

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**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**

Trabajo de investigación para la obtención del grado de bachiller en ciencias con
mención en
Ingeniería mecatrónica

AUTOR

Jorge Armando Ramírez Castillo

ASESOR:

Juan Manuel Chau Delgado

Lima, Julio, 2020



© 2019, 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

Invertir largas horas en realizar una actividad académica sin tomar descansos, resulta siempre en una caída de rendimiento. Esto fue confirmado por un estudio realizado por la revista *Harvard Business Review*, el cual afirma que estar realizando una misma actividad durante largos periodos puede generar problemas como estrés, ansiedad, problemas de memoria, entre otros (Carmichael, 2015), que impiden que se continúe adecuadamente con las actividades que se están realizando. Asimismo, los descansos que se toman no son efectivos, pues parte de ese tiempo es ocupado, por ejemplo, para preparar alimentos o revisar el celular, no tomando un respiro para retomar las labores de la mejor manera. Ante esta problemática, el objetivo principal del presente trabajo se basa en la realización del diseño conceptual óptimo de un sistema integrado por una máquina automática para cocción de un alimento saludable sin necesidad de ser supervisada por un usuario, como lo son los granos de maíz y su sistema de activación mediante una interfaz cerebro-computador (BCI), para decodificar la actividad cerebral y detectar el momento en que se produce una caída de rendimiento, enviando un comando a la máquina para su activación, para así comenzar con el procedimiento de preparación, dando un aviso al usuario para que tome el descanso una vez que el alimento esté listo. La metodología del diseño empleada para la realización del presente trabajo de investigación está basada en la norma VDI 2206, para el diseño de sistemas mecatrónicos.

Dedicado a los estudiantes universitarios
que día a día se esfuerzan por alcanzar sus metas...



Agradecimientos

Agradezco a mi familia por el apoyo constante durante mi vida universitaria. A los profesores que me inculcaron enseñanzas durante mis años de estudio en la universidad. Al profesor Juan Chau Delgado por el continuo apoyo durante la elaboración del presente trabajo de investigación. Y al laboratorio de Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada (LIBRA) por prestarme el equipo g.Nautilus y una sala para realizar las sesiones experimentales.

Índice De Contenido

Resumen.....	iii
Agradecimientos	v
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Introducción	1
Antecedentes	3
1.1 Descripción Del Problema	3
1.2 Propuesta De Solución.....	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Alcance.....	10
1.5 Metodología	11
Estado Del Arte.....	12
2.1 Interfaces Cerebro-Computador.....	13
2.1.1 Tipos de BCI	13
2.1.2 Componentes de una BCI.....	15
2.1.3 Rendimiento de una BCI.....	16
2.2 Métodos Para La Adquisición De Señales	17
2.2.1. Electroencefalografía (EEG).....	18
2.3 Métodos Para La Extracción De Características.....	22
2.3.1. En el dominio del tiempo	22

2.3.2. En el dominio de la frecuencia.....	23
2.3.3. En el dominio tiempo – frecuencia	24
2.4. Estudios realizados para la detección de estados mentales	25
2.5 Aplicaciones actuales de una BCI en el campo de los estados mentales	30
2.5 Dispositivo EEG Para La Adquisición De Señales Cerebrales.....	33
2.6 Actuador Del Sistema: Máquina Para Preparación De Palomitas De Maíz.....	34
2.6.1 Máquinas de palomitas de maíz comerciales basadas en aire caliente	35
2.6.2 Máquinas de palomitas de maíz comerciales basadas en aceite	35
2.7 Patentes	36
2.7.1 Patente “Hot air corn popper” - US4152974A.....	36
2.7.2 Patente “Popcorn popper having improved heated air flow” - US4702158A.....	37
2.7.3 Patente “Automatic popcorn popper with termal controller” - UAS5743172A.....	38
2.7.4 Patente “Fresh popcorn vending machine” – US3641916A.....	38
2.7.4 Patente “Automatic popcorn vending machine” – US 20060288876A1 ..	39
2.8 Sensores.....	40
2.8.1 Sensores de temperatura.....	40
2.8.2 Sensores de proximidad	41
2.9.1 Motores para ventilación.....	41
2.9.2 Calentador	42
Diseño Conceptual	43
3.1 Lista De Exigencias.....	43
3.2 Estructura De Funciones	44
3.2.1 Blackbox	44

3.2.2 Lista de funciones	45
3.3 Matriz Morfológica	47
3.4 Diseño Del Concepto Óptimo Del Primer Componente Del Sistema	47
3.4.1 Diseño del entorno de operación del sistema	47
3.4.2 Diseño del concepto N° 1.....	48
3.4.3 Diseño del concepto N° 2.....	50
3.4.4 Diseño del concepto N° 3.....	53
3.4.5 Desarrollo del experimento.....	54
3.5 Selección Del Concepto Óptimo.....	58
3.5.1 Evaluación de conceptos	58
3.5.2 Diseño del concepto óptimo.....	61
3.5.3 Diagrama de operaciones del procedimiento de uso del sistema	61
3.5.4 Diagrama de operaciones del proceso.....	63
3.5.5 Diagrama de flujo del sistema.....	64
Conclusiones	65
Recomendaciones.....	67
Bibliografía	68
Anexos.....	78

Índice de tablas

Tabla 2- 1. Tabla comparativa entre los BCI síncronos y asíncronos.....	14
Tabla 2- 2. Descripción de componentes de una BCI.....	15
Tabla 2- 3. Descripción del tipo de electrodos.....	20
Tabla 2- 4. Tabla comparativa entre método de adquisición de señales.....	22
Tabla 2- 5. Tabla comparativa de máquinas de palomitas de maíz basadas en aire caliente.....	35
Tabla 2- 6. Tabla comparativa de máquinas de palomitas de maíz basadas en aceite caliente.....	36
Tabla 2- 7. Tabla comparativa entre sensores de temperatura.....	40
Tabla 2- 8. Tabla comparativa entre sensores de proximidad.....	41
Tabla 2- 9. Tabla comparativa entre motores.....	42
Tabla 2- 10. Tabla comparativa entre calentadores.....	42
Tabla 3- 1. Flechas para los conceptos de solución para la matriz morfológica.....	47
Tabla 3- 2. Evaluación técnica de los conceptos propuestos.....	59
Tabla 3- 3. Evaluación económica de los conceptos propuestos.....	60

Índice de figuras

Figura 1- 1. Número de horas dedicadas al estudio por día.	6
Figura 1- 2. Número de descansos en las sesiones de estudio por día.	6
Figura 1- 3. Preferencias de los estudiantes durante los tiempos de descanso.	6
Figura 1- 4. Árbol de problemas para la propuesta.	7
Figura 2- 1. Protocolos de operación de una BCI.	14
Figura 2- 2. Estructura de una BCI.	15
Figura 2- 3. Matriz de especificidad.	17
Figura 2- 4. Métodos para el registro de la actividad cerebral.	18
Figura 2- 5. Configuración de un EEG.	19
Figura 2- 6. Configuración de electrodos de acuerdo al sistema 10-20.	20
Figura 2- 7. Estructura de una fMRI.	21
Figura 2- 8. Diferencia entre los valores esperados y obtenidos para los estados mentales de distintos usuarios.	26
Figura 2- 9. Esquema de un bosque aleatorio de clasificación.	27
Figura 2- 10. Filtros espaciales para las señales obtenidas. Las líneas punteadas ilustran los cambios que se producen en las señales para cada una de las tareas asignadas para los usuarios.	28
Figura 2- 11. Arquitectura del sistema BCI basado en EEG empleado en el presente estudio.	29
Figura 2- 12. Aplicaciones de BCI mediante estados mentales.	30
Figura 2- 13. Ambiente en donde operará el robot móvil.	31
Figura 2- 14. Componentes del sistema BCI del estudio de Ghodake.	32
Figura 2- 15. Diseño esquemático del juego.	33
Figura 2- 16. EEG Inalámbrico g.Nutilus.	34

Figura 2- 17. EEG alámbrico basado en electrodos húmedos.	34
Figura 2- 18. Máquina de palomitas de maíz basada en el flujo de aire caliente.....	37
Figura 2- 19. Patente “Popcorn popper having improved heated air flow”.....	37
Figura 2- 20. Patente “Automatic popcorn popper with termal controller” - UAS5743172A.....	38
Figura 2- 21. Patente “Fresh popcorn vending machine” – US3641916A.	39
Figura 2- 22. Patente “Automatic popcorn vending machine” – US 20060288876A1.	40
Figura 3- 1. Blackbox del sistema.....	45
Figura 3- 2. Estructura de funciones del sistema.	46
Figura 3- 3. Configuración para la aplicación del sistema.....	48
Figura 3- 4. Concepto de solución 1.	50
Figura 3- 5. Concepto de solución 2.	52
Figura 3- 6. Concepto de solución 3.	54
Figura 3- 7. Dispositivo EEG g.Nutilus.	55
Figura 3- 8. Gráfica de la ley de Yerkes- Dodson.....	55
Figura 3- 9. Colocación de electrodos.....	56
Figura 3- 10. Gráfica de evaluación de los criterios técnicos y económicos.	60
Figura 3- 11. Vista principal del diseño óptimo.....	61
Figura 3- 12. Diagrama de operaciones del procedimiento de uso de la máquina.....	62
Figura 3- 13. Diagrama de operaciones del proceso.	63
Figura 3- 14. Diagrama de flujo del sistema.	64

Introducción

Los estudiantes universitarios tienden a distraerse con facilidad con sucesos o elementos que no están vinculados a la actividad que están realizando, cometiendo errores absurdos, sintiendo ansiosos, perdiendo el enfoque y la concentración, como consecuencia de invertir largas horas realizando una misma actividad sin descansar, reduciendo su productividad.

Conocer los periodos de descanso es fundamental, porque representa un momento de desconexión de la actividad que se está realizando, de tal manera que se pueda recuperar energía tomando un respiro y consumiendo algún alimento. Pese a todo esto, en la actualidad no existe un sistema que permita integrar la detección de la caída de desempeño de una persona para activar una máquina que prepare un alimento de manera automática, y así tomar descansos efectivos, lo cual implica ahorrar el tiempo que esta se toma para preparar los alimentos y, en lugar de eso, emplearlo para realizar otro tipo de actividades. En los últimos años, las aplicaciones a través de las interfaces cerebro- computador (BCI) han tenido un crecimiento en el campo de la detección de estados mentales. Por este tipo de razones se ha buscado lograr esta interacción con máquinas a través de las actividades cerebrales de una persona.

Con todo lo mencionado, la presente investigación plantea dar una solución a esta problemática, considerando dos aspectos: uno técnico y otro social. Respecto a lo técnico, se basa en el diseño innovador de una máquina automática para cocción de granos de maíz automática y el desarrollo de su sistema de activación por medio de una BCI, que detectará la caída de desempeño mental y activará la máquina en cuestión. Respecto a lo social, es mejorar la calidad de vida de los estudiantes universitarios, dándoles descansos adecuados y promoviendo una alimentación saludable, a través de un alimento con un gran aporte nutricional, que les permita rendir de manera óptima y tener energía para retomar la actividad.

En el documento se presentará información acerca de la investigación realizada, dividida por capítulos. En el primer capítulo, se realizará una descripción de la problemática reciente respecto a los hábitos de estudio de los alumnos universitarios durante sus sesiones de estudio, dando a conocer la propuesta de solución, los objetivos, el alcance y la metodología a seguir.

En el segundo capítulo se realizará un desarrollo del estado del arte para el sistema. En primer lugar, respecto a las interfaces cerebro – computador (BCI), presentando sus componentes, características, experimentaciones y trabajos previos respecto a la detección de estados mentales para brindar un panorama más amplio en este campo. En segundo lugar, respecto a la máquina de cocción de granos de maíz, se hará una revisión del estado actual de la tecnología, así como una descripción de las patentes más representativas, con la finalidad de encontrar máquinas que realicen funciones similares.

En el tercer capítulo, se realizará el diseño conceptual del sistema, que abarca la elaboración de la lista de exigencias, la estructura de funciones, la matriz morfológica y el diseño experimental, para finalmente realizar la selección del concepto óptimo para la máquina de cocción de granos de maíz, dado que respecto a la BCI no se tendrá que realizar un diseño, pues esta es de uso comercial y será empleada para la adquisición de señales cerebrales, siguiendo la norma VDI 2225 para evaluación de criterios técnicos y económicos. Para el sistema, se presentará un diagrama de operaciones, un diagrama de flujo y el diseño preliminar 3D del mismo. Seguidamente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada, para la consideración de trabajos futuros, basados en el diseño presentado en el tercer capítulo.

Capítulo 1

Antecedentes

En el presente capítulo, se describirá la problemática reciente sobre los hábitos de los alumnos durante sesiones de estudio, la propuesta de solución planteada, alcances del proyecto, los objetivos y la metodología a seguir. De la misma manera, se presentará un árbol de problemas para el diagnóstico de la problemática junto con datos estadísticos relevantes para su correcto entendimiento.

1.1 Descripción Del Problema

Los estudiantes universitarios viven en una época que, según fue planteado en dos conferencias llevadas a cabo por la ONU en los años 2003 y 2005, se define como la “Sociedad de la Información” (UNESCO, 2005). Ellos se encuentran expuestos a un rápido avance del conocimiento, a un gran flujo de información y constantes avances tecnológicos, que influyen en la forma en que piensan y actúan. Como lo menciona Alan Bruce, en un artículo para la revista científica RUNAE: “Nuestra era encara una explosión de conocimiento entrelazada con tecnologías a gran escala de expansión y de un sistema de poder globalizado” (Florent Pasquier,

2019). En ese sentido, la concentración y memoria resultan vitales en el proceso de aprendizaje y son los que determinan a grandes rasgos nuestra efectividad al momento de estudiar. Como lo menciona Martín Rivas, el modo en que una persona se concentra en alguna actividad pone en evidencia la intensidad de la atención (2008). Intensidad se refiere al grado de atención prestada. Por otro lado, la atención sostenida se define como la capacidad para mantener la atención en un estímulo durante un periodo de tiempo prolongado (Fundación CADAH, 2012).

Sin embargo, existen diversos estudios, cuyos resultados evidencian que invertir largas horas en realizar una actividad académica sin descansar, resulta inevitablemente en una caída de rendimiento. Uno de ellos, publicado en la revista *Harvard Business Review*, reafirma que estar centrado en una misma actividad durante prolongados periodos de tiempo puede generar problemas de salud, tales como estrés, ansiedad, problemas de memoria, fatiga e incluso investigaciones más recientes lo vinculan con el síndrome del agotamiento (Carmichael, 2015). Además, muchos de estos descansos no son efectivos, pues parte de ese tiempo es ocupado, en este caso, para preparar comidas, teniendo que supervisar el proceso de preparación y asegurarse de que sea óptimo, como ocurre con la elaboración de un café, un té o algún alimento.

Por este motivo, conocer los periodos de descanso es vital, ya que representan un tiempo de desconexión de la actividad que se esté realizando, de tal manera que se pueda recuperar energía, a través de una correcta alimentación para nutrir el cerebro y no afectar nuestra salud, ya sea mediante un snack saludable, en este caso como los granos de maíz cocidos. De acuerdo a un estudio presentado por Joe Vinson, este es un alimento que contiene un alto nivel de antioxidantes y ayuda a promover la función cerebral, favoreciendo a la concentración y memoria (2012). Si estos granos son preparados sin ningún condimento, como sal, aceite o mantequilla, resulta en una opción saludable. Su composición nutricional contiene

carbohidratos, fibra, un bajo nivel de grasa, vitaminas y minerales y bajo colesterol. La porción adecuada de consumo de este alimento ronda entre los 25 y 30g (Shubrook, 2018). Asimismo, adquirir los granos de maíz es sencillo y su precio es económico, por lo que representa una opción atractiva para ser adquirido como un snack saludable por los estudiantes universitarios.

Si los estudiantes no se alimentan correctamente, no podrán rendir de manera óptima en las actividades que lleven a cabo. Una investigación realizada por Rinat Ratner, respecto a qué comen los universitarios durante sus momentos de descanso, en la que fueron encuestados 9460 alumnos de distintas universidades e institutos de Chile, demostró que únicamente el 9.3% se alimenta o tiene una alimentación saludable (2012).

En ese sentido, para obtener información de hábitos durante las sesiones de estudio de los estudiantes, se realizó una encuesta a 30 estudiantes de diversas carreras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, obteniendo las gráficas siguientes 1-1, 1-2 y 1-3.

Como se puede observar en la Figura 1-1, el 39,4% emplea más de 4 horas para estudiar al día. Esto representa que gran parte de sus días lo dedican a la actividad académica. Luego, en la Figura 1-2, respecto al número de descansos que toman, se encontró que la mayoría prefiere tomar de 3 a más descansos. Con esta información se refleja que, para que ellos puedan continuar con los periodos de estudio, consideran necesario desconectarse un momento de la realización de esas actividades. Seguidamente, en lo que corresponde a la preferencia de acciones durante los periodos de descanso, la Figura 1-3 presenta que el 75.8% prefiere emplear sus teléfonos celulares (lo que indica que los descansos que toman no son adecuados) y también 45.5% comer algún alimento, lo que simboliza las necesidades nutricionales para poder seguir estudiando con energía.

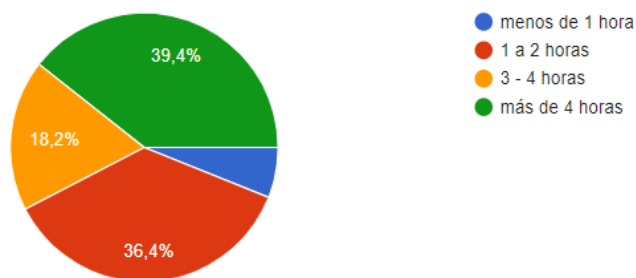


Figura 1- 1. Número de horas dedicadas al estudio por día.
Fuente: Elaboración propia.

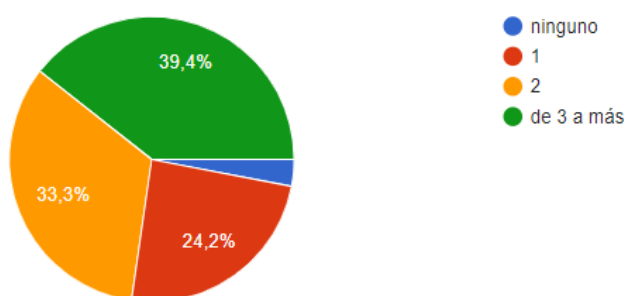


Figura 1- 2. Número de descansos en las sesiones de estudio por día.
Fuente: Elaboración propia.

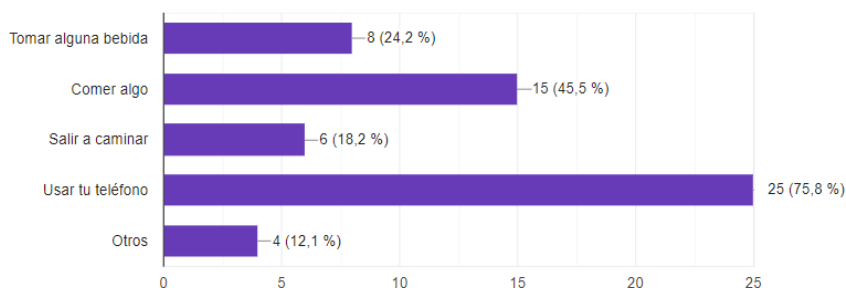


Figura 1- 3. Preferencias de los estudiantes durante los tiempos de descanso.
Fuente: Elaboración propia.

La situación mencionada se presenta en el árbol de problemas que se detalla en la Figura 1-4. De acuerdo a lo descrito en este, se observa que el problema central es la falta de periodos de descanso durante sesiones de estudio, teniendo esta un efecto directo en la forma en que se alimentan, en su motivación y en la concentración y memoria.

