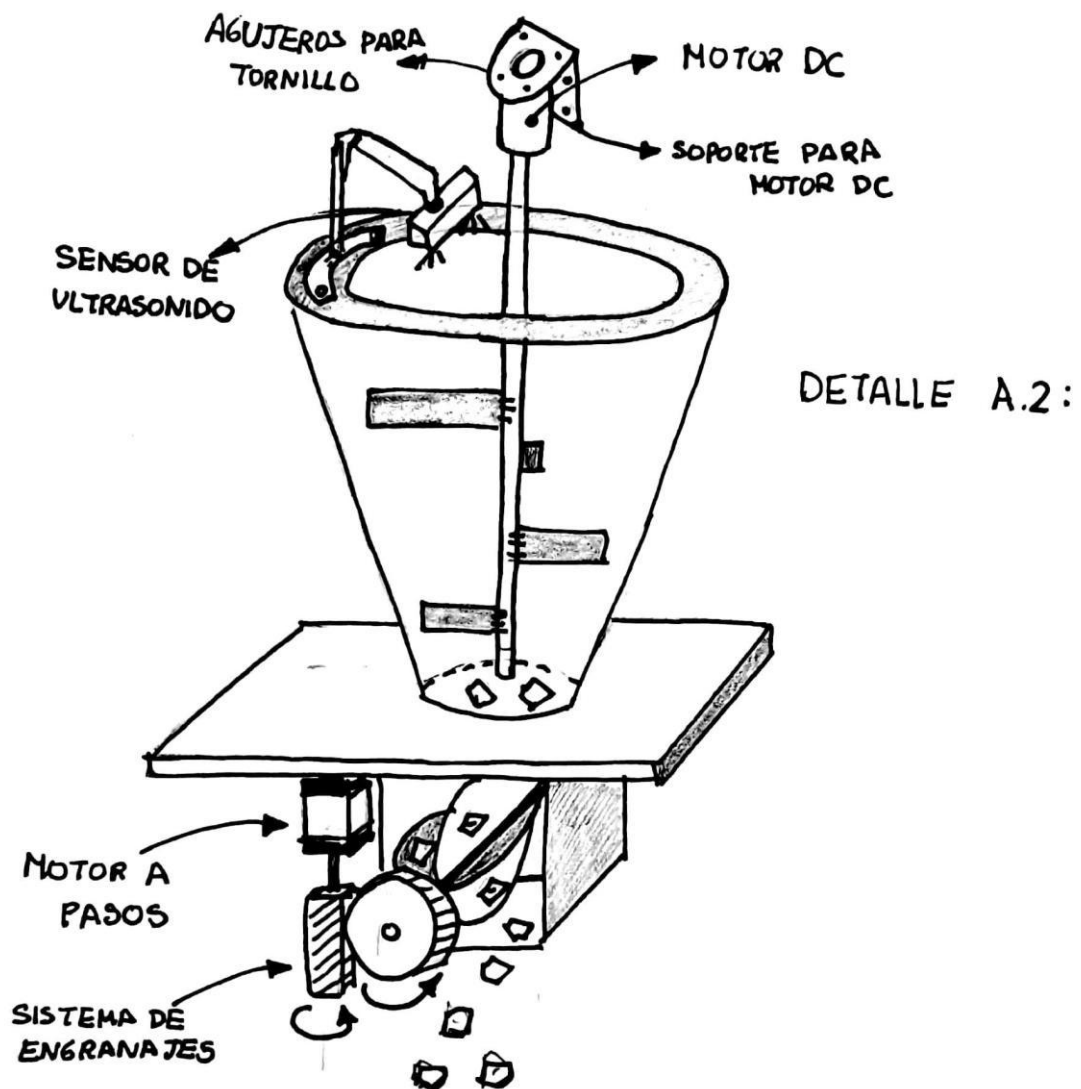


Figura I- 12. Detalle A.2 del principio de funcionamiento del sistema de organización de granos y dosificación

Fuente: Elaboración propia.