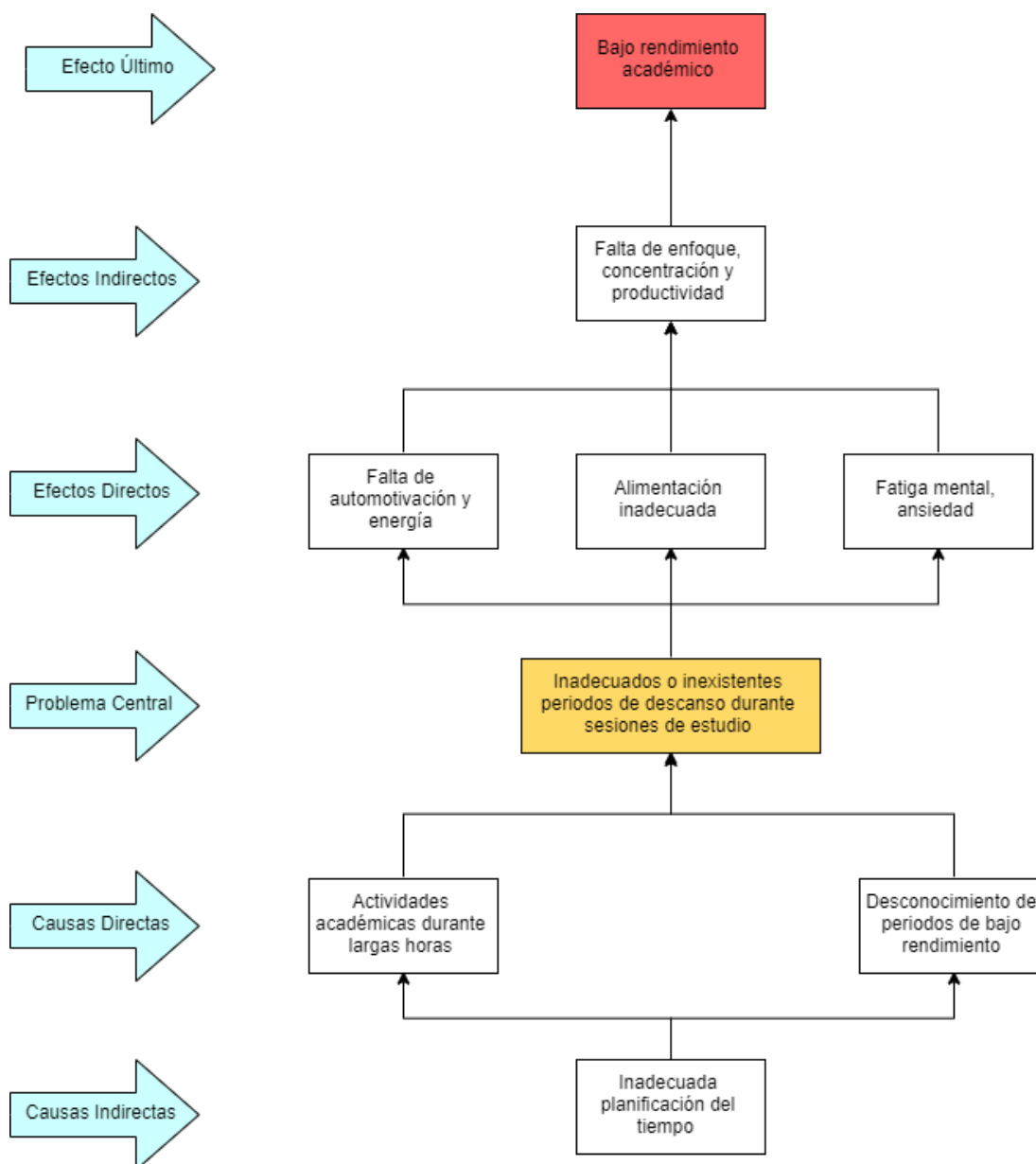


Figura 1- 4. Árbol de problemas para la propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, existen algunas propuestas tecnológicas que se han implementado para promover una alimentación saludable en los tiempos de descanso durante actividades que demanden un desgaste mental, a través de máquinas automáticas que preparan comidas saludables. Por ejemplo, el robot denominado *Sally*, de la empresa *Chowbotics*, el cual dispensa ensaladas personalizadas, pero tenerla en un hogar resulta inviable dado su gran tamaño y

elevado costo. Además, los alimentos que estas contienen necesitan ser preparados el mismo día y verificar que se encuentren en buen estado, ya que son perecibles (Chowbotics, 2019). Asimismo, se encuentran dispositivos que permiten monitorear los estados cognitivos, con el fin de mejorar la concentración y brindar una retroalimentación para conocer los momentos de alto y bajo rendimiento mental. Uno de ellos es FOCI, un wearable que realiza esta función a través del análisis de la respiración de la persona. Sin embargo, esta forma de analizar los estados mentales no es muy efectiva, pues los datos que brinda no son del todo precisos en comparación a los proporcionado por una electroencefalografía (EEG) (FOCI, 2019).

A pesar de la existencia de estas tecnologías, aún no existe un sistema que integre la detección de la caída de desempeño cognitivo en las personas y que pueda activar una máquina automática para que prepare un alimento saludable como los granos de maíz, como numerosos estudios lo han demostrado, en porciones adecuadas, previo a tomar los descansos, para ahorrar el tiempo que alguien se toma en prepararlas durante los cortos periodos de tiempo disponible entre sesiones de estudio, de tal forma que puedan realizar otras actividades, evitar fatigarse mentalmente y reducir su productividad.

1.2 Propuesta De Solución

Frente a esta problemática, la propuesta de solución se basará en desarrollar un sistema automático conformado por dos componentes. En primer lugar, una máquina automática que prepara granos de maíz sin necesidad de que el usuario supervise el proceso de preparación, ahorrando el tiempo que este invertiría en esta preparación y, en segundo lugar, una interfaz cerebro- computador, cuyo objetivo es decodificar la actividad cerebral, proporcionada por un EEG, para interpretar su significado, transmitir los datos recopilados y permitir la detección de caída de desempeño en los estudiantes, activando la máquina y tomando descansos saludables que les permitan tener sesiones de aprendizaje efectivas.

Asimismo, se realizará un procesamiento y clasificación de señales digitales, proporcionadas por un EEG e interpretadas por una interfaz cerebro-computador (BCI), para detectar el momento previo en que una persona se encuentra en un estado de bajo rendimiento mental para darle a conocer que necesita tomar un descanso.

Luego de este análisis, si se detecta que la persona necesita tomar un descanso, se enviará un comando a la máquina automática para su activación, empezando con la preparación en el otro componente del sistema: la máquina de cocción de granos de maíz, ahorrando tiempo al estudiante al momento de preparar una comida que sea nutritiva y saludable. El usuario no tendrá que preocuparse por el tiempo de preparación, pues recibirá un aviso cuando el alimento esté listo y entonces podrá saber el momento adecuado para tomar el descanso.

1.3 Objetivos

En la presente sección serán presentados los objetivos.

1.3.1 Objetivo General

- Presentar el diseño del concepto óptimo de un sistema integrado por una máquina automática de cocción de granos de maíz y su sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para optimizar la duración del tiempo de estudio y tomar descansos saludables al producirse una caída de rendimiento cognitivo en estudiantes universitarios.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar acerca de las interfaces cerebro-computador, métodos y algoritmos de clasificación para la adquisición de señales y aplicaciones actuales para la detección de estados mentales.
- Revisar máquinas comerciales para la cocción de granos de maíz y patentes representativas para explicar su funcionamiento.

- Elaborar el diseño preliminar del sistema, que incluye la realización de la lista de exigencias, estructura de funciones y matriz morfológica.
- Presentar el desarrollo del experimento para la extracción, procesamiento y clasificación de las señales cerebrales obtenidas a través del dispositivo EEG g.Nautilus, los estados mentales a ser detectados y la ubicación de electrodos.
- Elaborar tres conceptos de solución para la máquina de cocción de granos, bosquejadas a mano, para cada una de las funciones presentadas en la matriz morfológica.
- Mostrar el entorno de operación del sistema, con los componentes necesarios.
- Realizar la selección del concepto de solución óptimo del sistema, bajo la metodología VDI2225, para elegir aquella que presenta un balance entre los aspectos técnicos y económicos.

1.4 Alcance

Este trabajo no contempla el diseño del dispositivo de adquisición de señales EEG, pues ya existen diversos dispositivos en el mercado. Además, este equipamiento no es económico y requiere de una manipulación cuidadosa.

Por otro lado, el diseño de la máquina de cocción de granos de maíz, busca permitir la elaboración de este alimento de manera inmediata, sin necesidad de ser supervisada por un usuario durante los periodos de descanso, por lo que únicamente este irá a recoger el alimento servido. Asimismo, este diseño involucra la integración de diversos sistemas y mecanismos, el código de programación y la elaboración de los algoritmos de control.

Finalmente, con este proyecto también se propone la selección de los métodos, para poder desarrollar aplicaciones en cuestión.

1.5 Metodología

La metodología empleada para el diseño de la máquina será la metodología de diseño mecatrónico (VDI 2206), mientras que, para la elaboración de los algoritmos de procesamiento de señales, se escribirá un código adaptable y optimizable, ya que se trabajará mediante iteraciones y experimentaciones.





Capítulo 2

Estado Del Arte

En el presente capítulo, se presentará un resumen acerca de las interfaces cerebro-computador, describir qué hacen de manera general, cuáles son sus componentes y características. Asimismo, se mostrarán los tipos de sistemas y métodos de detección de señales cerebrales proporcionadas por los usuarios para ser procesadas por una BCI. Seguidamente, serán explicados trabajos previos en donde se muestran algunos métodos y técnicas para la detección de estados mentales, presentando un breve resumen de cada uno, así como los dispositivos empleados para la adquisición de las señales cerebrales. Luego, se describirán las principales características de diversas máquinas para la preparación de granos de maíz comerciales, junto con los distintos sensores y actuadores que son normalmente utilizados. Por

último, se mencionarán aplicaciones de esta tecnología a través de estados mentales, aplicadas en diversas áreas, tales como la robótica móvil, domótica y entretenimiento.

2.1 Interfaces Cerebro-Computador

Una BCI es definida, de acuerdo a Jonathan Wolpaw, como un dispositivo que proporciona al cerebro un nuevo canal de control y comunicación no-muscular (Grimann, Allison, & Pfurtscheller, 2010). Esto quiere decir que mide directamente la actividad cerebral del usuario y la traduce en señales de control.

Lo que realiza una BCI es transformar estas señales electrofisiológicas para una determinada actividad: mensajes y comandos que interactúan con el mundo en tiempo real, una salida de control que encierra las intenciones de los usuarios. Una BCI reemplaza a los nervios, músculos y los movimientos que estos producen con señales electrofisiológicas y, el hardware y software se encargan de convertirlas en acciones. Como este sistema reemplaza los canales de salida neuromusculares normales del cerebro, depende de la retroalimentación y la adaptación del cerebro basado en los datos proporcionados por esta (Wolpaw, 2002). Por tal motivo, es erróneo pensar que este sistema se basa en una “lectura mental”, asumiendo que solo se trata de analizar la actividad cerebral reflejada en las señales eléctricas y magnéticas, que pueden ser detectadas a través del cuero cabelludo, la corteza cerebral e incluso al interior del mismo cerebro del usuario, y con ello conocer los pensamientos de las personas.

2.1.1 Tipos de BCI

De acuerdo a la forma en que se procesan los datos de entrada proporcionadas por los usuarios, una BCI puede ser clasificada como síncrona o asíncrona. En el caso de las primeras, las señales cerebrales son analizadas dentro de una ventana de tiempo predeterminada y

limitada. Cualquier otra señal que se encuentre fuera de esta ventana, será ignorada. Asimismo, el usuario únicamente podrá enviar señales de control dentro de este tiempo y el sistema le avisará cuando requiere la atención del usuario para ser operado. La BCI convierte las señales cerebrales de entrada en señales de control de salida luego del periodo de post- estímulo. Por otro lado, las BCI asíncronas están continuamente analizando las señales cerebrales, por lo que ofrecen una forma más natural de interacción entre el usuario y el sistema. Sin embargo, son más complejos en términos computacionales (Nicolas- Alonso, 2012). En la Tabla2-1 se presenta a continuación se pueden apreciar datos relevantes de ambos tipos de procesamiento de señales.

Tabla2- 1. Tabla comparativa entre los BCI síncronos y asíncronos.
Fuente: Extraído de (Nicolas- Alonso, 2012).

Características	BCI síncronas	BCI asíncronas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se ignoran artefactos no deseados en las señales provocados por el parpadeo o tensar las mandíbulas. ○ Bajo coste computacional en el análisis de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Usuario tiene la facilidad de usar la BCI cuando lo desee. ○ Se da una interacción más natural entre hombre – máquina.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ○ La interacción sistema – usuario es forzada. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alto coste computacional y de implementación. ○ Complejidad en el análisis de datos.

La Figura 2-1, presenta ambos protocolos de operación de una BCI, así como una breve descripción de lo que están representando. Se tienen dos casos: síncrono (A) y asíncrono (B).

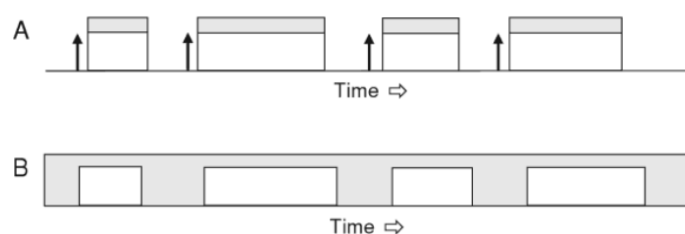


Figura 2- 1. Protocolos de operación de una BCI.

(A) síncronos. Área sombreada en gris: BCI está disponible para el control; área blanca: periodos en los que la BCI espera los comandos de control del usuario; flechas: señales enviadas por la BCI antes del envío de las señales de control por el usuario. (B) asíncronos. Sombreado en gris: BCI siempre está disponible para el usuario. Fuente: Extraído de (Wolpaw, 2012).

2.1.2 Componentes de una BCI

Una BCI tiene una estructura conformado por 3 distintas etapas: a) Adquisición de la señal; b) procesamiento de la señal; y c) la aplicación para una acción de control determinada. Cada una de estas se encuentra detallada en la Figura 2-2. De la misma manera, en la Tabla 2-2, se describen cada uno de los componentes del sistema que conforman a una BCI.

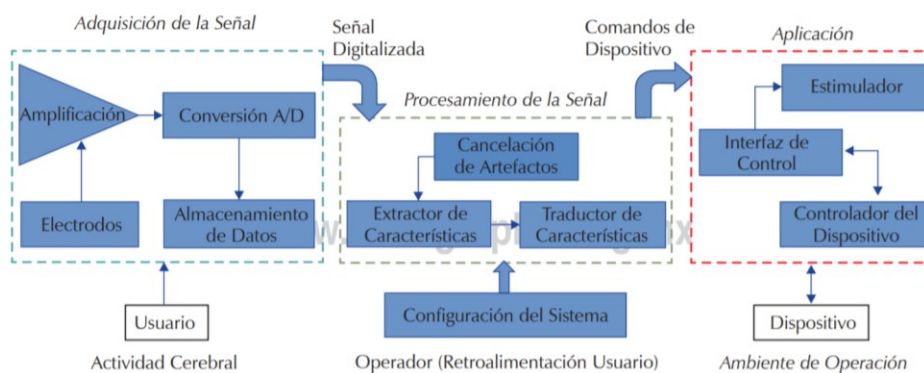


Figura 2- 2. Estructura de una BCI.

Fuente: Extraído de (Moreno, Batista, & Serracín, 2019).

Tabla 2- 2. Descripción de componentes de una BCI.

Fuente: Extraído de (Moreno, Batista, & Serracín, 2019).

Componentes de un sistema BCI	Adquisición y acondicionamiento de señales	Se adquieren las ondas cerebrales para que puedan pasar por las fases de amplificación, filtrado y digitalización.
	Procesamiento de la señal	La señal cerebral es transformada en datos que el dispositivo puede interpretar y que un usuario desea controlar.
	Interfaz de control	Recepción de señales de control para realizar acciones en un dispositivo.
	Estimulador	Sus señales son enviadas al extractor de características para la sincronización la obtención de las mismas.
	Configuración	Permite ajustar y definir los parámetros del sistema.
	Dispositivo	Actuador del sistema (computadora, sintetizador de voz, prótesis).
	Ambiente de operación	Elementos del entorno del usuario que pueden alterar la operación del sistema.

2.1.3 Rendimiento de una BCI

Cuando se quiere determinar qué tan efectiva resulta una BCI frente a otras que funcionen de la misma manera, es importante realizar una evaluación de acuerdo a métricas de rendimiento. Estas permitirán comparar y medir el desempeño de los sistemas, para escoger el más óptimo. Para ello, es importante introducir el concepto de Matriz de confusión. Esta contiene información acerca de clasificaciones actuales y futuras, y es realizada por un sistema de clasificación. El rendimiento de un sistema es generalmente evaluado empleando los datos que contiene la matriz, permitiendo conocer indicadores como la efectividad y exactitud (Computer Science 831, 2018). Todas las métricas de rendimiento que se mencionarán en adelante emplean esta matriz, mostrada en la figura 2-3.

- a) Exactitud (En inglés, “*Accuracy*”): se refiere a grado de cercanía entre nuestros resultados y los valores verdaderos (Narkhede, 2018).
- b) Precisión (En inglés, “*Precision*”): se define como la dispersión de un conjunto de datos obtenidos a partir de medición repetitiva de cierta magnitud (Narkhede, 2018).
- c) Sensibilidad (En inglés, “*Recall*”): es la relación entre los verdaderos positivos que fueron detectados por el algoritmo.
- d) Especificidad (En inglés, “*Specificity*”): es la relación entre los casos negativos que fueron clasificados de manera correcta por el algoritmo.

		Predicted Class		
		Positive	Negative	
Actual Class	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN) Type II Error	Sensitivity $\frac{TP}{(TP + FN)}$
	Negative	False Positive (FP) Type I Error	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{(TN + FP)}$
		Precision $\frac{TP}{(TP + FP)}$	Negative Predictive Value $\frac{TN}{(TN + FN)}$	Accuracy $\frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)}$

Figura 2- 3. Matriz de especificidad.
Fuente: Extraído de (Sirsat, 2019).

2.2 Métodos Para La Adquisición De Señales

Existen diversos métodos que pueden ser usados para el registro de las señales cerebrales de los usuarios. Estos se pueden clasificar como invasivos o no invasivos. Los primeros requieren implantar arreglos de pequeños electrodos directamente en el cerebro de los usuarios, lo que implica un riesgo para la persona. Es por esto que su uso está limitado a la realización de pruebas experimentales (Anupama, Cauvery, & Lingaraju, 2012).

Por otro lado, los métodos no invasivos se basan en la adquisición de señales eléctricas con electrodos que son colocados en el cuero cabelludo de los usuarios, una manera más segura. A comparación de las otras, estas señales vienen con ciertos artefactos no deseados debido a que para ser captados necesitan pasar a través de diferentes capas de la cabeza; sin embargo, proveen una buena resolución temporal, son fáciles de usar, económicos y portátiles, lo que los ha convertido en la metodología más conocida en la actualidad (Anupama, Cauvery, & Lingaraju, 2012). En la Figura 2-4, se puede observar gráficamente los métodos para la adquisición de señales cerebrales. Dependiendo de si son invasivos o no invasivos.