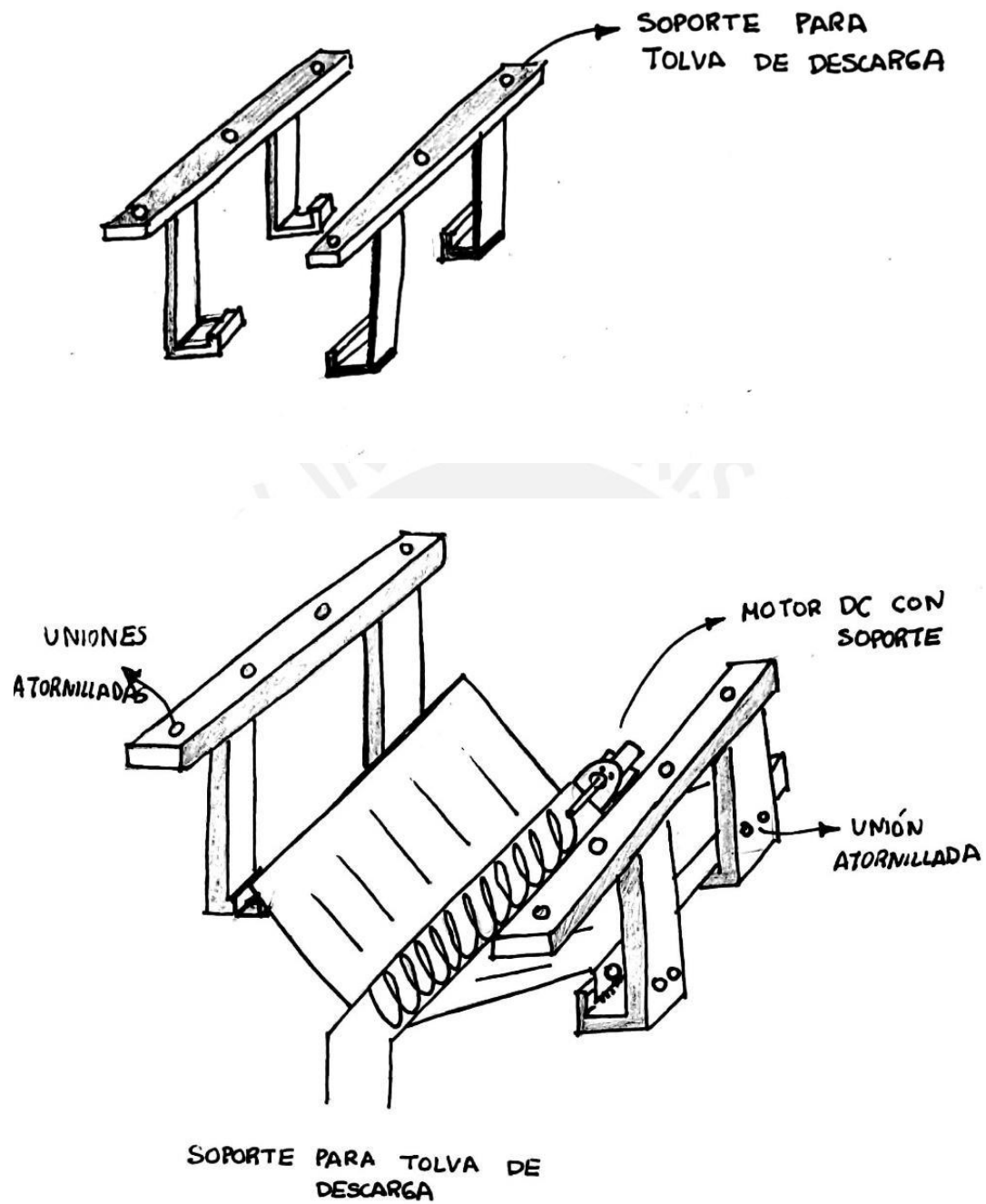


Figura I- 13. Detalle C de la figura I-8.

Fuente: Elaboración propia.

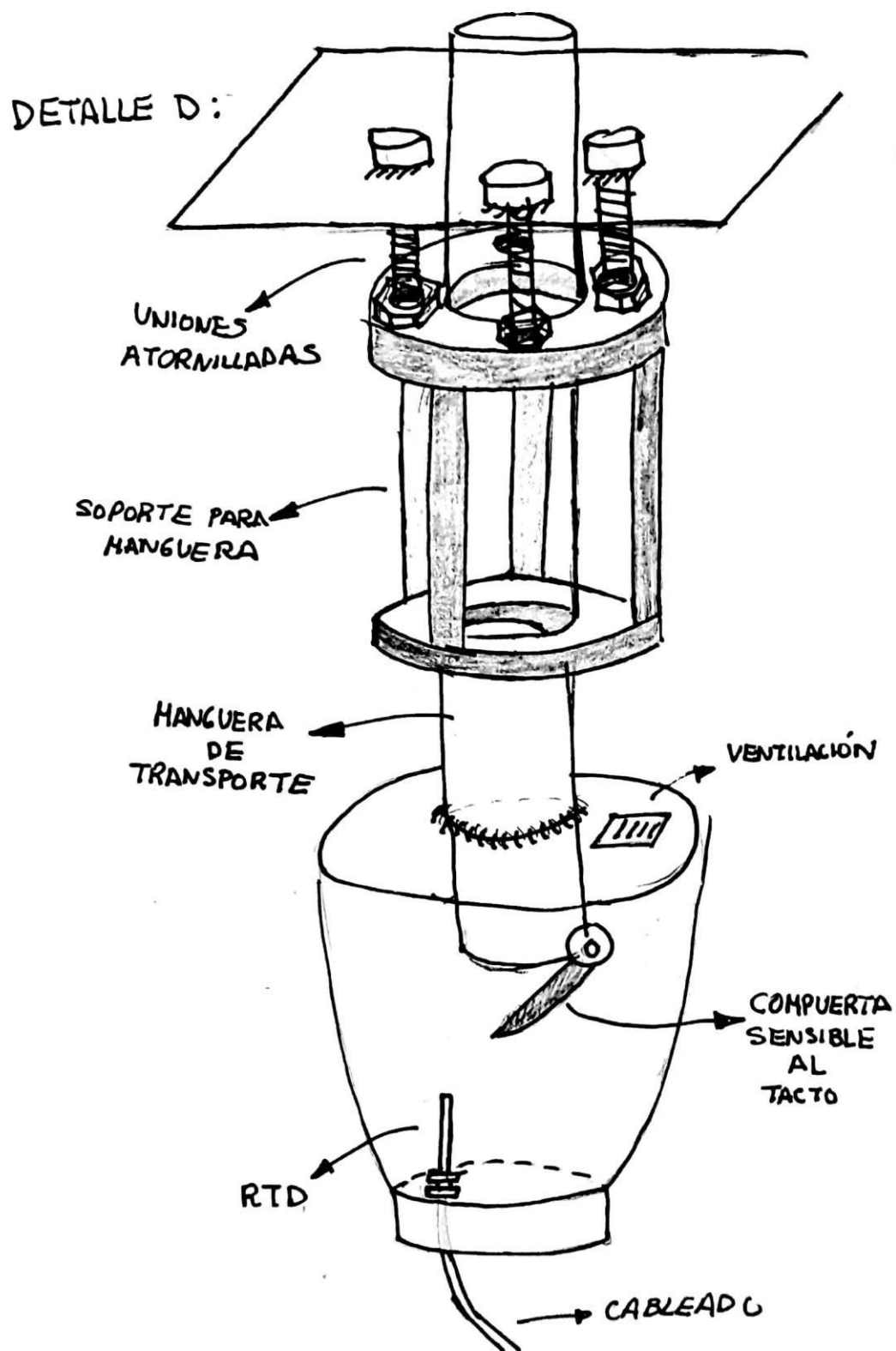


Figura I- 14. Detalle D del acceso al sistema de preparación de la figura I-8.

Fuente: Elaboración propia.