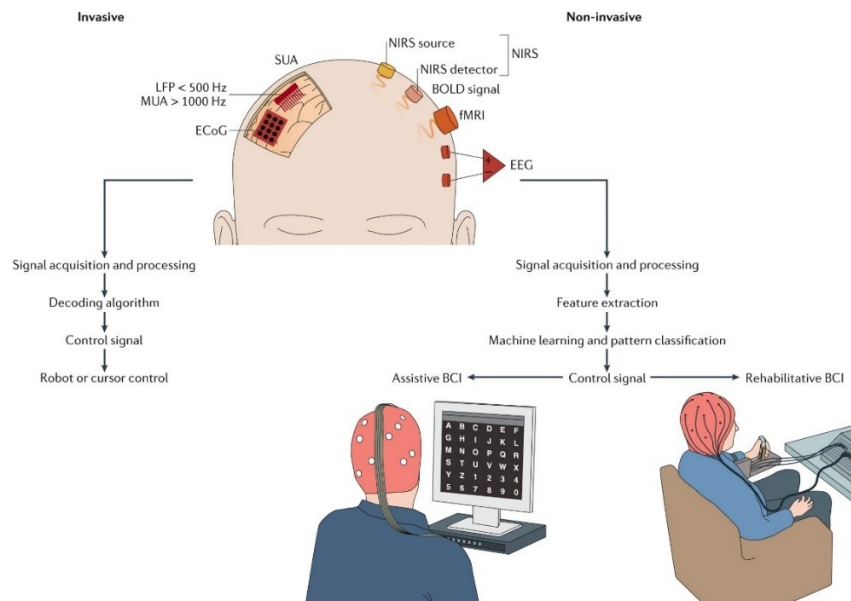


Figura 2- 4. Métodos para el registro de la actividad cerebral.
Fuente: Extraído de (Chaudhary, Birbaumer, & Ramos-Murguialday, 2016).

2.2.1. Electroencefalografía (EEG)

Un EEG está basado en técnicas de adquisición de señales eléctricas cerebrales proporcionadas por la actividad eléctrica sincronizada de las neuronas de un usuario, por medio de electrodos colocados en la cabeza de los usuarios, lo cual lo hace un método no invasivo. Estos electrodos se encargan de detectar las pequeñas cargas eléctricas que se originan por la actividad cerebral. Hans Berger un psiquiatra alemán, fue el primero en usar un EEG en personas, pues encontró y demostró que existen fluctuaciones eléctricas que se reflejan en la corteza cerebral (Daroff & Aminoff, 2014).

El sistema de adquisición de señales eléctricas de un EEG consiste en electrodos colocados en el cuero cabelludo de los usuarios, amplificadores (realizar procesamiento de la señal análoga y aumentar amplitud), conversores A/D (digitalizar la señal amplificada) y un sistema de grabación. Seguidamente, un elemento externo, como lo puede ser una computadora, registra toda la información y la almacena para realizar un posterior análisis (Nicolas- Alonso, 2012). En la Figura 2-5 se observa la configuración descrita anteriormente.

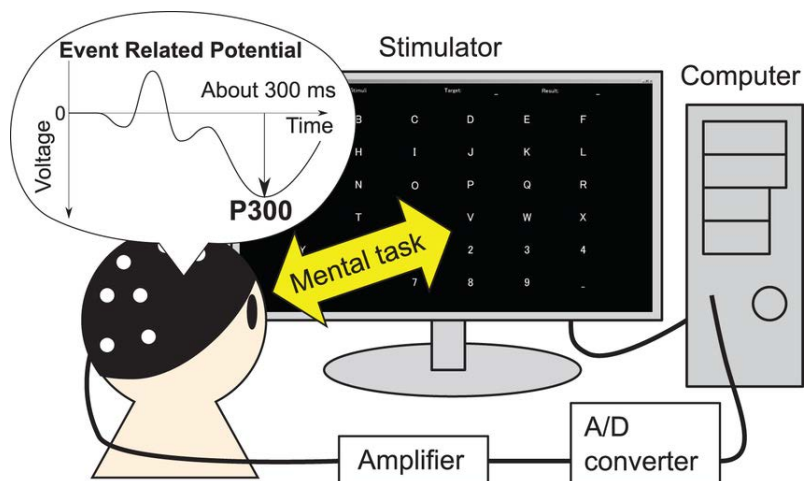


Figura 2- 5. Configuración de un EEG.
Fuente: Extraído de (Onishi & Natsume, 2014).

Las señales proporcionadas por un EEG se miden como la diferencia de potencial entre un electrodo activo y un electrodo conectado a tierra. Estas fluctúan entre 1 – 100 μV (Nicolas-Alonso, 2012). A pesar de que las señales adquiridas por este método presentan señales no deseadas, conocidas como artefactos, obtenidas producto de movimientos involuntarios de los usuarios, ha demostrado ser un método muy ventajoso, simpleza de operación y relativamente bajo costo (Moreno, Batista, & Serracín, 2019).

Los datos obtenidos por el EEG varían dependiendo de la ubicación de los electrodos en la cabeza de las personas. Cada una de las cortezas del cerebro tiene diferentes funciones y procesa diferentes actividades. De esta manera, para la colocación de los electrodos en la superficie de la cabeza de las personas, se empleó el sistema internacional 10-20, que se muestra en la Figura 2-6. Este sistema determina la distancia entre electrodos de manera porcentual, los cuales están separados entre sí 10% o 20% de una distancia predefinida. Se emplean porcentajes debido a que el tamaño del cráneo es distinto entre diferentes personas (Novo, Chacón Guitiérrez, & Barradas, 2010).

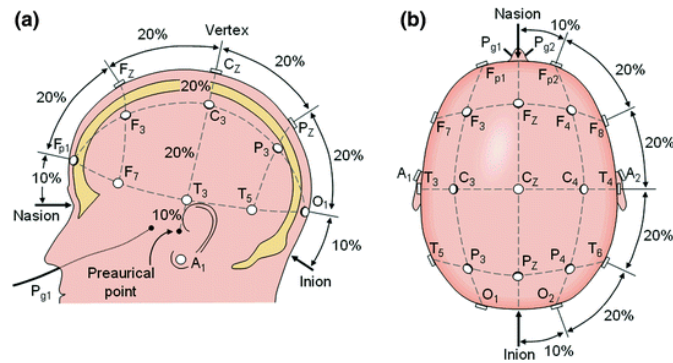


Figura 2- 6. Configuración de electrodos de acuerdo al sistema 10-20.
Fuente: Extraído de (Novo, Chacón Guitiérrez, & Barradas, 2010).

Los dispositivos usados para la adquisición de señales EEG empleados en la actualidad son inalámbricos y pueden ser tener dos tipos de electrodos: secos o húmedos. En la Tabla 2-3 se muestra una comparación entre ambos métodos.

Tabla 2- 3. Descripción del tipo de electrodos.
Fuente: Extraído de (Kam, Griffin, & Shen, 2019) y (Brain Support, 2020).

Tipo de electrodos	Electrodos húmedos	Electrodos secos
		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Calidad de señales adquiridas es robusta. Gel usado facilita la capa del electrodo se adhiera mejor a la superficie de la cabeza. 	<ul style="list-style-type: none"> Mismo precio que los electrodos húmedos y con igual resolución. Captura todo el espectro de frecuencias de un EEG (0.1- 40 Hz). El casco se monta rápidamente.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Largos tiempos de montaje. Abrasión de la piel. Necesidad de lavar el casco luego de registrar datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Más sensibles al ruido, cargas electrostáticas y movimiento de cables. El ambiente de operación debe ser controlado.

a) Magnetoencefalografía (MEG): Es un proceso no invasivo que se basa en la detección de corrientes intracelulares que fluyen a través de las dendritas del cerebro por medio de la inducción magnética. Este proceso es usado comúnmente para realizar un mapeo de las funciones neurales del cerebro (Zhang & Zhang, 2014). Proporciona una alta resolución temporal en comparación con un EEG, sin embargo es altamente costoso, el equipamiento debe estar en una habitación sellada contra campos magnéticos y tiene un alto costo (Mellinger, y otros, 2007).

b) Resonancia magnética funcional (fMRI): Este método de adquisición no invasivo permite el control voluntario de regiones anatómicas específicas del cerebro, utilizando una señal de resonancia magnética para detectar cambios del volumen de oxígeno en la sangre de zonas localizadas del cerebro, ofreciendo información de la estructura completa (Wang & Wu, 2018). Las desventajas que tiene son su alto costo y alta complejidad para la implementación y uso (Sitaram, Caria, & Veit, 2007). En la Figura 2-7 se puede observar la estructura de este método.

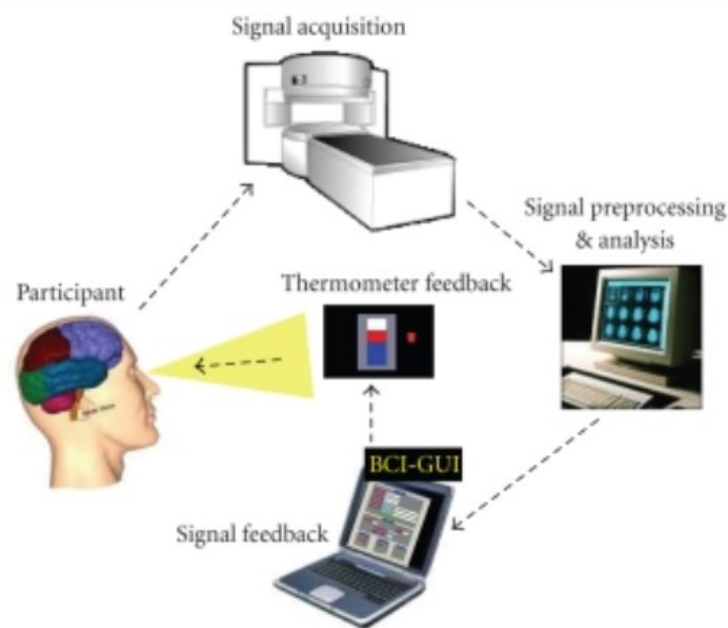


Figura 2- 7. Estructura de una fMRI.
Fuente: Extraído de (Sitaram, Caria, & Veit, 2007).

c) Electroencefalografía (EEG): Es una técnica invasiva que se basa en la medición de la actividad neuronal directamente desde la superficie cerebral pudiendo detectar la actividad cerebral de manera muy precisa. Sin embargo, implica realizar una cirugía intracraneal para implantar los electrodos, por lo que las investigaciones realizadas con este método son escasas (Schalk & Leuthardt, 2011).

Por último, en la Tabla 2-4, se puede observar la comparación de los métodos de adquisición mencionados previamente. Como se ha visto, muchos de estos han quedado descartados debido a la complejidad de su implementación, alto costo e ineficacia para operar

en tiempo real. Los métodos más deseados son los no- invasivos y en este trabajo será empleada la técnica de adquisición mediante EEG.

Tabla 2- 4. Tabla comparativa entre método de adquisición de señales.
Fuente: Extraído de (Ramadan & Vasilakos, 2017).

	EEG	MEG	fMRI	ECoG
Ventajas	- Suficiente información acerca de la actividad cerebral -Bajo costo	-Gran resolución temporal y espacial comparado con un EEG -Señales magnéticas se ven menos afectadas que las señales eléctricas	-Buena resolución espacial y temporal -Bajo costo	-Medición directa de las señales cerebrales -Mayor exactitud y sensibilidad comparado a un EEG
Desventajas	-Señales eléctricas pueden verse afectadas por artefactos	-Tecnología es altamente costosa y requiere de grandes máquinas	-Señales demoran en ser procesadas, ya que la tasa de transferencia de información es lenta.	-Cirugía para la implementación es riesgosa
Método de adquisición	No-Invasivo	No-Invasivo	Metabólico	Eléctrico
Señales detectadas	Eléctricas	Magnética	No-Invasivo	Invasivo
Portabilidad	Sí	No	No	Sí

2.3 Métodos Para La Extracción De Características

En la siguiente sección, se presentarán los métodos más usados para la extracción de características de las señales EEG y facilitar la interpretación de patrones de interés. Estos métodos pueden ser en el dominio del tiempo, en el dominio de la frecuencia y en el dominio tiempo- frecuencia.

2.3.1. En el dominio del tiempo

Las técnicas basadas en este dominio se basan en describir como las características de una señal relevante varía en el tiempo.

a) Métricas de estadística simples: Estas se refieren a calcular la media, el valor máximo, el valor mínimo, la desviación estándar, la asimetría (grado de asimetría de la distribución de datos) o la kurtosis (grado de homogeneidad de distribución de los datos) de una señal en el tiempo (Benítez, 2018).

b) Cruces por cero: Mediante esta técnica se buscan puntos de la señal que tengan valores de cero o muy cercanos a cero, para luego almacenar los datos de las posiciones a lo largo del tiempo (Geethanjali, Mohan, & Sen, 2012).

2.3.2. En el dominio de la frecuencia

Las técnicas presentadas permiten mostrar cómo varía el poder de las frecuencias relevantes de una señal. A continuación, serán presentados algunos de los métodos más empleados en este campo.

a) Transformada rápida de Fourier (FFT): es una herramienta muy poderosa para revelar componentes de frecuencia más importantes en una señal. Permite la transferencia de una señal en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. La FFT representa el espectro de frecuencia de una señal digital con una resolución equivalente a la frecuencia de muestreo entre el número de puntos de la FFT (Herff & Krusienski, 2018) y se calcula como se muestra en la Ecuación 2.1 (Wong, 2013).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)nk} \quad (k = 0, 1, \dots, N-1) \quad (2.1)$$

b) Transformada de Fourier de tiempo reducido (STFT): es usada para tener una representación espectral de una señal no estacionaria. El método se basa en tomar una ventana de tiempo y desplazarla a lo largo del tiempo y luego aplicar la transformada discreta de Fourier en cada uno de los segmentos independientes. Se calcula a través de la Ecuación 2.2 (Zabidi, Mansor, Lee, & Che Wan Fadzal, 2012), donde $w(n)$ corresponde a la ventana de una secuencia de N puntos, N representa la longitud del segmento de tiempo y N' la longitud del segmento del traslape de las ventanas de tiempo (Zabidi, Mansor, Lee, & Che Wan Fadzal, 2012).

$$S(m, k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n + mN')w(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (2.2)$$

c) Densidad de potencia espectral (PSD): da información acerca de la potencia espectral en bandas de frecuencia determinadas. Estas características son calculadas elevando al cuadrado los valores obtenidos de la FFT. Este método es uno de los más empleados en la BCI y da información muy valiosa acerca de señales neurofisiológicas (Medina, Sierra, & Ulloa, 2018). Es una herramienta adecuada para señales estacionarias. Lo que hace es distribuir el poder de la señal a través de distintas frecuencias y muestra el poder en función de la frecuencia (Ong & Ibrahim, 2018).

2.3.3. En el dominio tiempo – frecuencia

Estos métodos se basan en la representación de la señal en dos dimensiones. Este método es empleado para señales cuyas frecuencias son variantes en el tiempo. Emplear estos métodos permite analizar correctamente el contenido de frecuencia en el tiempo para señales no estacionarias.

a) Transformada Wavelet: es un método con eficiencia para el análisis de señales no estacionarias. Descompone una señal en un conjunto de funciones base denominadas “wavelets”. Permite representar las señales en amplitud, frecuencia y tiempo (Akin, 2002). Para el análisis de frecuencias de un alto rango, se analizan ventanas angostas, mientras que, para bajos rangos, se emplean ventanas más anchas (Sheng, 1996). Esta se define según la ecuación mostrada en 2.3 (Feike, 2020).

$$cwt(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (2.3)$$

$\tau = translation, s = scale, \Psi(t) = mother\ wavelet, \left(\frac{t-\tau}{s}\right) = scale\ factor$

b) Transformada de Hilbert- Huang; técnica empleada para el análisis de señales no estacionarias y no lineales. La parte esencial de esta es el modo de descomposición empírica (EMD), el cual es empleado por la transformada de Hilbert- Huang para descomponer un conjunto de datos complejo en funciones de modo intrínseco (IMF). Estas satisfacen dos condiciones: en todo el conjunto de datos, la cantidad de extremos y cruces por cero debe ser el mismo y en cualquier punto, el valor medio de la envolvente definida sobre los máximos locales y la envolvente definida por los mínimos locales es cero (Huang & Shen, 1998). Cada IMF tiene una transformada HHT que queda representada por la ecuación 2-4.

$$y_i(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_j(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2.4)$$

2.4. Estudios realizados para la detección de estados mentales

En la presente sección se presentan diferentes estudios realizado en el campo de la detección de estados mentales, tomando en cuenta la experimentación realizada, los estados mentales detectados y los resultados obtenidos. Cada uno fue detallado, considerando una breve descripción, los objetivos, los estados mentales detectados, métodos empleados para análisis de las señales, la forma en que fue realizado el experimento y conclusiones.

a) El estudio realizado por el investigador Andrew Myrden se basó en analizar 3 estados mentales: frustración, fatiga y atención, mientras que un usuario jugaba un juego de laberintos para investigar efectos de los estados mentales en el rendimiento de una BCI y estimar estados mentales a través de un juego simple (Chau, 2015). La tarea consistía en

que el usuario navegue a través de 10 diferentes laberintos, desplazándose de una intersección a otra. La BCI se encargaba de clasificar en tiempo real durante los 5s la dirección potencial seleccionada por el usuario. Antes de pasar al siguiente laberinto, se le pedía que de un reporte acerca de sus niveles de fatiga, frustración y atención, evaluados en una escala del 1 al 10.

Los resultados obtenidos mostraron que las relaciones entre el estado mental y el rendimiento de una BCI tienen una correlación, pues las fluctuaciones de estos estados están relacionadas con las fluctuaciones en el rendimiento de una BCI, como se ve en la Figura 2-8. La investigación sugiere que trabajos futuros deben considerar una adaptación abierta, que permita mantener el estado mental del usuario en una región óptima, lo cual permitirá el desarrollo de BCIs más robustos frente a cambios en los estados mentales, pues las características de las señales detectadas se ven afectadas por cambios en estos estados.

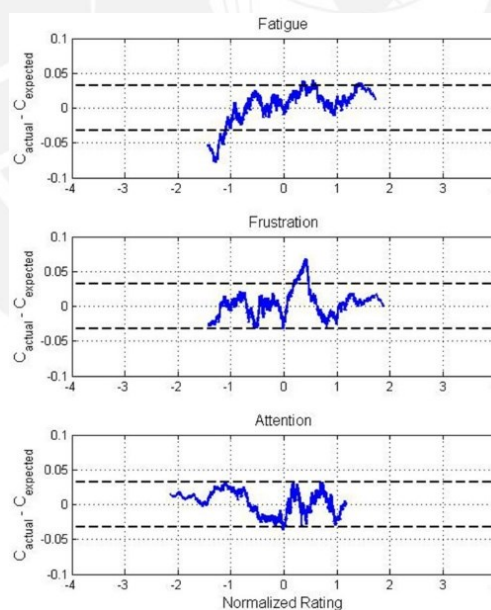


Figura 2- 8. Diferencia entre los valores esperados y obtenidos para los estados mentales de distintos usuarios.
Fuente: Extraído de (Chau, 2015).

- b) La investigación realizada por el investigador Damodar Edla, se basó en adquirir datos en tiempo real mediante un EEG, recolectando datos de diferentes personas para realizar un procesamiento de señales para predecir los estados mentales de concentración y relajación

(2018). El modelo de clasificación empleado fue binario y realizado empleado bosques aleatorios de clasificación como se observa en la siguiente imagen 2-9. El experimento para la adquisición de datos consistía en que los usuarios resuelvan problemas matemáticos mentalmente en 1 minuto, recolectando así datos sobre la atención. Luego de esto, se les pidió que mediten, cerrando los ojos y relajando su mente durante otro minuto. Estas tareas fueron repetidas múltiples veces dentro de un ambiente especial. Los datos que fueron obtenidos eran valores numéricos sobre las ondas cerebrales (alfa, gamma, delta y theta). Este modelo predictivo puede aprender de los estados de los usuarios con el tiempo, lo cual permitirá mejorar el control de los dispositivos. Sin embargo, como desventaja, se presenta que no es adaptable a múltiples usuarios.

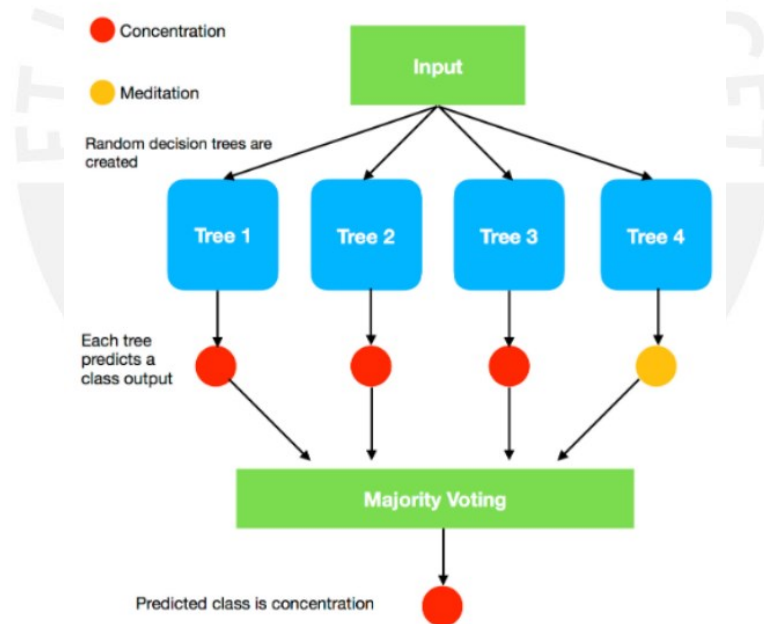


Figura 2- 9. Esquema de un bosque aleatorio de clasificación.
Fuente: Extraído de (Edla, 2018).

- c) El presente estudio, llevado a cabo por Klaus-Robert Müller, presenta un método para evaluar, mediante un EEG, las señales que estén vinculadas con la atención, aislando las señales de interés y analizándolas en tiempo real. El objetivo fue evaluar el uso de EEG para detectar señales de atención en los usuarios (2007). El usuario se sentó frente a una

PC, teniendo que presionar rápidamente las teclas para responder a un estímulo que era presentado en la pantalla. Dado que se trataba de un experimento monótono, los niveles de atención de las personas caían drásticamente con el tiempo, lo que producía elecciones erróneas en los siguientes procesos. Los resultados evaluaron las decisiones erróneas que tenían los usuarios como una medida de la concentración. Así, se tomó en cuenta el índice de error, lo cual reflejó la habilidad de la persona para prestar atención a los estímulos. Las pruebas de errores altos y bajos fueron constituyentes para el entrenamiento de un clasificador, que permitió discriminar los estados mentales de excitación basándose únicamente en lecturas de un solo ensayo de un EEG. En la Figura 2-10 se aprecian las señales extraídas.

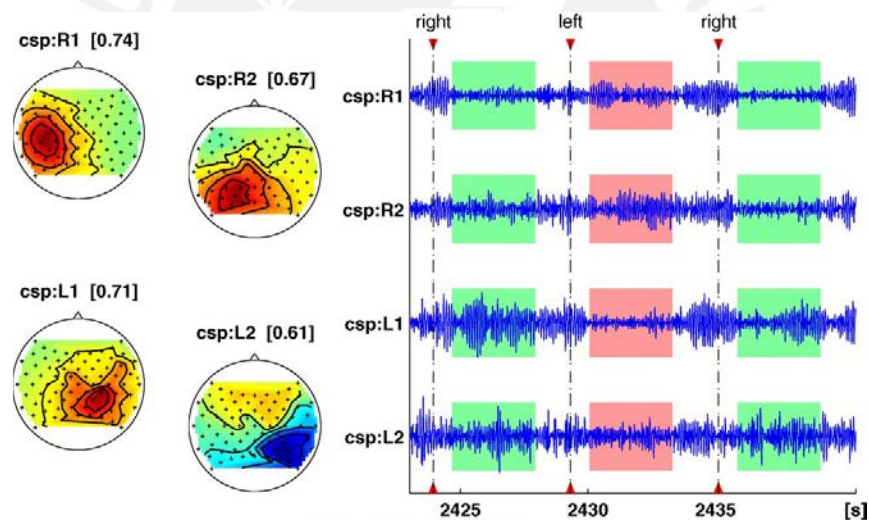


Figura 2- 10. Filtros espaciales para las señales obtenidas. Las líneas punteadas ilustran los cambios que se producen en las señales para cada una de las tareas asignadas para los usuarios.

Fuente: Extraído de (Müller, 2007).

- d) En el presente estudio, diversos investigadores plantearon el desarrollo de una BCI basada en EEG que permita realizar la medición de los niveles de atención de un usuario, cuya estructura se observa en la imagen 2-11. El sistema opera en tiempo real y permite detectar los niveles de atención en ambientes destinados al aprendizaje a través de la tecnología. El objetivo fue desarrollar un sistema en tiempo real para el monitoreo de los estados mentales

de concentración y atención en las personas (Liu, 2011). Las tareas mentales requeridas para la experiencia eran las siguientes: un estado de relajación con los ojos cerrados, lectura y comprensión de un texto, cálculos matemáticos y una serie de preguntas a ser respondidas dentro de un límite de tiempo. La computadora mostraba las tareas y el usuario debía seleccionar la respuesta. Una vez que hacía clic, el sistema empezaba a recopilar toda la información de las señales del EEG. Luego de 7 sesiones de evaluación, se logró una exactitud en la detección los niveles de atención de 67%, demostrando que el sistema, basado en EEG, es efectivo para explorar y clasificar la atención de una persona, junto con los algoritmos de clasificación. Además, quedó demostrado que los electrodos ubicados en la corteza frontal proporcionan importantes datos respecto a este estado mental.

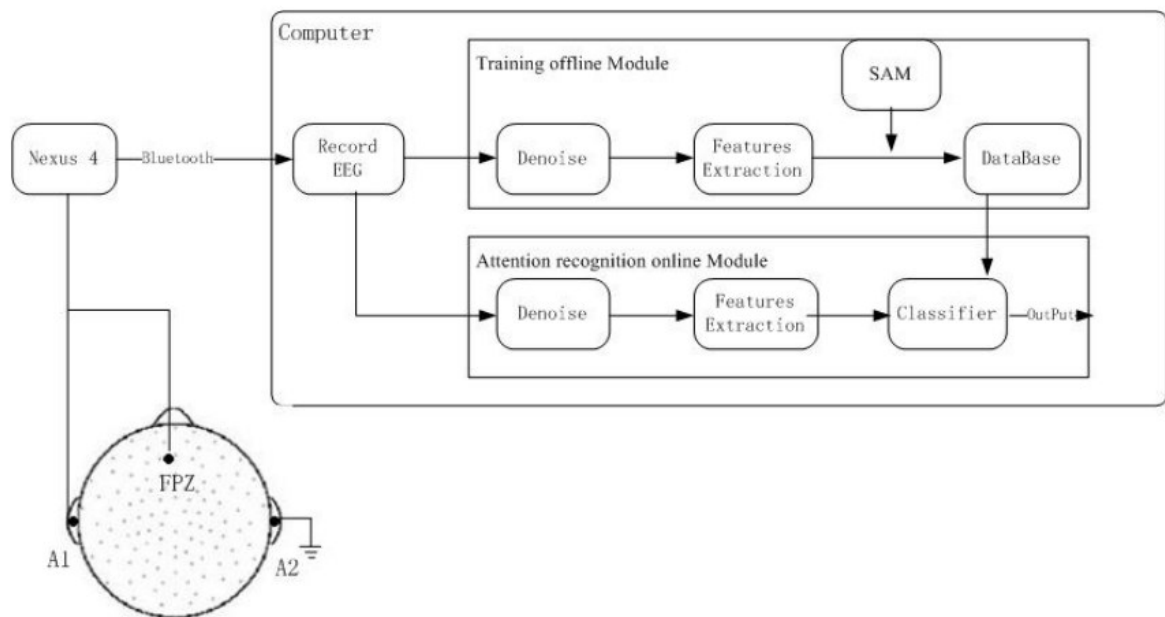


Figura 2- 11. Arquitectura del sistema BCI basado en EEG empleado en el presente estudio.
Fuente: Extraído de (Liu, 2011).

2.5 Aplicaciones actuales de una BCI en el campo de los estados mentales

En esta sección se presentan las aplicaciones de BCI mediante el monitoreo de estados mentales para diversas áreas, específicamente la robótica móvil, el control domótico y el entretenimiento. En la Figura 2-12 se observan algunas de estas áreas en las que se está estudiando la implementación de BCI. De la misma manera, se presentarán trabajos realizados en estos campos de interés.

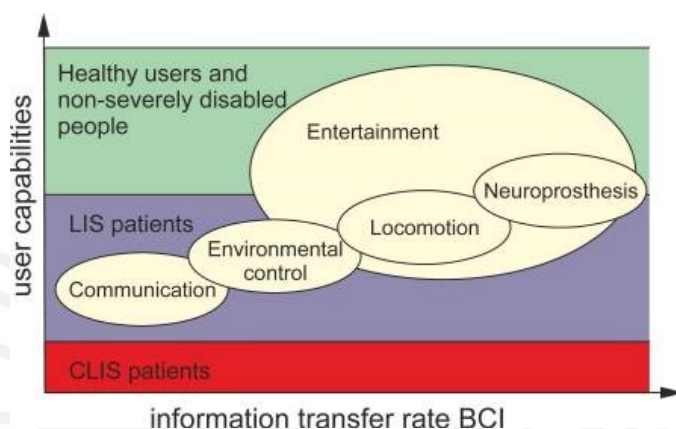


Figura 2- 12. Aplicaciones de BCI mediante estados mentales.
Fuente: Extraído de (Nicolas- Alonso, 2012).

- a) La aplicación en robótica móvil busca emplear la detección de los estados mentales, de tal manera que, por ejemplo, se pueda controlar la velocidad a la que avanza un vehículo si se percibe alguna condición que esté afectando la claridad de pensamiento de un conductor. Además, podrá brindar un desplazamiento inteligente que pueda ayudar a un usuario con discapacidad para movilizarse de manera óptima en una silla de ruedas. A continuación, se presenta una investigación en este campo.

La investigación realizada por José del R. Millán, está basada en el control de un robot móvil empleando señales proporcionadas por un EEG y técnicas de aprendizaje de máquina. Se mostró que 2 usuarios fueron capaces de mover un robot a través de diferentes habitaciones empleando únicamente el reconocimiento de tres estados mentales, ver Figura 2-13 (Millán, 2004). El control del vehículo está basado en tres aspectos esenciales:

primero, los estados mentales están relacionados con comandos de dirección para permitir el movimiento del vehículo; segundo, como el funcionamiento de la BCI es asíncrona, entonces el robot puede ejecutar órdenes en cualquier momento sin necesidad de que al usuario se le presente un estímulo externo; y tercero, el robot contiene un sistema de control propio para evitar colisionar con obstáculos.

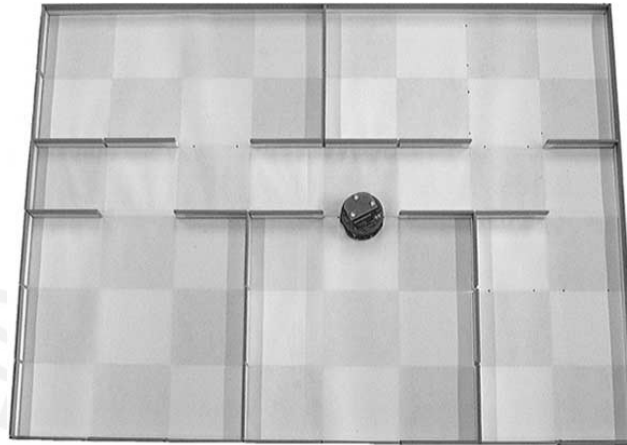


Figura 2- 13. Ambiente en donde operará el robot móvil.
Fuente: Extraído de (Millán, 2004).

- b) En el control domótico se busca que los pacientes logren una independencia para el control de dispositivos. Existen muchos pacientes con graves discapacidades físicas que no tienen la facilidad para encender o apagar un dispositivo doméstico. A continuación, se presenta un proyecto de investigación en esta área.

La investigación realizada por Anupama A. Ghodake, propone realizar aplicaciones de domótica en un hogar como lo son: encender un foco o un ventilador, a través del monitoreo y detección de los niveles de atención de un usuario, que provienen de las señales proporcionadas por un EEG. Para obtener los niveles de atención deseados, el usuario debe concentrarse en el objeto. En la Figura 2-14 se muestran los componentes empleados en este sistema (Ghodake, 2016). Para encender el foco de luz o el ventilador, el usuario debe observar y enfocarse en el objeto. Se demostró que a través de un estado mental como lo es

la atención, se puede encender un foco de luz o un ventilador, estableciendo valores umbrales que permitan evaluar los distintos valores obtenidos.

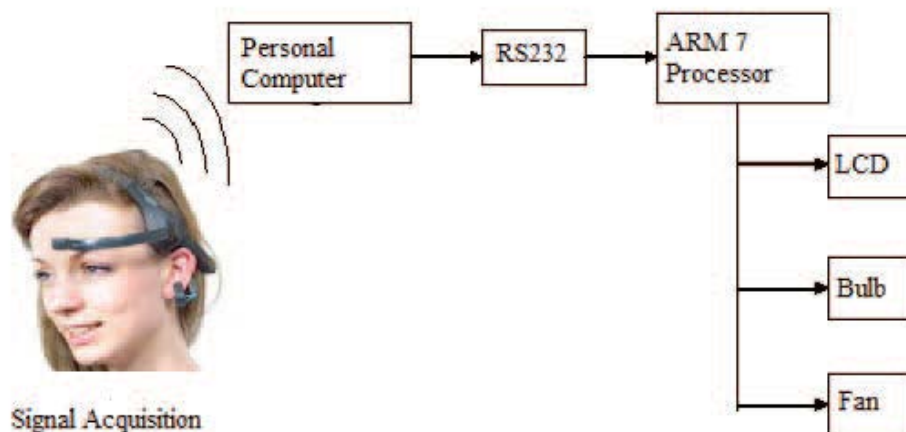


Figura 2- 14. Componentes del sistema BCI del estudio de Ghodake.
Fuente: Extraído de (Ghodake, 2016).

- c) Entretenimiento: el interés en el uso de las BCI a través de estados mentales para el entretenimiento ha aparecido recientemente. Gracias a estas, se ha establecido una nueva forma de interacción, que puede convertir a los videojuegos en una experiencia más desafiante. Asimismo, se podrá controlar la dificultad del juego dependiendo de cómo se sienta el usuario, a través del control de la actividad cerebral.

Así, la investigación realizada por Michael W. Tangermann demostró la interacción de un usuario con una máquina de *pinball*, cuyo diseño se presenta en la Figura 2-15. Esta integración se logró mediante una BCI basada en EEG que detectaba estados mentales empleando algoritmos de aprendizaje de máquina que clasificaban las señales para realizar las acciones de control. El control de esta máquina requirió que el usuario esté previamente entrenado, de tal manera que se pueda alcanzar un control rápido y preciso empleando una BCI no-invasiva. El experimento fue realizado en múltiples estaciones: calibración del sistema BCI, sintonización de parámetros, aplicación del control de la BCI durante el juego

(Tangermann, 2008). La emoción, sorpresa y otros estados mentales tienen un rol importante en los paradigmas en tiempo real.

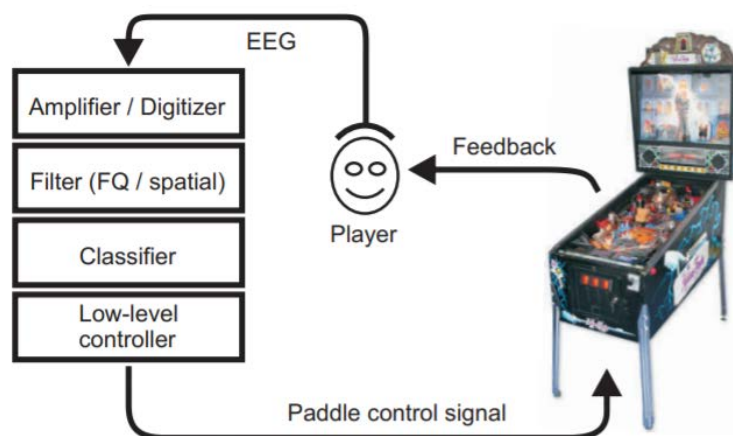


Figura 2- 15. Diseño esquemático del juego.
Fuente: Extraído de (Tangermann, 2008).

2.5 Dispositivo EEG Para La Adquisición De Señales Cerebrales

El dispositivo que será empleado para realizar la adquisición de las señales cerebrales de los usuarios será un g.Nautilus, el cual se muestra en la Figura 2-16. Emplea electrodos secos, y es inalámbrico, lo cual va a permitir que el usuario tenga total libertad para moverse dentro de un determinado ambiente. Las señales obtenidas son de una resolución de 24 bits y la transmisión de datos se realiza instantáneamente. Asimismo, el campo de aplicaciones de este dispositivo es muy amplio. Así, se tienen las áreas de rehabilitación física, los problemas de desorden mental, en la ciencia y medicina deportiva, y finalmente para llevar a cabo acciones de control.



Figura 2- 16. EEG Inalámbrico g.Nautilus.
Fuente: Extraído de (g.TEC Medical Engineering, 2019).

También, como otra alternativa existente a mencionar, se tienen los sistemas EEG alámbricos, que emplean la tecnología de electrodos húmedos. Los electrodos son montados en una gorra y son sostenidos por pequeños ganchos de plástico. Luego, se llenan con un gel electrólito. En la Figura 2-17 se presenta un sistema bajo este principio de funcionamiento,



Figura 2- 17. EEG alámbrico basado en electrodos húmedos.
Fuente: Extraído de (Nathan, 2013).

2.6 Actuador Del Sistema: Máquina Para Preparación De Palomitas De Maíz



Después de haber descrito de manera detallada cómo funciona una BCI, se hablará de la máquina a diseñar que formará parte del sistema, en este caso una máquina de cocción de granos de maíz, la cual realizará de manera automática el proceso de preparación, sin requerir la supervisión del usuario, para que este se pueda ocupar de otras tareas y tener un descanso efectivo. Actualmente, existen diversas máquinas, de diferentes formas y algunas con más funciones que otras, que pueden preparar palomitas de maíz en el hogar de manera sencilla pero siempre requiriendo un operario supervisando el proceso. Estas pueden emplear dos métodos de cocción: a través de aire caliente o con aceite. Se pasará a describir cada uno de los métodos antes mencionados.

2.6.1 Máquinas de palomitas de maíz comerciales basadas en aire caliente

El método de aire caliente representa la opción más sana, pues no requiere aceite ni mantequilla para la preparación. El funcionamiento se basa en que un flujo de aire caliente, que es dirigido en dirección vertical, provoca la explosión de los granos de maíz a una temperatura aproximada de 180 °C (Virot & Ponomarenko, 2015), que se encuentran dentro del recipiente de la máquina cuando se alcanza una temperatura determinada y hace que circulen, saliendo por la tolva de alimentación (Estados Unidos Patente nº 4152974, 1979). En la Tabla 2-5, se presentan algunas máquinas que son vendidas, basadas en este principio de funcionamiento.

Tabla 2- 5. Tabla comparativa de máquinas de palomitas de maíz basadas en aire caliente.

Fuente: Elaborado con: (Amazon, 2016), (Amazon, 2015), (Amazon, 2018).




Máquinas	West Bend 82700 Popcorn on Demand Hot Air Popcorn Popper Machine	Nostalgia SP660SS 6-Quart Stainless Steel Stirring Speed Popcorn Popper	OPOLAR Fast Hot Air Popcorn Popper
			
Fabricante	West Bend	Nostalgia	OPOLAR
Tipo de preparación	Aire caliente	Aire caliente	Aire caliente
Material	Acero cromado	Acero Inoxidable	Plástico
Peso (kg)	2.27	1.81	1.13
Precio (\$)	80	30	23
Dimensiones (in)	6.5 x 11 x 13.25 in	11 x 10 x 10.5	10.2 x 9.2 x 5.8

2.6.2 Máquinas de palomitas de maíz comerciales basadas en aceite

Este principio de funcionamiento se basa en colocar una cierta cantidad de aceite en el recipiente de la máquina para luego agregar los granos de maíz. Luego, un brazo agitador al interior empieza a rotar a la vez que se calienta el recipiente y el aceite. Debido a esto, los granos comenzarán a explotar cuando se llegue a una temperatura deseada y la máquina tendrá que ser desconectada manualmente una vez que se terminó el proceso (Beach). En la

Tabla 2-6 se presentan y comparan las características de algunas máquinas comerciales que emplean este principio de funcionamiento.