Conceptos de solución 3

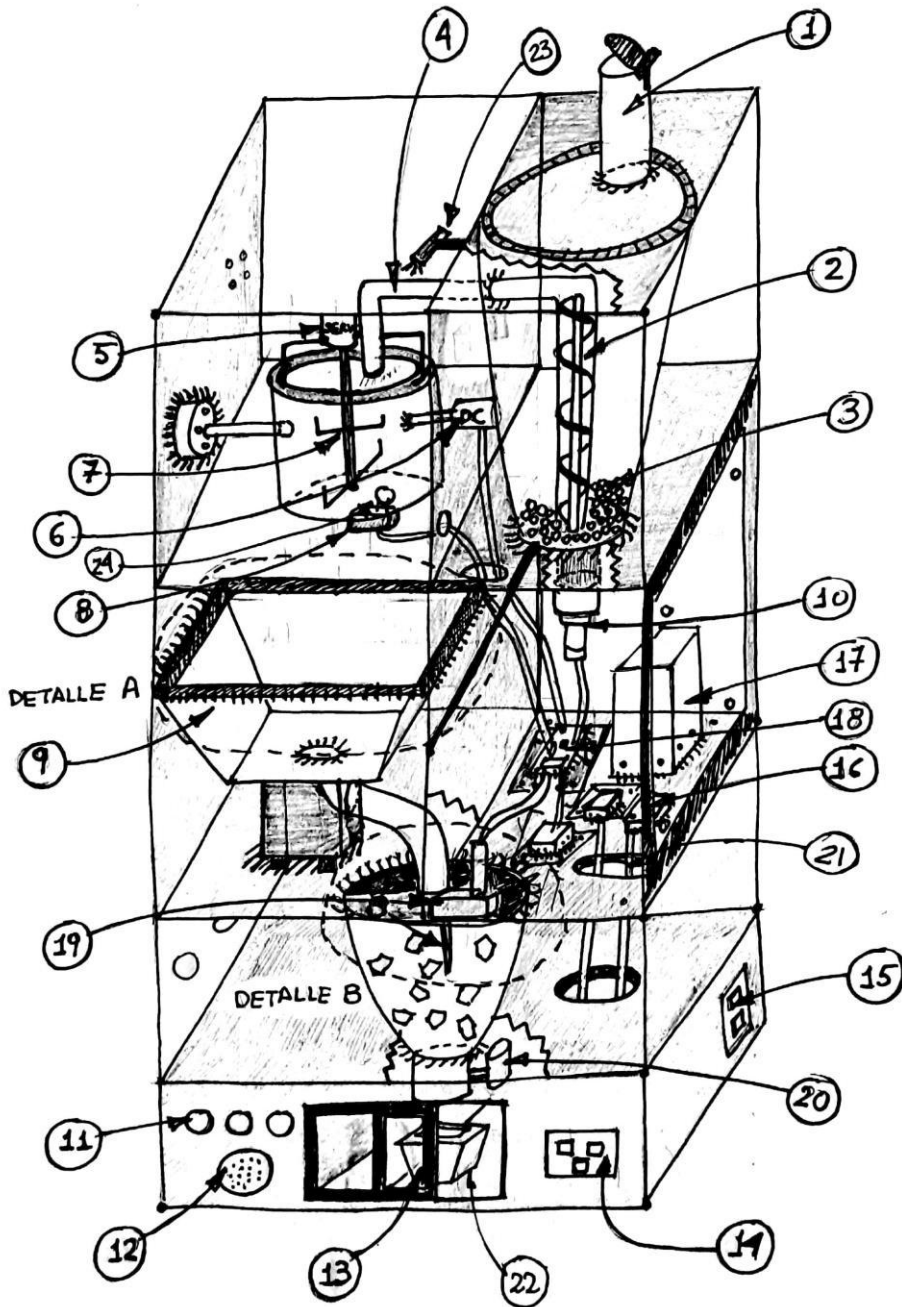


Figura I- 15. Concepto de solución 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla I- 3. Leyenda para las figuras I-13 e I-14. Fuente: Elaboración propia.

1	Tubo de entrada con apertura
2	Sistema de espiras giratorias
3	Granos de maíz
4	Tubo transportador
5	Servomotor
6	Motor DC
7	Varillas rotatorias metálicas
8	Calentador de recipientes
9	Tolva de descarga
10	Motor a pasos
11	Indicador LED
12	Parlante
13	Compuerta deslizante
14	Botoneras
15	Interruptor de seguridad NVR
16	Módulo Relé Inalámbrico
17	Fuente de alimentación regulable + Regulador de tensión electromecánico
18	Microcontrolador
19	Sensor de varilla vibrante
20	Válvula solenoide
21	Acceso a cableado
22	Recipiente externo
23	Sensor de proximidad infrarrojo
24	RTD

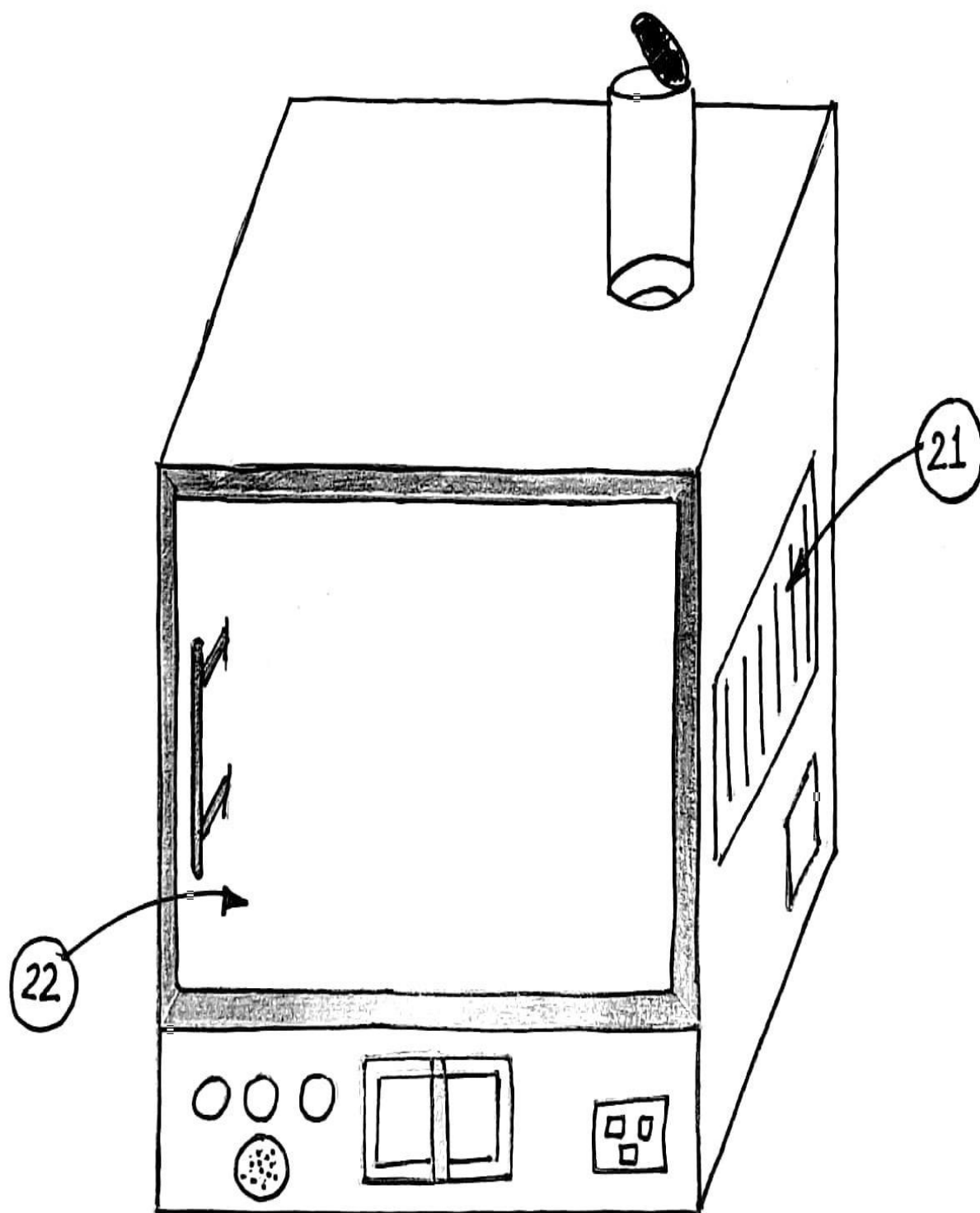


Figura I- 16. Diseño exterior del concepto de solución 3.

Fuente: Elaboración propia.

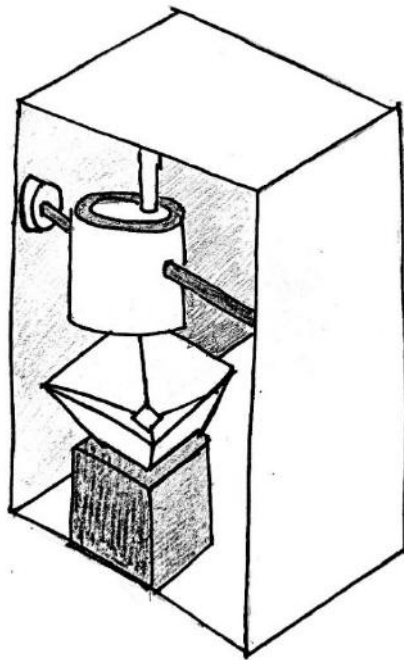


Figura I- 17. Detalle A.1 de la figura I-15.

Fuente: Elaboración propia.

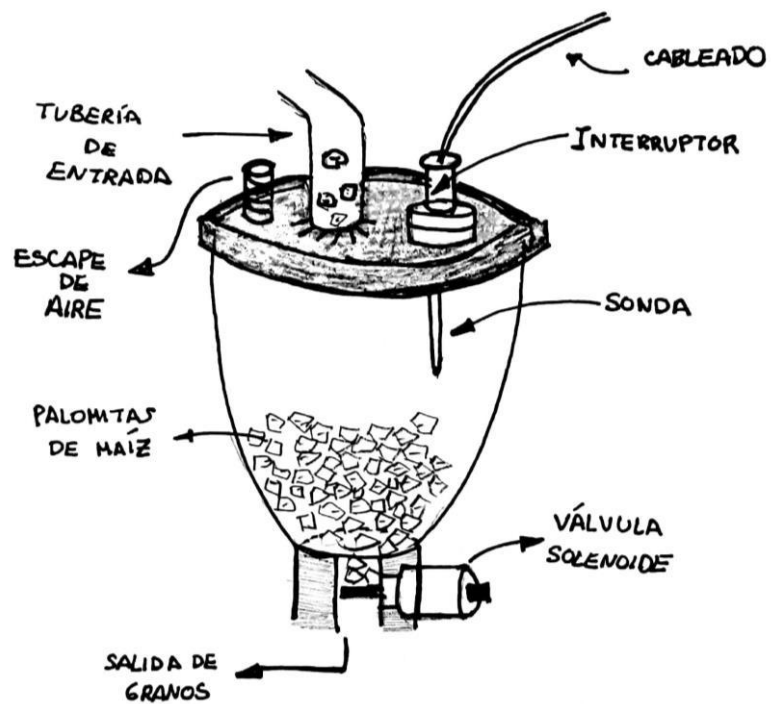


Figura I- 18. Detalle B del sistema de descarga de la figura I-15.

Fuente: Elaboración propia.