Tabla 2- 6. Tabla comparativa de máquinas de palomitas de maíz basadas en aceite caliente.
Fuente: Elaborado con (Amazon, 2007), (Amazon, 2014), (Amazon, 2014).

Máquinas	Pasadena 8 oz. Antique Red Countertop Popcorn Machine	Hamilton Beach Electric Hot Oil Popcorn Popper	West Bend 8231 Stir Crazy Deluxe Electric Hot Oil Popcorn Popper Machine
			
Fabricante	Great Northern Popcorn Company	Hamilton Beach	West Bend
Tipo de preparación	Aceite	Aceite	Aceite
Material	Acero	Plástico	Plástico
Peso (kg)	16.32	2.65	0.9
Precio (\$)	173.47	30	55.19
Dimensiones (in)	17.5 x 20.5 x 24.8	11.1 x 13.5 x 9.2 in	13.8 x 13.2 x 8.1 in

2.7 Patentes

En esta sección se presentarán algunos trabajos previos realizados por investigadores para el desarrollo innovador de máquinas de palomitas de maíz.

2.7.1 Patente “Hot air corn popper” - US4152974A

Esta patente, como lo muestra la Figura 2-18, menciona que una máquina de palomitas basada en aire caliente tiene un cuerpo cerrado en la parte inferior por una cubierta extraíble, en donde son colocados los granos de maíz sin reventar. Asimismo, cuenta con una tolva de alimentación de flujo por gravedad, que proporciona un flujo de aire caliente dirigido hacia la boca de salida y producido en la parte inferior del cuerpo. El flujo de aire caliente hace explotar los granos y los extrae del recipiente hacia un envase en donde son almacenados.

U.S. Patent May 8, 1979 Sheet 1 of 3 4,152,974

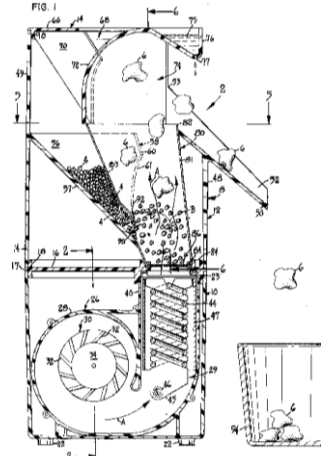


Figura 2- 18. Máquina de palomitas de maíz basada en el flujo de aire caliente.
Fuente: Extraído de (Estados Unidos Patente n° US4152974A, 1978).

2.7.2 Patente “Popcorn popper having improved heated air flow” - US4702158A

La patente que se muestra en la Figura 2-19 describe una máquina de palomitas de maíz basada en el flujo de aire caliente en una cámara de cocción, que contiene una gran variedad de orificios orientados de forma radial en la parte inferior. Además, cuenta con dispositivo difusor para dirigir el aire hacia adentro desde el exterior y lo expulsa a través de los agujeros, gracias a un ventilador de tipo paleta, que lleva el aire hacia una bobina que lo calienta, logrando un calentamiento eficiente (Estados Unidos Patente n° US4702158A, 1987).

U.S. Patent Oct. 27, 1987 Sheet 1 of 3 4,702,158

Fig 1

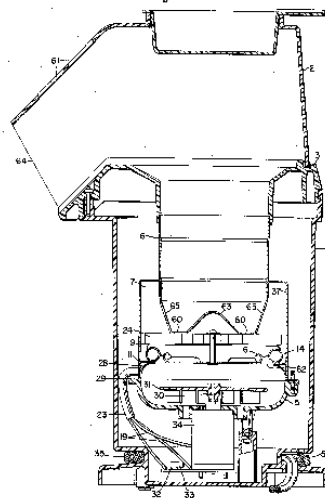


Figura 2- 19. Patente “Popcorn popper having improved heated air flow”.
Fuente: Extraído de (Estados Unidos Patente n° US4702158A, 1987).

2.7.3 Patente “Automatic popcorn popper with thermal controller” - UAS5743172A

La patente, que se ilustra en la Figura 2-20, describe un método para reventar los granos de maíz a través de un hervidor eléctrico, cuya temperatura es controlada. Inicialmente, este hervidor se calienta a una temperatura de inicio de cocción y, mediante un vibrador y una señal de alerta se avisa al operador para que coloque los granos de maíz en el recipiente. Una vez colocados, se activa el ciclo de cocción elevando la temperatura, cocinando las palomitas de maíz. Finalmente, el recipiente se inclina para descargar los granos de maíz cocidos.

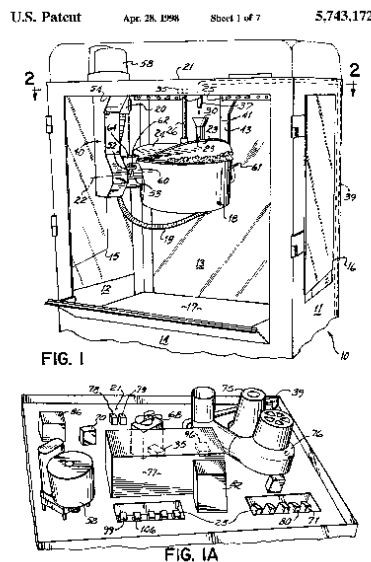


Figura 2- 20. Patente “Automatic popcorn popper with thermal controller” - UAS5743172A.
Fuente: Extraído de (Estados Unidos Patente n° US5743172A, 1997) .

2.7.4 Patente “Fresh popcorn vending machine” – US3641916A

Está basada en una máquina de palomitas de maíz que contiene un circuito de control electrónico cronometrado, el cual comienza a operar una vez que una moneda es insertada dentro del sistema. Incluye una válvula solenoide que introduce aceite en un recipiente calentado eléctricamente, otra válvula solenoide que funciona como una compuerta para permitir el acceso del maíz sin cocer, un controlador para la cocción adecuada del maíz, así

como indicadores que muestran los procesos operativos de la máquina (Estados Unidos Patente nº US3641916A, 1970). En la Figura 2-21, muestra la patente antes descrita.

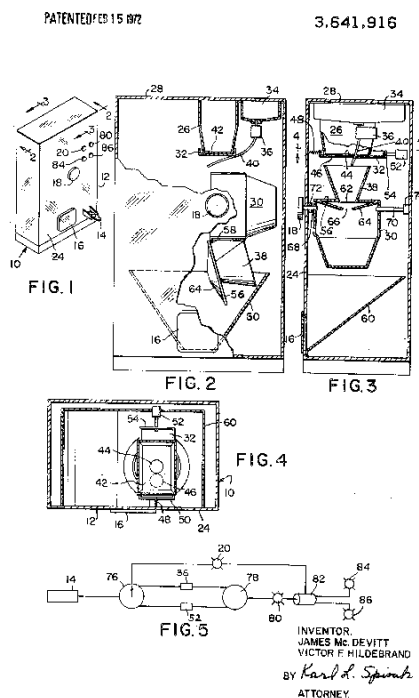


Figura 2- 21. Patente “Fresh popcorn vending machine” – US3641916A.
Fuente: Extraído de (Estados Unidos Patente nº US3641916A, 1970).

2.7.4 Patente “Automatic popcorn vending machine” – US 20060288876A1

El sistema diseñado requiere de la mínima intervención de un operario y mantenimiento. Es un sistema integrado que emplea un mecanismo para la cocción de palomitas de maíz y se puede apreciar en la Figura 2-22. La porción de los granos ya está predefinida para así controlar la cantidad que necesitará ser preparada. Así, el mecanismo podrá soltar una de estas a la vez hacia el mecanismo de preparación. De la misma manera, el sistema cuenta con una zona para alojar las palomitas maíz que ya están preparadas. Estas saldrán por un mecanismo de entrega, que facilitará el transporte de este alimento hacia un recipiente para poder ser consumido. Por otro lado, un circuito electromecánico permitirá operar el mecanismo para dispensar las palomitas de maíz hacia el sistema de cocción, controlar la cantidad de granos preparados en la tolva y controlar el transporte hacia el recipiente de salida para la entrega (Estados Unidos Patente nº US 20060288876A1 , 2006).

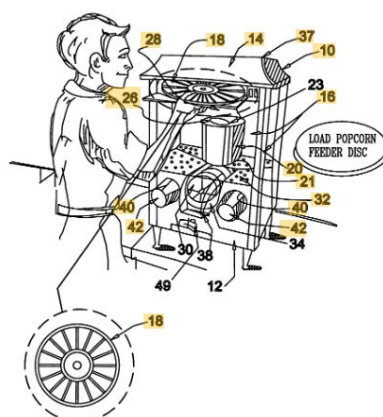


Figura 2- 22. Patente “Automatic popcorn vending machine” – US 20060288876A1.
Fuente: Extraído de (Estados Unidos Patente nº US 20060288876A1 , 2006).




2.8 Sensores

Las máquinas de palomitas de maíz pueden emplear diversos sensores, a través de los cuales se realiza la medición de las variables importantes del sistema, como la temperatura y el nivel de fluido de manera precisa.

2.8.1 Sensores de temperatura

Estos sensores son uno de los elementos esenciales en la máquina, pues para realizar el control de la temperatura debe conocerse esta variable de manera precisa. Asimismo, los granos de maíz explotan a una temperatura determinada y esto podrá ser medido con los sensores presentados en la Tabla 2-7, basados en distintos principios de funcionamiento.

Tabla 2- 7. Tabla comparativa entre sensores de temperatura.
Fuente: Elaborado con: (Naylamp Mechatronics, 2019).

Sensores	RTD	Termocupla	Termistor NTC
			
Voltaje de operación (V)	-	5	-
Resolución de temperatura (°C)	Clase B ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a 0°C)	0.25	-
Dimensiones (mm)	D4mm x L30mm	25 x 15 x 13	
Principio	Resistencia	Potencial	Resistencia
Rango de temperatura (°C)	-100 a 400	-200 a 1300	-50 a 260
Consumo	-	50 mA	10 k + -1%
Peso	-	Bajo	Bajo
Respuesta	Rápida	Rápida	Rápida
Precio	Aprox. 15	Aprox. 55	Aprox. 5

2.8.2 Sensores de proximidad

Estos sensores serán empleados para reconocer los momentos en que las palomitas de maíz salen de la máquina y son colocadas en un recipiente para el consumo del usuario. Una vez que se detecte que el recipiente está lleno, se apagará la máquina para evitar que el contenido de este se rebalse. En la Tabla 2-8 se presentan sensores de presencia basados en principios de funcionamiento distintos.

Tabla 2- 8. Tabla comparativa entre sensores de proximidad.
Fuente: Elaborado con (Naylamp Mechatronics, 2019).

Sensores	Sensor inductivo	Sensores Capacitivo	Sensor óptico
			
Voltaje de operación	6 -36 VDC aprox.	6 – 36 VDC aprox.	24 VDC
Corriente de salida	300 mA aprox.	300 mA aprox.	300 mA aprox.
Rango de detección	4mm aprox.	1-5 mm	Hasta 4m
Temperatura de trabajo	-25 - 55 °C	-25 -70 °C	-25 – 55 °C
Tamaño	Pequeño	Pequeño	Pequeño
Precio	Bajo	Medio	Alto




2.9 ACTUADORES

Estas máquinas contienen actuadores, a través de los cuales se podrá realizar la correcta cocción y elaboración de los granos de maíz. De esta manera, en esta sección se presentan los actuadores empleados, comparándolos de acuerdo a sus principios de funcionamiento.

2.9.1 Motores para ventilación

Para producir el flujo de aire dentro de la máquina, será necesario emplear un motor que permita mover una hélice. A través de esto, las palomitas de maíz saldrán desde el interior de la máquina hacia un recipiente. A continuación, se presenta la Tabla 2-9, en la que se comparan motores con distintos principios de funcionamiento.




Tabla 2- 9. Tabla comparativa entre motores.
Fuente: Elaborado con (Naylamp Mechatronics, 2019).

Actuador	Servomotor	Motor DC	Motor a pasos
			
Voltaje de alimentación	4.8 – 7.2 VDC aprox.	5 – 12 VDC aprox.	24 VDC
Velocidad de rotación	0.15 seg/60° (A 60V)	6V (165 rpm) /12V (350 rpm) aprox.	300 – 600 rpm
Dimensiones	40,6 x 19,8 x 42,9 mm	D25mm x L71mm	42.2mm x42.2mm
Peso	55g	95g aprox.	700g aprox.
Precio	S/. 28 aprox.	S/. 80 aprox.	S/. 100 aprox.

2.9.2 Calentador

Para producir la explosión de los granos de maíz, estos deben experimentar un cambio de temperatura que permita su cocción. En ese sentido, a la salida del flujo de aire debe colocarse un calentador que permita cambiar la temperatura a la que circula el aire. En la Tabla 2-10, se presentan algunos de los componentes más usados para realizar esta función.

Tabla 2- 10. Tabla comparativa entre calentadores.
Fuente: Elaborado con (Vulcanic, 2015).

Calentadores	Calentar enfundado	Calentador de aletas	Calentador de recipientes
			
Características	<ul style="list-style-type: none"> -Solución universal para el calentamiento de sólidos, líquidos o gases. -Funciona mediante la convección natural o forzada e incluso conducción -Temperatura puede ser controlada 	<ul style="list-style-type: none"> -Calentamiento por convección natural o forzada -Su superficie favorece el intercambio térmico -Permite calentamiento de gases estáticos -Genera corrientes de aire a temperatura controlada 	<ul style="list-style-type: none"> -Calor se transmite por conducción -Muy empleado en máquinas de palomitas de maíz -Ofrece hasta 1500 W de energía calorífica
Material	Acero al carbono, acero inoxidable	-Acero al carbono/Acero inoxidable	-Metal



Capítulo 3

Diseño Conceptual

En el presente capítulo se presentará el diseño conceptual del sistema a diseñar, considerando la lista de exigencias o requerimientos que permitan cumplir con ciertos estándares de diseño y necesidades del sistema. Seguidamente, se mostrará el blackbox del sistema, con sus respectivas entradas y salidas. Luego, la estructura de funciones con cada uno de los subsistemas considerados, al igual que las funciones parciales correspondientes. Asimismo, se tendrá la matriz morfológica, considerando 3 formas de diseñar el sistema basándonos en los principios de funcionamiento existentes y, seguidamente, el desarrollo experimental propuesto. Finalmente, se describirán 3 conceptos de solución con sus dibujos a detalle correspondientes.

3.1 Lista De Exigencias

El sistema necesita cumplir con ciertas exigencias para la correcta adquisición y procesamiento de las señales cerebrales proporcionadas por un usuario para generar la

activación de la máquina para la elaboración de los granos de maíz. En esta sección se presentará la lista de exigencias del sistema junto con los requisitos establecidos. Algunos de estos serán exigencias para cumplir con el correcto funcionamiento, mientras que otros simplemente serán deseos, en orden de realizar un mejor diseño. En el Anexo A se presenta esta lista a detalle.

3.2 Estructura De Funciones

3.2.1 Blackbox

Se presenta el blackbox del sistema, el cual puede observarse en la Figura 3-1. Aquí se encuentran las entradas y salidas del mismo, que corresponden a materia (M), energía (E) y señales (S). Este sistema tiene dos componentes. En primer lugar, se presenta la BCI, la cual adquirirá las señales cerebrales del usuario para realizar el procesamiento y detección de los estados mentales. Para poder iniciar con este procedimiento, es necesario encenderla, enviando una señal y seguidamente otra señal para el inicio. Luego del procesamiento, se enviará una señal interna para activar la máquina automática. En ese sentido, esta tendrá como entradas de materia: granos de maíz enteros, aire o aceite. A la salida, se obtendrá granos de maíz cocidos, granos de maíz sin cocinar y aire o aceite caliente. Respecto a la energía, en la entrada se tendrá energía mecánica y eléctrica y, a la salida, energía térmica. Por último, en caso ocurra alguna falla durante el funcionamiento de la máquina, tendrá que enviarse una señal de parada de emergencia para detener inmediatamente todo el proceso. En la salida, se tendrán señales (visuales o sonoras) que van a permitir mostrar el estado del proceso de la máquina, una señal de emergencia y la señal de fin de cocción.

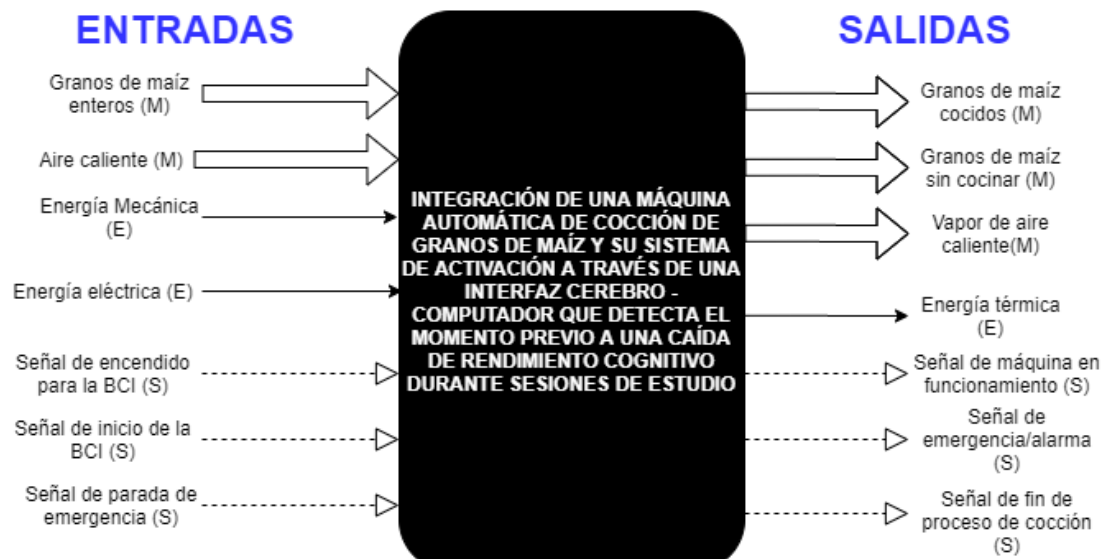


Figura 3- 1. Blackbox del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Lista de funciones

Se presentará en el Anexo B, subcapítulo B.1 cada una de las funciones parciales que forman parte del sistema, detallando brevemente de qué se encarga cada una. Asimismo, en la Figura 3-2 se muestra el diseño de la estructura de funciones del sistema integrado, la cual ha sido dividida en 8 secciones: Interfaz de usuario, BCI, control, energía, comunicación, sensores, actuadores y materia.

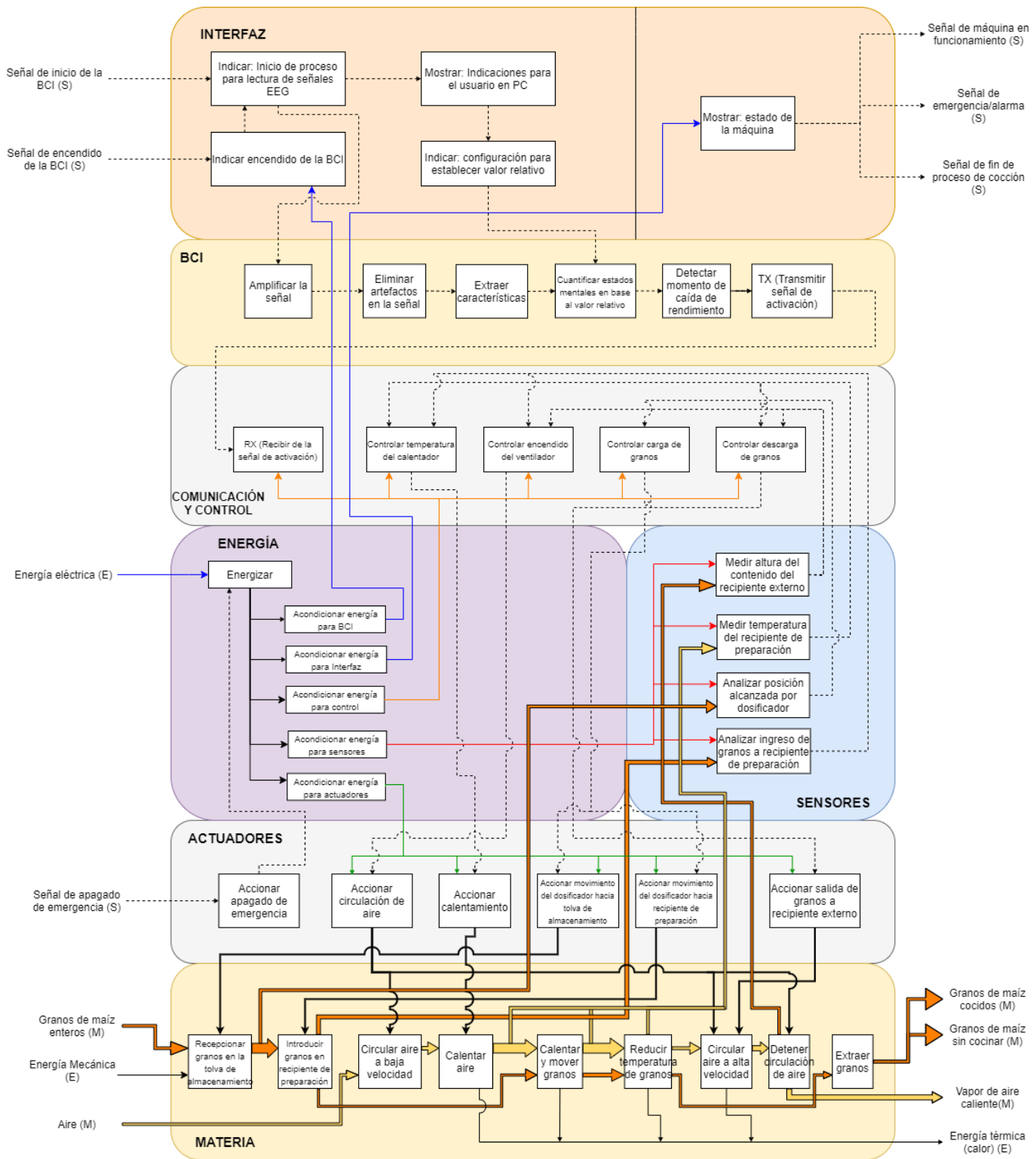



Figura 3- 2. Estructura de funciones del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Matriz Morfológica

Se presentará la matriz morfológica con 3 portadores de funciones, en base a distintos principios de funcionamiento. Mediante esta metodología se analizaron las diferentes alternativas para elegir una solución óptima. Esta se encuentra en el Anexo C.

Tabla 3- 1. Flechas para los conceptos de solución para la matriz morfológica.

Fuente: Elaboración propia

Indicador	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Flecha			

3.4 Diseño Del Concepto Óptimo Del Primer Componente Del Sistema

En este subcapítulo, se ilustra el diseño del entorno de operación del sistema y las 3 posibles soluciones para el primer componente del sistema: la máquina que realizará la tarea de cocción de granos de maíz, bosquejadas a mano, cumpliendo las funciones presentadas en la matriz morfológica. Se elaboraron los dibujos tomando en cuenta la adecuada presentación de las funciones principales y los detalles adecuados que permitan la comprensión de la distribución de entorno, mecanismos y componentes. Asimismo, se realizó la evaluación del concepto de solución óptimo para la máquina, siguiendo la metodología VDI 2225, la cual se refiere al empleo de un cuadro para analizar a través de puntajes los aspectos técnicos y económicos representativos de cada solución. En el Anexo D, se han colocado las imágenes con mayor detalle junto con los respectivos detalles. En este apartado no se consideró un diseño para la BCI, dado que este es de uso extendido en la industria para la detección de ondas cerebrales

3.4.1 Diseño del entorno de operación del sistema

En la Figura 3-3 se presenta el diseño del entorno en donde funcionará el dispositivo EEG y la máquina. La persona se encontrará en una habitación, sin ningún tipo de perturbación,

mientras que la máquina se ubicará en un ambiente, como puede ser una cocina, lista para ser activada remotamente a través de una señal, cuando se detecte la fatiga en el usuario. El usuario estará realizando una actividad académica y la computadora en donde se realizará el procesamiento se encontrará cerca, de tal forma que no interfiera con lo que el usuario esté haciendo.

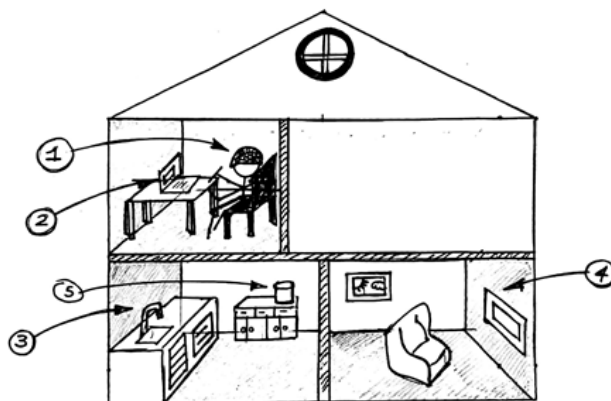


Figura 3- 3. Configuración para la aplicación del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Diseño del concepto N° 1

En el presente concepto de solución, como se aprecia en la Figura 3-4, los granos de maíz sin cocer entran a través de un recipiente contenedor (1), en donde son almacenados hasta que comience el proceso. Seguidamente, el sistema dosificador (3), cuyo detalle se muestra en la Figura 3-3, accionado mediante un servomotor (4), permite el paso de los granos en una porción determinada a través de un tubo hacia el recipiente de preparación, en donde serán preparados mediante la técnica de aire caliente. Este dosificador tiene un sensor de fin de carrera (17) para determinar la posición exacta en la que deberá detenerse el giro del servomotor.

Dos sensores fotoeléctricos en barrera (5) detectarán la caída de los granos de maíz hacia el recipiente de preparación. Una vez que ya no se detecte la caída de algún grano, entonces el sistema de preparación entrará en operación, activando en primer lugar el calentador en aletas (6) y el ventilador accionado a través de un motor DC (7), para permitir el flujo de aire caliente.

Los granos que ya estén listos saldrán a través de otra tubería para facilitar la salida de estos gracias al flujo de aire y ser direccionados hacia un depósito extraíble (14) que forma parte de la máquina para ser utilizado por el usuario. La salida de granos también será analizada mediante un sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo (16), de tal manera que se pueda enviar una señal de apagado del sistema de preparación y dar aviso al usuario que el alimento ya se encuentra listo. Finalmente, los componentes electrónicos del sistema están colocados en la parte inferior de la máquina y en cada una de las secciones de la máquina habrán agujeros para facilitar la salida de cables y permitir las conexiones hacia los diferentes componentes.

Asimismo, se tiene un botón de emergencia que podrá ser accionado de manera inalámbrica por el usuario o enviando un comando a través de la computadora. El sistema cuenta con una pantalla táctil TFT (18), en donde se podrán realizar distintas configuraciones y un parlante (19) para dar aviso al usuario. Para mayor detalle de la solución 1, consultar en el Anexo D las imágenes D-1 hasta la D-6 y el índice en la Tabla D-1.

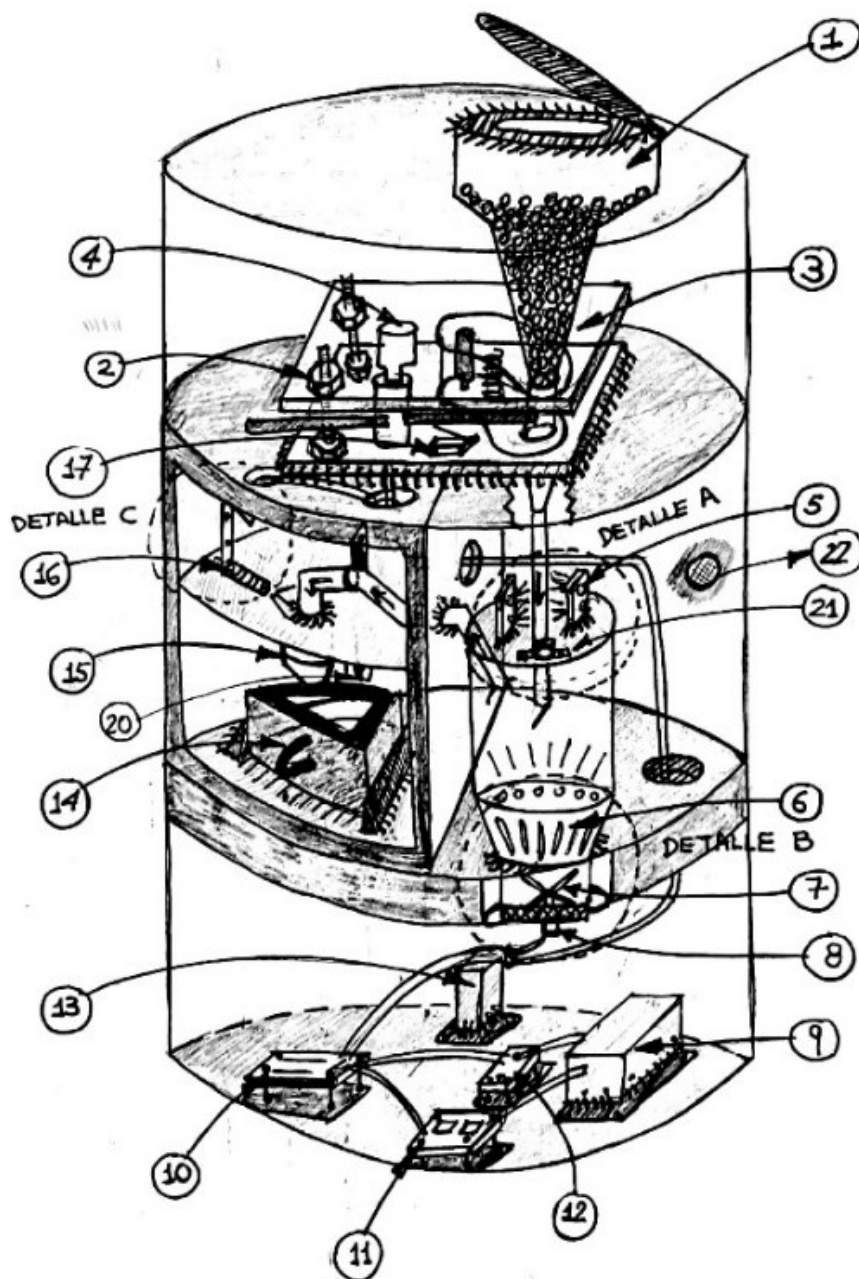


Figura 3- 4. Concepto de solución 1.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Diseño del concepto N° 2

Para el concepto N° 2, ver Figura 3-5, se cuenta con un sistema dosificador mediante porciones de granos preestablecidas (3), accionado mediante un sistema de engranajes (2), cuyo movimiento de rotación es proporcionado por un servomotor (4). El acceso de granos a la zona

de preparación se realiza a través de una manguera plástica (5) conectada con el recipiente de preparación (7) de aire caliente. El análisis de la entrada de granos es realizado mediante un sensor inductivo, para conocer en caso haya ocurrido un atasco durante la entrada. Una vez que los granos hayan ingresado, se activará el sistema calentador (8) y los ventiladores accionados por un motor DC (9), para cocinar los granos de maíz y transportarlos a un recipiente de almacenamiento interno. Los granos entrarán y serán ordenados mediante un sistema de espátulas movido a través de un motor a pasos. Un sensor ultrasónico (11) medirá el contenido en este recipiente y determinará el momento en que el sistema de preparación de aire caliente debe detenerse para evitar un exceso en la porción.

Cuando se haya alcanzado el nivel de palomitas adecuado, están saldrán hacia una bandeja que tiene una inclinación (12) para dirigirlas hacia un sistema de espiras giratorias (13), accionado por un motor a pasos, el cual facilitará la salida de los granos en su totalidad hacia un recipiente externo. En la zona de descarga, en caso ocurra caída de granos, se tendrá un sistema de almacenamiento para evitar desperdicios (16). Asimismo, se tiene una pantalla LCD (14), una botonera con funciones básicas (15), como permitir la salida de granos atascados, un pequeño parlante (17) y un interruptor de emergencia (18) colocado en la parte lateral de la máquina y de fácil acceso. Los componentes y cableado estarán ubicados en un compartimento situado en la parte lateral de la máquina, protegido contra el polvo y la humedad. Por otro lado, para realización de labores de mantenimiento, la máquina tendrá un sistema de apertura a través de dos puertas con tiradores. Para mayor detalle, consultar en el Anexo D las imágenes D-7 hasta D-12. Asimismo, para detalle de los componentes, verificar la Tabla D-2.

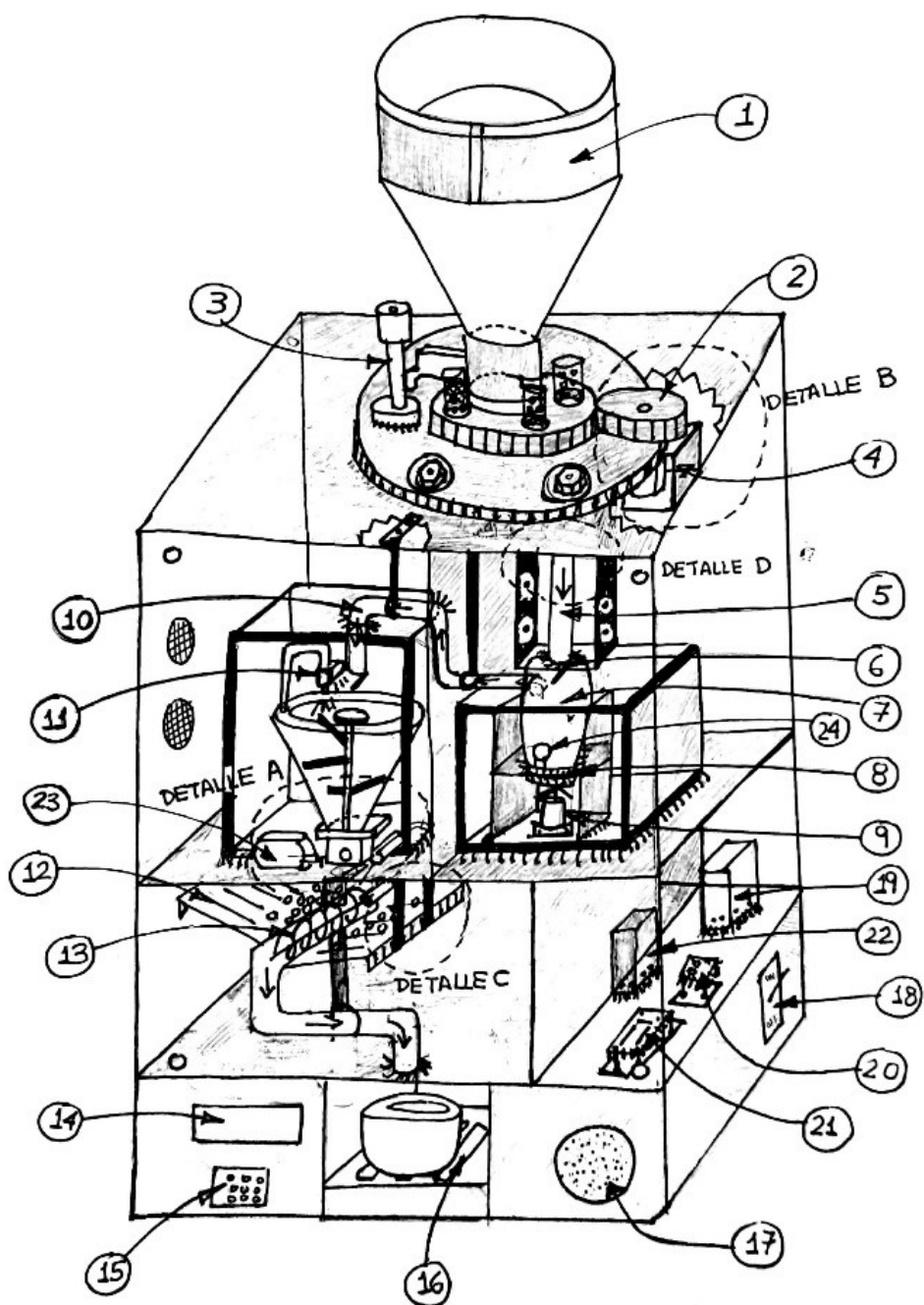


Figura 3- 5. Concepto de solución 2.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Diseño del concepto N° 3

En el caso del concepto N° 3, ver Figura 3-6, el ingreso de granos se realiza a través de un pequeño tubo (1), de tal manera que estos pasen hacia un recipiente contenedor (3), en donde serán almacenados. La salida se produce mediante un sistema de espiras rotatorias (2), que permitirán el transporte de los granos hacia el sistema de preparación en porciones determinadas. Este es accionado por un motor a pasos (10). La zona de preparación está basada en un recipiente con un calentador (8), que lleva los granos a la temperatura adecuada mediante conducción y un sistema de espiras rotatorias a través de un servomotor (5) para moverlos mientras son cocinados (7). Los granos se reventarán y caerán por una tolva (9) que los dirigirá a un recipiente de descarga, en donde serán almacenados para su extracción. Para evitar que se queden atorados dentro del recipiente de preparación, este rotará, accionado por un motor DC (6), en un ángulo suficiente para permitir la caída total de las palomitas de maíz.

El recipiente de descarga cuenta con un sensor de varilla vibrante (7), el cual estará ubicado en una altura determinada. De esta manera, cuando se llene, el contenido de este recipiente entrará en contacto con la sonda del sensor y se producirá la descarga de estos hacia otro contenedor a través de una pequeña válvula solenoide, protegido a través de un sistema de compuerta deslizante (13). Además, el sistema tendrá una serie de indicadores led (11) que indicarán el estado del proceso de la máquina, un parlante (12) para avisar al usuario en caso se termine el proceso u ocurra alguna emergencia, una botonera con diversas funciones de limpieza o extracción (14) y un interruptor de seguridad (15). Para mayor detalle, consultar en el Anexo D las imágenes D-13 hasta D-16. Asimismo, para detalle de los componentes, verificar la Tabla D-3.