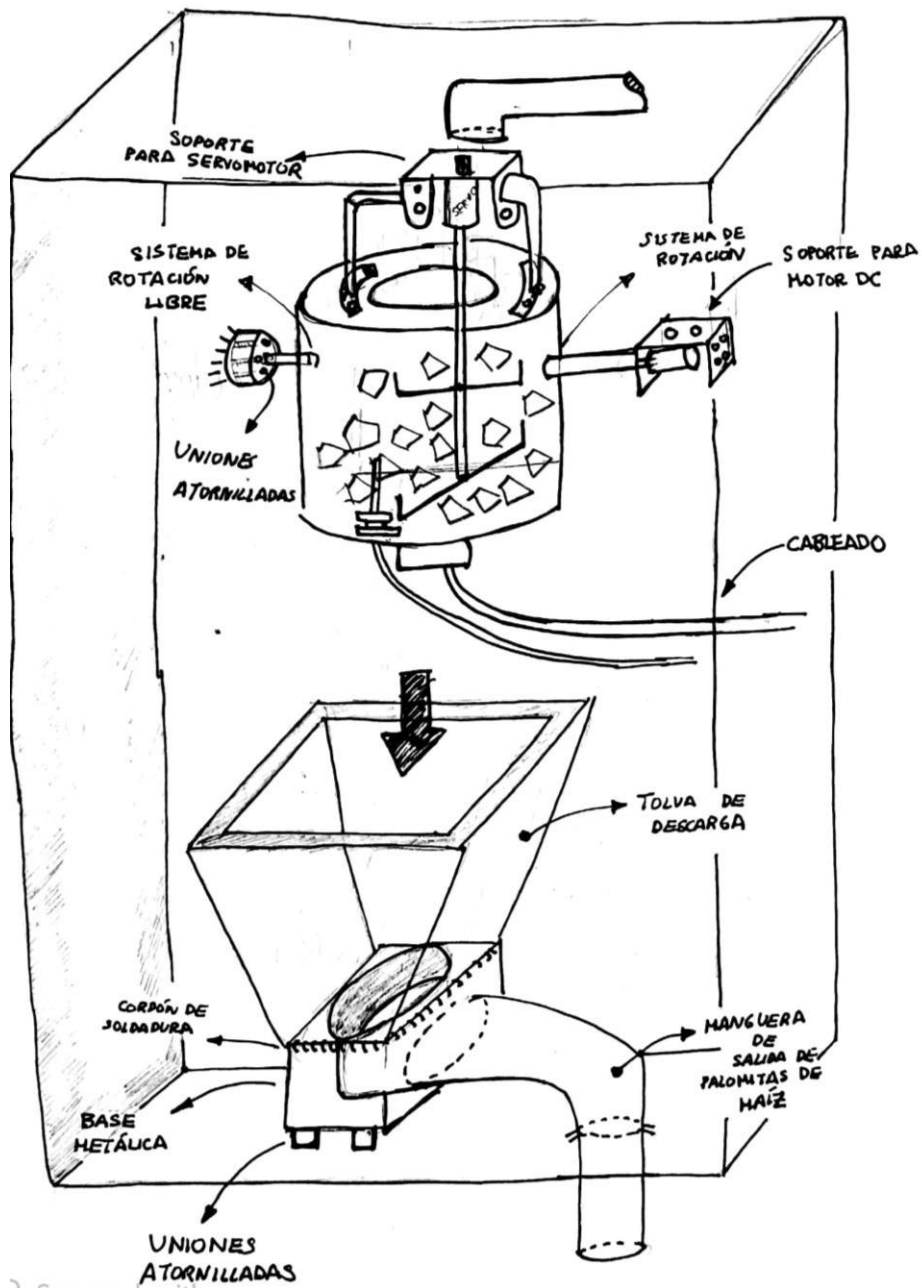


Figura I- 19. Detalle A.2 del sistema de preparación de la figura I-15.

Fuente: Elaboración propia.

I.4 Selección del concepto óptimo

Descripción de los criterios técnicos

- a. Seguridad: si el diseño de la máquina es seguro para poder cuidar la integridad del operador.
- b. Automatización de procesos: grado en que la máquina puede operar sin la necesidad de un usuario.
- c. Facilidad de montaje y desmontaje: sencillez para el montaje de la máquina para la realización de las labores de mantenimiento.
- d. Frecuencia de mantenimiento: cada cuánto tiempo se deberán realizar labores de mantenimiento a la máquina para que opere correctamente.
- e. Eficiencia: si la máquina emplea menos energía para preparar una porción de palomitas de maíz.
- f. Espacio ocupado: si el tamaño de la máquina es adecuado
- g. Transportabilidad: facilidad para trasladar la máquina de un espacio a otro.
- h. Tiempo de preparación de alimentos: tiempo requerido por la máquina para cocinar las palomitas de maíz.
- i. Facilidad de uso: grado de complejidad para operar la máquina por un operario, para ser operado y entendido de forma óptima.
- j. Complejidad en el control: si el diseño e implementación de los algoritmos de control aplicados a la máquina consume la menor cantidad de recursos en la capacidad de procesamiento.
- k. Ergonomía: si el diseño de la máquina toma en cuenta las características físicas del usuario.
- l. Capacidad de almacenamiento: cantidad de granos que pueden ser almacenados dentro de la máquina.

Descripción de los criterios económicos

- a. Costo de la tecnología: monto del presupuesto empleado para la adquisición de sensores, actuadores y mecanismos.
- b. Costos de mantenimiento: precio destinado para los gastos de mantenimiento de la máquina, los cuales deberán realizarse periódicamente para garantizar un funcionamiento adecuado.