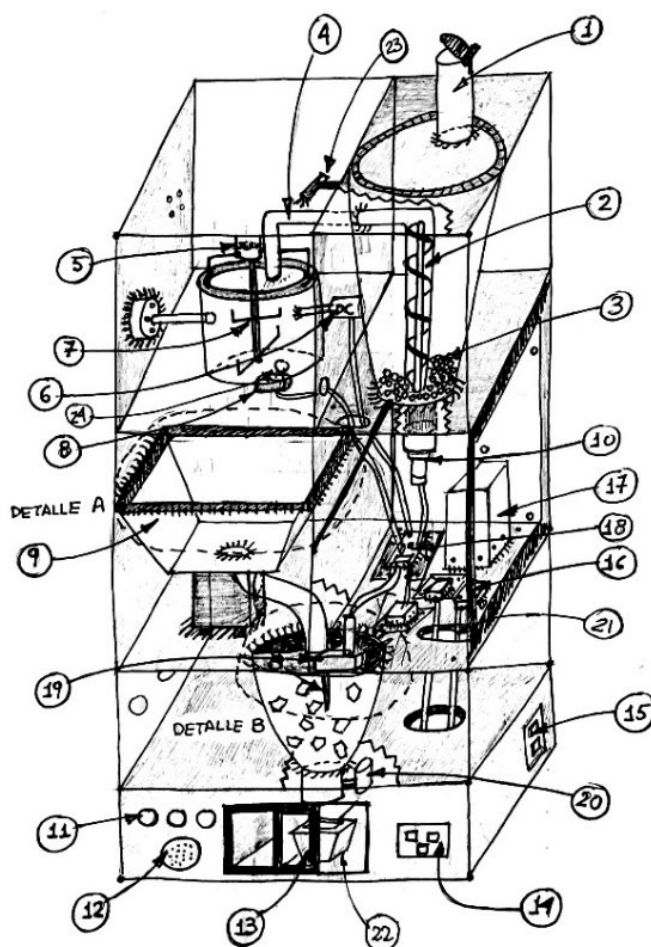


Figura 3- 6. Concepto de solución 3.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Desarrollo del experimento

El desarrollo del experimento tiene como objetivo recolectar y procesar datos proporcionados por un dispositivo EEG de la marca g.Nautilus, inalámbrico, de 32 electrodos secos, que se observa en la Figura 3-7, de tal manera que se detecte el momento en que se produce una transición entre una cambio en los valores de detección para estados mentales, como lo son: fatiga/cansancio/ansiedad/estrés/atención (concentración), para así activar la máquina de cocción de granos de maíz previamente diseñada. Recientes estudios han demostrado que las ondas cerebrales Alfa y Beta están vinculadas a estos estados mentales (Yaomanee, 2012). Durante la atención espacial visual, las ondas Alfa se incrementan mientras que las ondas Beta decrecen.



Figura 3- 7. Dispositivo EEG g.Nautilus.
Fuente: Elaboración propia

3.4.5.1 Estados mentales a ser detectados

Para poder clasificar los estados mentales que experimenta una persona se tomará en consideración la ley de Yerkes – Dodson como se presenta en la Figura 3-8, que se refiere la relación entre el rendimiento y la activación cerebral. Así, se pueden detectar estados mentales de fatiga/cansancio/ansiedad/estrés/atención (concentración).

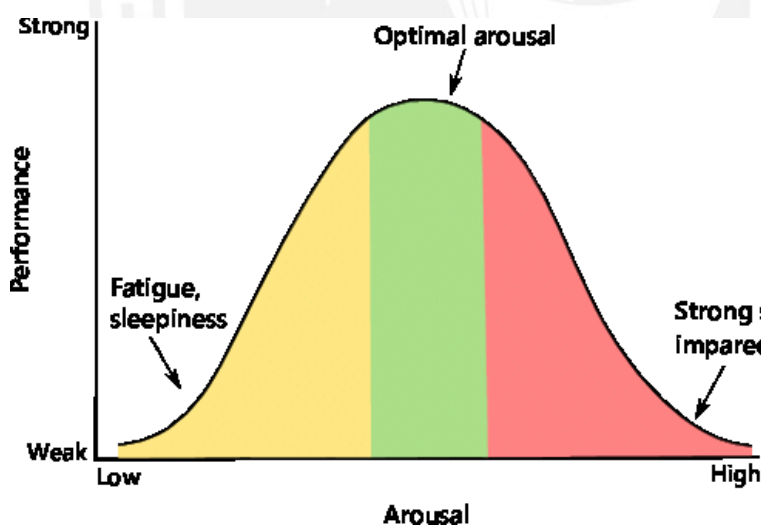


Figura 3- 8. Gráfica de la ley de Yerkes- Dodson, para establecer el rendimiento óptimo.
Fuente: Extraído de (Saeed & Trajanovski, 2017).

3.4.5.2 Colocación de los electrodos

Los electrodos que serán empleados serán colocados de acuerdo al sistema internacional 10-20 en regiones de la cabeza en donde se pueden apreciar cambios significativos entre los

estados de fatiga/cansancio/ansiedad/estrés/atención (concentración). De acuerdo a estudios realizados previamente para la detección de las ondas Alfa y Beta, se escogieron 12 ubicaciones para la detección de estas serán los canales: F7, FC1, F3, AF3, AF4, F4, F8, FC6, P7, O1, O2 y P8, tal como se aprecia en la Figura 3-9. Estas ubicaciones pueden estar sujetas a cambios.

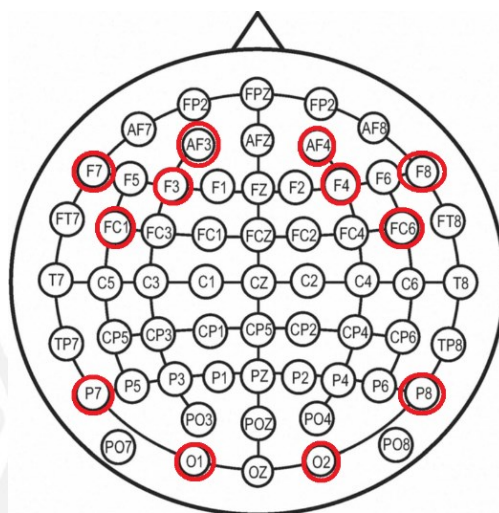


Figura 3- 9. Colocación de electrodos.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5.3 Configuración experimental

El experimento será llevado a cabo en 3 personas entre los 18 y 30 años de edad, cuya salud mental, capacidad auditiva y física son normales. Estas realizarán una determinada actividad cognitiva en un entorno controlado, con sillas cómodas, una mesa regular y una laptop, mientras el dispositivo EEG recolectará la información necesaria para ser procesada en tiempo real. La cafeína, té, cigarrillos o alcohol estarán prohibidos hasta 48 horas antes y durante la realización del experimento. En caso sean ingeridos por los usuarios, estos tendrán que esperar hasta tres días para poder realizar la pruebas adecuadamente. Serán necesarias dos tipos de pruebas experimentales para la obtención de datos: una fuera de línea y otra en línea, las cuales serán descritas a continuación. Dado que las señales EEG obtenidas para cada usuario serán distintas,

este estudio pretende identificar ciertos patrones en las señales que den indicios acerca de los estados mentales que están experimentando.

3.4.5.4 Experimento fuera de línea

El desarrollo del experimento fuera de línea estará basado en un estudio previo realizado para la detección de procesos de reconocimiento de los estados mentales antes descritos. Este estudio consistirá en varias sesiones, en las que los participantes realizarán una tarea cognitiva, la cual deberán tener previamente definida, durante 4 intervalos de 40 minutos y 4 intervalos de descanso de 5 minutos cada uno durante un periodo total de 3 horas mientras llevan puesto el dispositivo g.Nautilus en la superficie del cuero cabelludo. Se verificará que el casco esté correctamente colocado analizando la impedancia de los electrodos seleccionados, la cual deberá ser baja. Seguidamente, los datos de las señales serán almacenados en un archivo. mat para ser procesadas, removiendo el ruido, extrayendo las características de interés y realizando una clasificación de la información obtenida a través de algoritmos, como lo pueden ser método de clasificación mediante un análisis estadístico o mediante redes neuronales, método que serán escogidos más adelante. Esto es necesario, pues permitirá discernir las diferencias entre las señales proporcionadas y enfocarse en las señales que correspondan a estados mentales requeridos. Finalmente, se les pedirá a los usuarios que registren su estado emocional de acuerdo al modelo SAM (*Self Assessment Manikin*) o también aplicando el modelo KSS (*Karolinska Sleepiness Scale*), cada 45 minutos (Shahid, 2012), para recibir retroalimentación y contrastar con los datos analizados. Gracias a esto, se podrán conocer rangos óptimos, para ser empleados posteriormente para el experimento fuera de línea en la parte de la calibración del estado mental actual del usuario.

3.4.5.5 Experimento en línea

Con la información y algoritmos de clasificación empleados en la etapa de pruebas fuera de línea, se llevarán a cabo pruebas en tiempo real. Inicialmente, esta consiste en tomar un registro actual de las señales cerebrales del usuario a través del EEG por un tiempo entre 3 - 5 minutos, para realizar una calibración del sistema. Se prefieren tiempos cortos de calibración debido a que, si son mayores, los estados mentales del usuario podrían deteriorarse. Esto quiere decir, establecer un umbral de valores acerca del estado mental actual del usuario, en base a la clasificación realizada en la etapa de experimentación fuera de línea, en la que se encontraron distintos valores para los estados mentales que experimenta el usuario durante la realización de una actividad académica. Seguidamente, el usuario podrá realizar la actividad cognitiva. Mientras tanto, se dejará el EEG funcionando y realizando las tareas de procesamiento, extracción de características y clasificación de las señales obtenidas, con algoritmos que serán definidos más adelante. Asimismo, cuando el usuario empiece a tener una actividad cerebral con valores fuera del rango óptimo, entonces será el momento de transmitir una señal de activación, la cual indicará que es el momento de tomar un descanso.

3.5 Selección Del Concepto Óptimo

La elección de la solución óptima fue elaborada de acuerdo a un análisis de criterios técnicos y económicos, los cuales son descritos brevemente en el Anexo D, subcapítulo D.4.

3.5.1 Evaluación de conceptos

Se realizó la evaluación técnica y económica de acuerdo a la norma VDI 2225 de cada una de las soluciones presentadas. Los pesos ponderados, titulados con la letra g, tienen pesos que van desde el valor 1 hasta 3. El puntaje titulado con la letra p de cada solución, va desde 0 hasta 4, en donde el 0 representa una opción que no satisface las condiciones de diseño, mientras que el 4 representa la solución ideal. En primer lugar, tanto para los criterios técnicos como económicos, se estableció que las soluciones adecuadas serán aquellas que tengan un valor

mayor o igual a 0,5. De la misma manera, deben presentar un balance entre los criterios técnicos y económicos.

En las tablas 3-2 y 3-3 se presentan los puntajes asignados para los criterios técnicos y económicos, respectivamente. Asimismo, en la Figura 3-10, se ilustra que la mejor solución es aquella que se encuentre ubicada en la parte superior derecha y se encuentren más cercana a la recta de 45°, la cual es 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 presentadas.

Tabla 3- 2. 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 preparación de alimentos	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	Capacidad de 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 3- 3. 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	
Nº	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	

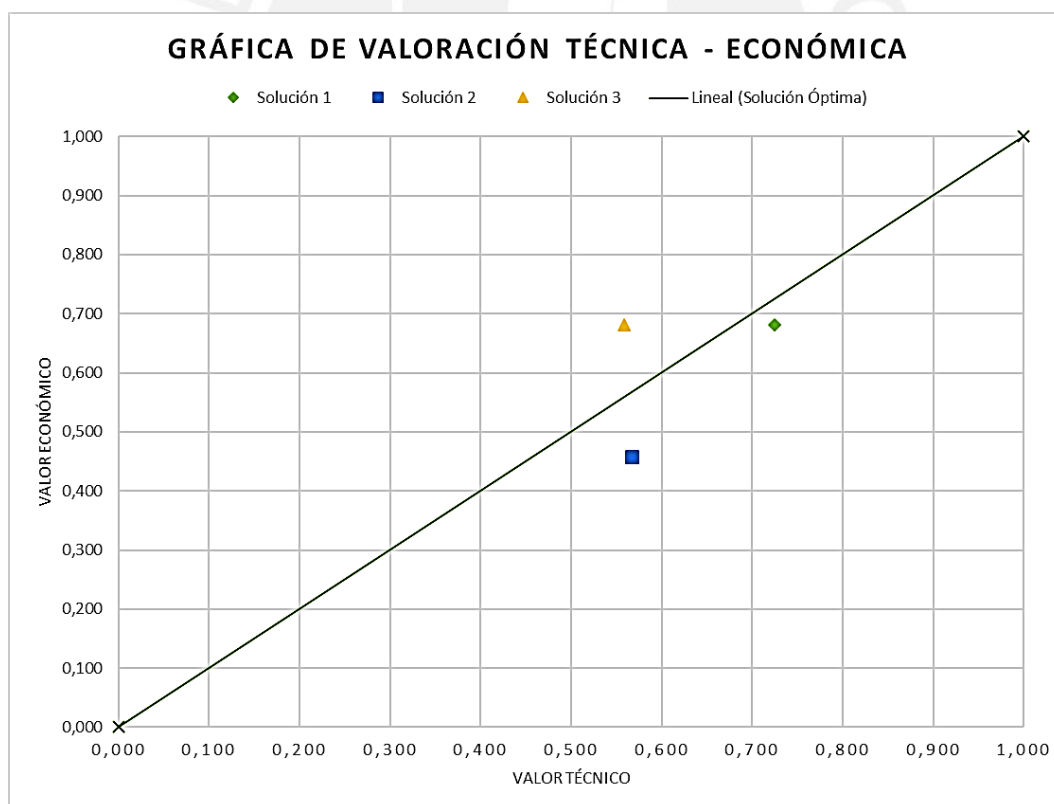


Figura 3- 10. Gráfica de evaluación de los criterios técnicos y económicos.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Diseño del concepto óptimo

Se presenta el modelo óptimo diseñado en un software CAD, el cual se muestra en la Figura 3-11. En el Anexo D se presentarán más detalles del sistema.

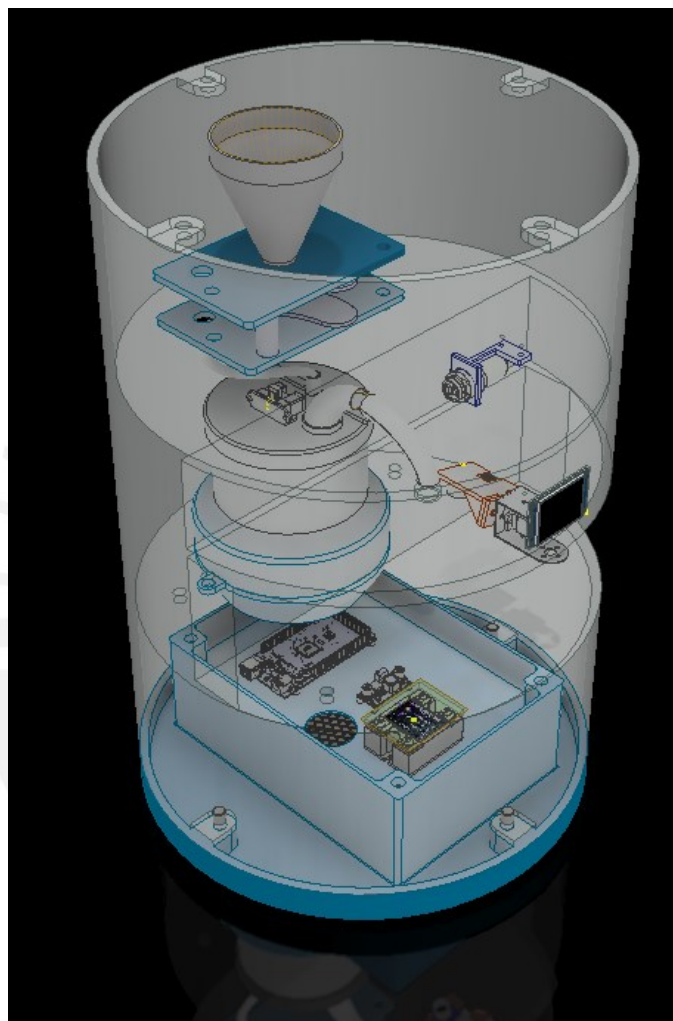


Figura 3- 11. Vista principal del diseño óptimo.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Diagrama de operaciones del procedimiento de uso del sistema

A continuación, en la Figura 3-12, se ilustra el diagrama de operaciones sobre el procedimiento de uso para todo el sistema, el cual involucra el empleo del dispositivo EEG g.Nautilus y la máquina de cocción de granos de maíz.

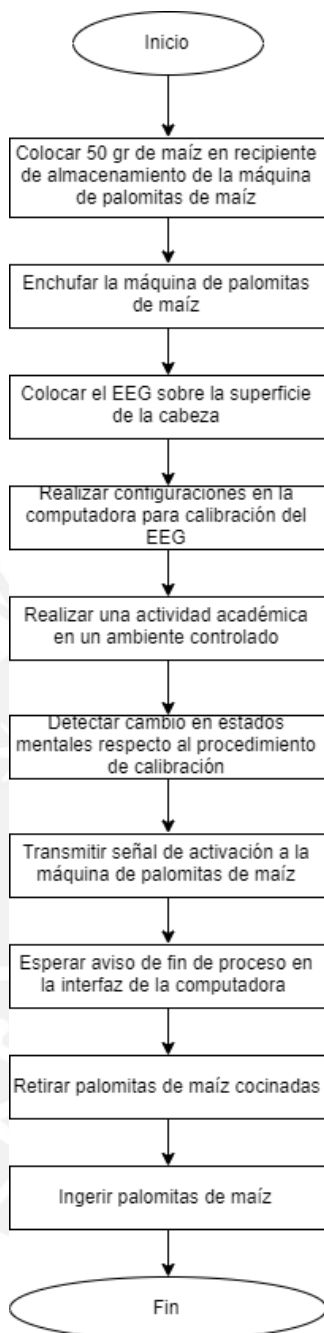


Figura 3- 12. Diagrama de operaciones del procedimiento de uso de la máquina.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Diagrama de operaciones del proceso

En la Figura 3-13 se presenta el diagrama de operaciones del proceso de cocción, en donde únicamente se describen los procedimientos realizados dentro de la máquina de cocción de granos de maíz.

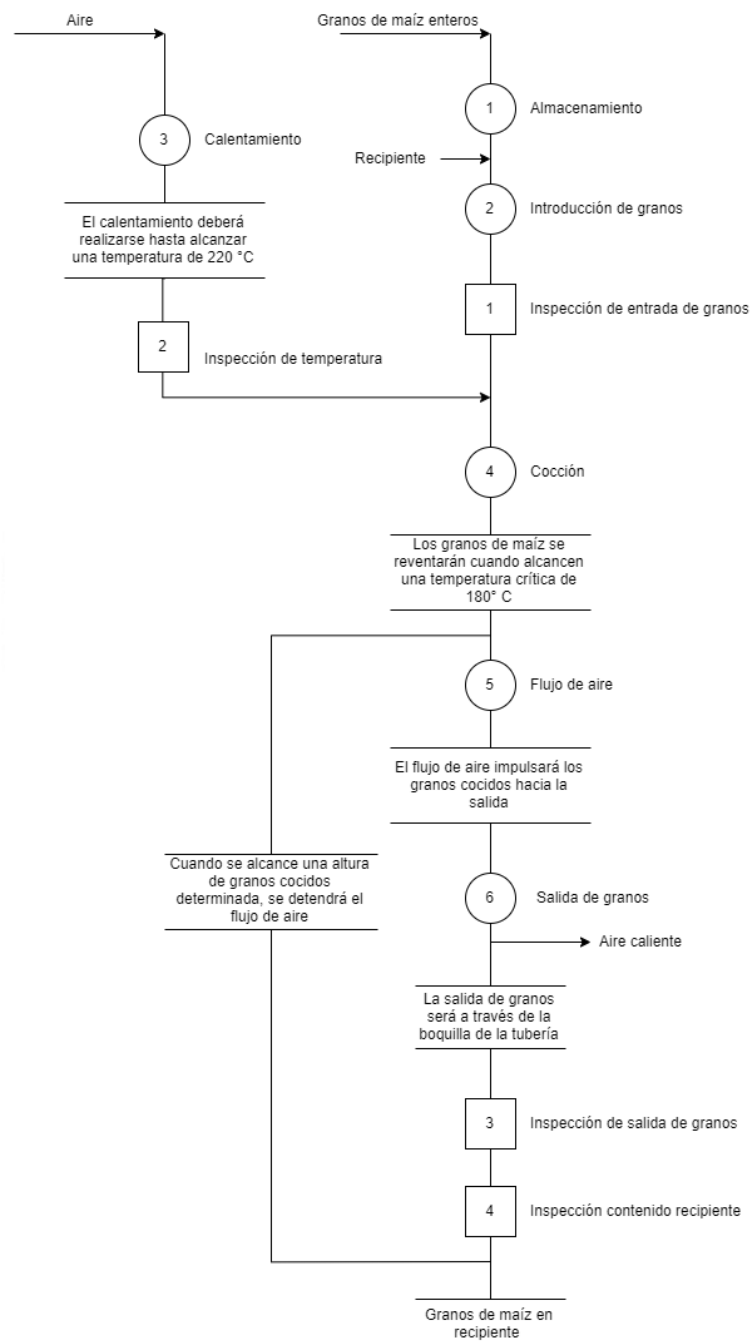


Figura 3- 13. Diagrama de operaciones del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Diagrama de flujo del sistema

En la presente sección, como se observa en la Figura 3-14, se muestra el diagrama de flujo del sistema integrado.