- c. Cantidad de piezas mecánicas: cantidad de piezas que emplea la máquina para funcionar.
- d. Costo de fabricación: monto del presupuesto a emplear para el montaje y fabricación de la máquina.
- e. Costo energético: monto del presupuesto destinado a cubrir la energía consumida por la máquina.
- f. Costo de componentes: costo total de cada uno de los componentes que deben ser adquiridos para la fabricación de la máquina.
- g. Facilidad de obtención de materiales/componentes: disponibilidad en el mercado para obtener los componentes y materiales necesarios para la fabricación de la máquina.

Tabla I- 4. Evaluación técnica de los conceptos propuestos. Fuente: Elaboración propia.

p: puntaje de 0 a 4 (Según la escala de la norma VDI 2225)											
0 = No satisface, 1 = Poco Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Ideal											
g = peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación (pesos de 1 a 3)											
TÉCNICOS			Solución 1			Solución 2		Solución 3		Ideal	
N°	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg	
1	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
2	Automatización de procesos	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
3	Frecuencia de montaje y desmontaje	3	3	9	1	3	2	6	4	12	
4	Facilidad de mantenimiento	3	3	9	2	6	2	6	4	12	
5	Eficiencia	3	3	9	2	6	2	6	4	12	
6	Espacio ocupado	3	3	9	2	6	2	6	4	12	
7	Transportabilidad	3	3	9	2	6	2	6	4	12	
8	Tiempo de cocción	2	2	4	2	4	2	4	4	8	
9	Facilidad de uso	2	3	6	3	6	2	4	4	8	
10	Complejidad en el control	2	3	6	2	4	2	4	4	8	
11	Ergonomía	2	3	6	3	6	2	4	4	8	
12	Almacenamiento	1	2	2	3	3	3	3	4	4	
Puntaje máximo		30	34	87	28	68	27	67	48	120	
Valor técnico			0,725			0,567		0,558		1,000	

Tabla I- 5. Evaluación económica de los conceptos propuestos. Fuente: Elaboración propia.

p: puntaje de 0 a 4 (Según la escala de la norma VDI 2225)										
0 = No satisface, 1 = Poco Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Ideal										
g = peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación (pesos de 1 a 3)										
ECONÓMICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
N°	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Costo de la tecnología	3	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Costos de mantenimiento	3	2	6	2	6	3	9	4	12
3	Cantidad de piezas mecánicas	3	3	9	1	3	2	6	4	12
4	Costo de fabricación	3	3	9	2	6	3	9	4	12
5	Costo energético	2	3	6	2	4	3	6	4	8
6	Costo de componentes	2	3	6	2	4	3	6	4	8
7	Facilidad de obtención de materiales/componentes	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Puntaje máximo		18	19	49	13	33	19	49	28	72
Valor técnico			0,681		0,458		0,681		1,000	

Seguidamente, el análisis de la solución óptima se realiza mediante la realización de la gráfica de valoración técnica- económica, presentada en la figura 3-10. La mejor solución será aquella que se encuentre ubicada en la parte superior derecha y se encuentren más cercana a la recta de 45° , la recta de la solución ideal. Por lo tanto, luego de la evaluación se eligió la solución N° 1, pues es la que cumple con las condiciones antes dadas.

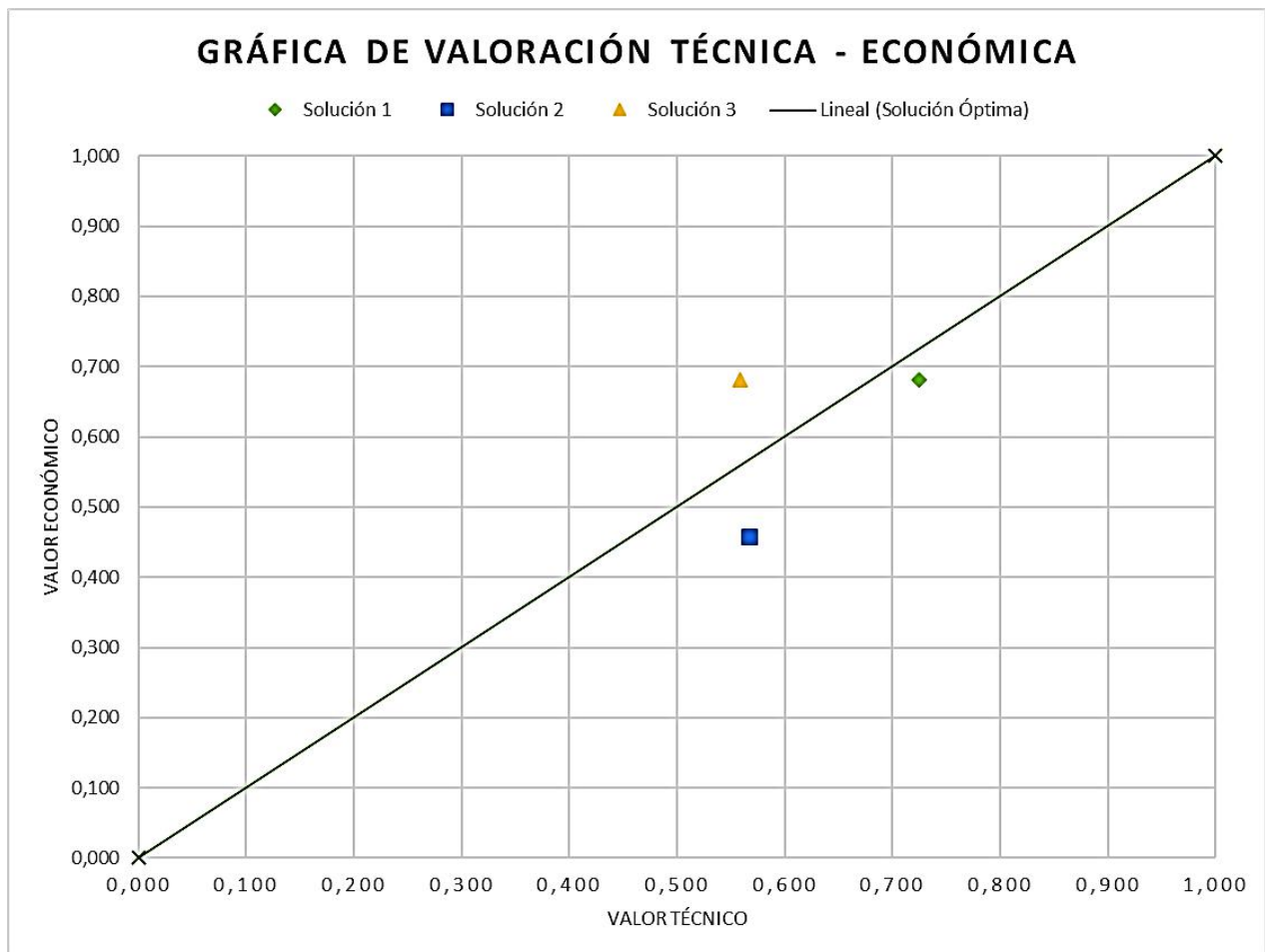


Figura I-1. Gráfica de evaluación de los criterios técnicos y económicos.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo J: Implementación del prototipo del sistema mecatrónico integrado

Para realizar las pruebas del algoritmo en tiempo real, se realizó un prototipo para mostrar el funcionamiento básico del sistema, realizando la escena que se muestra en la Figura J-1, el cual consiste en la computadora encargada de procesar las señales EEG grabadas con el casco EEG g.Nautilus y una máquina comercial de cocción de granos de maíz adaptada con un microcontrolador Arduino Mega 2560 junto con los componentes electrónicos necesarios para generar la activación e iniciar el proceso de preparación.

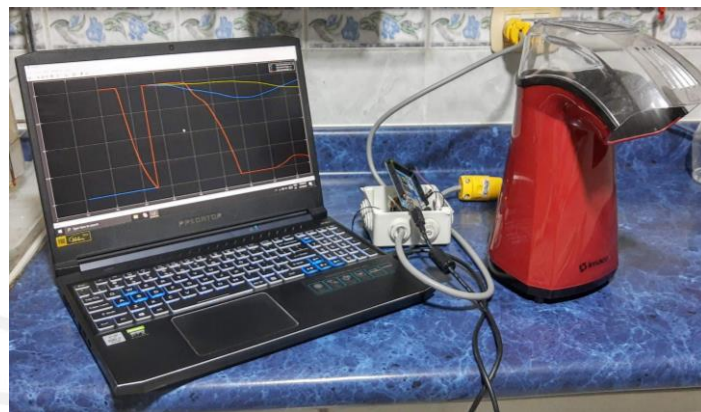


Figura J-1. Prototipo para mostrar el funcionamiento básico del sistema. Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento del prototipo se realizó siguiendo la lógica de programación que se presenta en el diagrama de flujo de la Figura J-2, donde se indican las rutinas realizadas por la BCI y la máquina de cocción de granos de maíz.

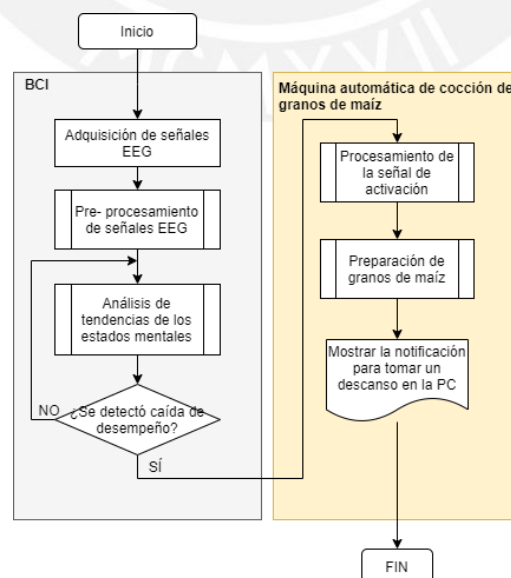


Figura J-2. Diagrama de flujo del prototipo. Fuente: Elaboración propia.