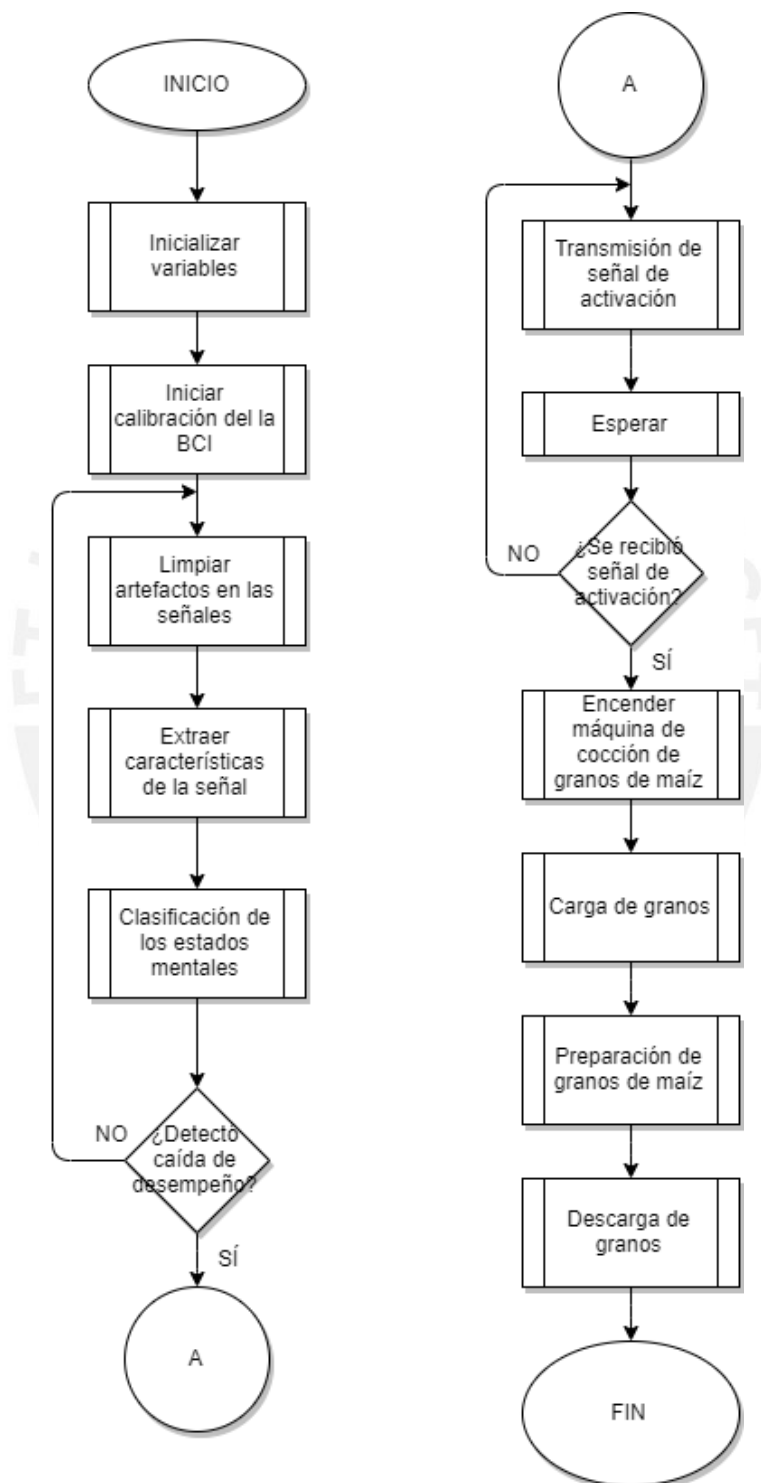


Figura 3- 14. Diagrama de flujo del sistema.

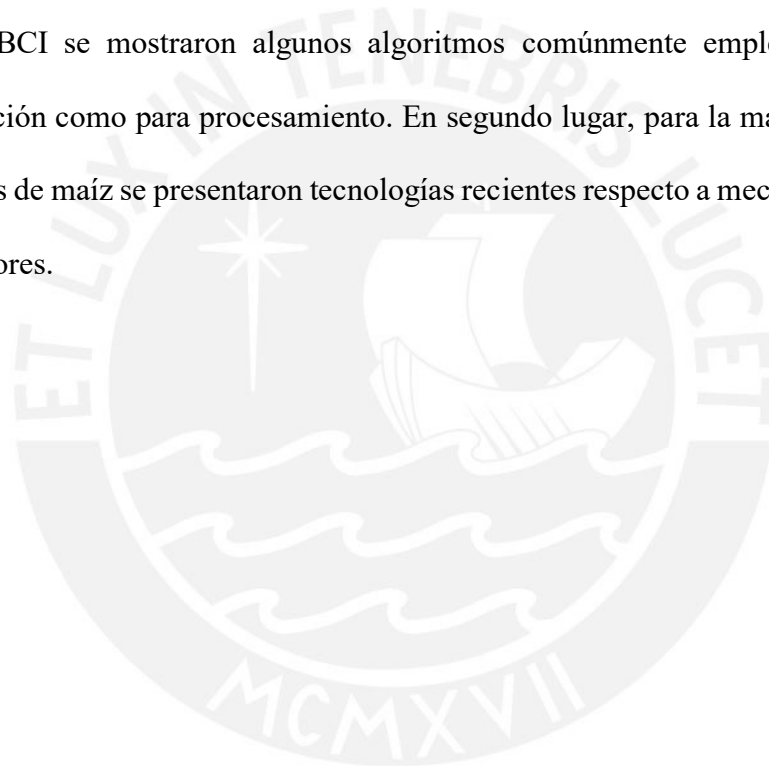
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

- La investigación permitió detectar la carencia de estudios y desarrollo de sistemas en nuestro país que integren la detección de la caída de desempeño cognitivo en las personas y que pueda activar una máquina automática para que prepare un alimento saludable como los granos de maíz (como numerosos estudios lo han demostrado) en porciones adecuadas previo a tomar los descansos para ahorrar el tiempo que alguien se toma en prepararlas durante los cortos periodos de tiempo disponible entre sesiones de estudio, de tal forma que puedan realizar otras actividades, evitar fatigarse mentalmente y reducir su productividad, tomando así un descanso saludable.
- De la misma manera, se cumplió con realizar una investigación para presentar el concepto de solución óptimo del sistema integrado, el cual logrará la detección de caída de rendimiento en estudiantes universitarios para optimizar tiempos de estudio y dar descansos saludables. Esto involucró el diseño preliminar de una máquina automática para la cocción de granos de maíz y las configuraciones necesarias para realizar el experimento con la BCI, para diseñar e implementar el sistema.
- La investigación realizada permitió presentar el primer componente del sistema: la interfaz cerebro-computador (BCI), la cual es una tecnología que está teniendo un gran crecimiento, mostrando qué tipos existen, los métodos de adquisición de señales mediante distintas tecnologías, haciendo énfasis en la electroencefalografía (EEG), y diversos experimentos y aplicaciones en el campo de los estados mentales como la robótica móvil, el control domótico y el entretenimiento.
- Respecto al segundo componente del sistema, la máquina para la cocción de granos de maíz, se presentó una sección con diversas máquinas comerciales para la preparación

de este alimento, separándolas de acuerdo a sus principios de funcionamiento: mediante aire o aceite caliente. Asimismo, se realizó la descripción de algunos componentes tecnológicos empleados en estas máquinas.

- A través de la metodología VDI 2225, se obtuvo el diseño óptimo para el sistema. Para esto, previamente se crearon tres (3) conceptos de solución innovadores, continuando con lo formulado en la estructura de funciones y la matriz morfológica, en las cuales se realizó el análisis de tecnologías para ambos componentes del sistema. En primer lugar, para la BCI se mostraron algunos algoritmos comúnmente empleados, tanto para clasificación como para procesamiento. En segundo lugar, para la máquina de cocción de granos de maíz se presentaron tecnologías recientes respecto a mecanismos, sensores y actuadores.



Recomendaciones

- Si bien el sistema diseñado conformado por dos componentes: una máquina automática para preparar alimentos y la interfaz cerebro – computador, está pensado para generar la activación de una máquina de cocción de granos de maíz, también podría ser empleada en otros campos potenciales como el control domótico, el campo de la rehabilitación, control robótico o el entretenimiento. El campo de acción de las BCI en la vida moderna es muy variado, por lo cual es necesario mantenerse continuamente informado respecto a los avances que se presenten y las aplicaciones en los distintos campos.
- Se observa que las temperaturas alcanzadas para lograr la cocción de los granos de maíz elevada, por lo cual se recomienda para la construcción de la máquina emplear materiales que sean suficientemente resistentes al calor. Por ello, el recipiente de cocción será metálico y el plástico de la carcasa deberá ser resistente al calor y libre de BPA.
- Seguidamente, mientras el usuario lleva puesto el casco EEG g.Nautilus, de forma obligatoria, no deberá realizar movimientos bruscos, pues estos generarán artefactos en las señales, que complicarán el proceso de limpieza de artefactos y la extracción de características.
- Previo a realizar la adquisición de señales cerebrales, es de suma importancia verificar la impedancia de los electrodos del casco EEG, asegurándose que esta sea baja para una adecuada adquisición de datos.
- Para la realización de la selección de componentes electrónicos y mecánicos para la máquina, son necesarios conocimientos en electrónica básica, circuitos eléctricos y diseño de máquinas. Asimismo, para la programación de la máquina será necesario aprender a programar en lenguaje C# y Matlab para los algoritmos de detección de la fatiga.

Bibliografía

g.TEC Medical Engineering. (2019). *g.Nautilus: Specs & Features*. Obtenido de <http://www.gtec.at/Products>

Akin, M. (2002). Comparison of Wavelet Transform and FFT Methods in the Analysis of EEG Signals. *Journal of Medical System*.

Aliño, M. (2017). *Entrenamiento asistido por neurofeedback*. (Dialnet) Recuperado el 09 de Setiembre de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=157036>

Amazon. (2007). *Company, Great Northern Popcorn*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: https://www.amazon.com/Great-Northern-Popcorn-Pasadena-Antique/dp/B000WB1ABU/ref=sr_1_1?keywords=Pasadena+popcorn&qid=1568782259&s=gateway&sr=8-1

Amazon. (2014). *Hamilton Beach*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: https://www.amazon.com/Hamilton-Beach-804067325546-Popper-Hot-73302/dp/B00JR5ADE2/ref=sr_1_2?keywords=hamilton+popcorn&qid=1568782333&s=gateway&sr=8-2

Amazon. (2014). *West Bend Stir Crazy*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: https://www.amazon.com/82505-Electric-Popcorn-Stirring-Convenient/dp/B00KL8SM92/ref=sr_1_6?keywords=west+bend+popcorn&qid=1568782389&s=gateway&sr=8-6

Amazon. (2015). *Nostalgia SP660SS Máquina pochoclera con mezclador, Acero inoxidable*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: https://www.amazon.com/Nostalgia-SP660SS-6-Quart-Stainless-Stirring/dp/B011RBDUEI/ref=sr_1_5?keywords=popcorn+Nostalgia&qid=1568782013&s=gateway&sr=8-5

Amazon. (2016). *Air Crazy 82702 GB palomitas de maíz on Demand, color negro*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: <https://www.amazon.com/West-Bend-82702GB-Popcorn->

Featuring/dp/B01LYVRM0K/ref=sr_1_4?keywords=popcorn+westbend&qid=1568781575&s=grocery&sr=8-4

Amazon. (2018). *OPOLAR Máquina eléctrica de palomitas de maíz de aire caliente*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de Amazon: https://www.amazon.com/OPOLAR-Measuring-Removable-Watching-BPA-Free/dp/B07CYV86LN/ref=sr_1_1_sspa?keywords=OPOLAR+Fast+Hot+Air+Popcorn+Popper&qid=1568782088&s=gateway&sr=8-1-spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzQURRUFA4M0dYNEhWJmVuY3J5cHRlZElkPUEw

Free/dp/B07CYV86LN/ref=sr_1_1_sspa?keywords=OPOLAR+Fast+Hot+Air+Popcorn+Popper&qid=1568782088&s=gateway&sr=8-1-

spons&psc=1&spLa=ZW5jcnlwdGVkUXVhbGlmaWVyPUEzQURRUFA4M0dYNEhWJmVuY3J5cHRlZElkPUEw

Anupama, H. S., Cauvery, N. K., & Lingaraju, G. M. (2012). Brain computer interface and its types-a study. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 739.

B. J. Edelman, J. M. (2019). *Noninvasive neuroimaging enhances continuous neural*.

Beach, H. (s.f.). Popcorn Popper.

Benítez, M. (2018). *Estudio y Análisis de Métodos para la Extracción de Características y Clasificación de Emociones Basados en EEG*. Universidad Autónoma de Madrid.

Berger, T., & Bulanek, D. (28 de Diciembre de 2006). *Estados Unidos Patente n° US 20060288876A1*.

BhuiyanI, M., & Choudhury, A. (2014). 13.22 - Review of Sensor Applications in Tool Condition Monitoring in Machining. *Comprehensive Materials Processing*, 539-569.

Boksem, M., & Meijman, T. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Brain Res Cogn Brain Res*, 107-116.

Brain Support. (2020). *Wet, dry, active and passive electrodes. What are they, and what to choose?* Obtenido de <https://www.brainlatam.com/blog/wet-dry-active-and-passive-electrodes.-what-are-they-and-what-to-choose-413>

Cao, Z., Chuang, C.-H., & King, J.-T. (2018). Brain Electrodynamic and Hemodynamic Signatures Against Fatigue During Driving. *Front. Neurosci*.

Carmichael, S. G. (2015). The research is clear: long hours backfire for people and for companies. *Harvard Business Review*.

Chau, A. M. (2015). *Effects of user mental state on EEG-BCI performance*. Recuperado el 14 de Setiembre de 2019, de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2015.00308/full>

Chaudhary, U., Birbaumer, N., & Ramos-Murguialday, A. (2016). *Brain–computer interfaces for communication and rehabilitation*. *Nat Rev Neurol*. doi:<https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.113>

Chowbotics. (2019). *Meet Sally, the World's First fresh-food making robot*. Recuperado el 24 de Agosto de 2019, de <http://www.chowbotics.com/sally/>

Computer Science 831. (9 de Julio de 2018). *Confusion Matrix*. Recuperado el 9 de Setiembre de 2019, de http://www2.cs.uregina.ca/~dbd/cs831/notes/confusion_matrix/confusion_matrix.html

Crawford, J., & Parker, D. M. (Edits.). (2018). *A Handbook of Neuropsychological Assessment* (Vol. Volumen 3 de Psychology Library Editions: Neuropsychology). Routledge.

Daroff, R. B., & Aminoff, M. J. (2014). Encyclopedia of the Neurological sciences. *Academic Press*, 411.

Edla, D. R. (2018). *Classification of EEG data for human mental state analysis using Random Forest Classifier*. Recuperado el 14 de Setiembre de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918308482>

Feike, S. (2020). *Towards Data Science*. Obtenido de Multiple Time Series Classification by Using Continuous Wavelet Transformation: <https://towardsdatascience.com/multiple-time-series-classification-by-using-continuous-wavelet-transformation-d29df97c0442>

Florent Pasquier, A. X. (2019). Educación, sociedad y tecnología. *RUNAE, Revist de investigación científica de la UNAE*, 2550-6846.

FOCI. (2019). *FOCI: wearable that boosts your focus*. Recuperado el 21 de Agosto de 2019, de <https://fociai.com/pages/cognitive-biometrics>

Fundación CADAH. (2012). *TDA-H y tipos de atención*. Recuperado el 6 de Setiembre de 2019, de fundacioncadah: <https://www.fundacioncadah.org/web/articulo/tda-h-y-tipos-de-atencion.html>

Geethanjali, P., Mohan, Y. K., & Sen, J. (2012). Time domain Feature extraction and classification of EEG data for Brain Computer Interface. *9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*.

Gerwin Schalk, E. C. (2011). *Brain-Computer Interfaces Using Electroencephalographic Signals*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2019, de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6047564>

Ghodake, A. (2016). Brain controlled home automation system. *10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*. Coimbatore.

Gino, F. (2016). Are You Too Stressed to Be Productive? Or Not Stressed Enough? *Harvard Business Review*.

Goldman, A. (2006). *Simulating Minds: The Philosophy, Psychology, and Neuroscience of Mindreading*. Oxford University Press. doi:10.1093/0195138929.001.0001

Graimann, B., Allison, B., & Pfurtscheller, G. (2010). *Brain-Computer Interfaces*. Berlin: Springer.

Guo, Z., & Chen, R. (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.

Herff, C., & Krusienski, D. (2018). Extracting Features from Time Series. En *Fundamentals of Clinical Data Science* (págs. 85-100).

Herz, N., Baror, S., & Bar, M. (2020). Overarching States of Mind. *Trends in Cognitive Sciences*. doi:10.1016/j.tics.2019.12.015

Huang, N., & Shen, Z. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London on mathematical, physical and engineering sciences*, 903-995.

Ishihara, N. (1987). *Estados Unidos Patente n° US4702158A*.

Iveth Moreno, S. S. (2019). *Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones*. (Research Gate) Recuperado el 10 de Setiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Boya/publication/334861781_Los_sistemas_de_interfaz_cerebro-computadora_basado_en_EEG_caracteristicas_y_aplicaciones/links/5d4d9698a6fdcc370a89b621/Los-sistemas-de-interfaz-cerebro-computadora-basado-en-EEG-cara

K. Tanaka, K. M. (2005). *Electroencephalogram-based control of an electric wheelchair*. Paper, IEEE. Recuperado el 12 de Setiembre de 2019, de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1492493>

Kam, J., Griffin, S., & Shen, A. (2019). *Systematic comparison between a wireless EEG system with dry electrodes and a wired EEG system with wet electrodes*. *NeuroImage*.

Ko, L.-W., Komarov, O., & Hairston, D. (2017). *Sustained Attention in Real Classroom Settings: An EEG Study*. doi:<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00388>

Larue, G., Rakotonirainy, A., & Pettitt, A. (2010). Real-time performance modelling of a Sustained Attention to Response Task. *Ergonomics*, 1205-1216.

Lawrence, T. (1978). *Estados Unidos Patente n° US4152974A*.

Leuthardt E.C., S. G. (2004). *A brain-computer interface using electrocorticographic signals in humans*. (J. Neural Eng) Recuperado el 11 de Setiembre de 2019, de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2560/1/2/001/meta>

Liu, Y. L. (2011). *A Real-time EEG-based BCI System for Attention*. Lanzhou.

M. Vansteensel, D. H. (2010). *Brain-computer interfacing*.

- Mackworth, N. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Q. J. Exp. Psychol. 1*, 6-21.
- Marcora, S., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J. Appl. Physiol*2, 857-864.
- Martínez, J. G. (2013). *Los sistemas de interfaz cerebro-computadora: una herramienta para apoyar la rehabilitación de pacientes con discapacidad motora*. Ciudad de México: Mediagraphic.
- Mcdevitt, J. (1970). *Estados Unidos Patente n° US3641916A*.
- Medina, B., Sierra, J., & Ulloa, A. (2018). Técnicas de extracción de características de señales EEG en la imaginación de movimiento para sistemas BCI. *Espacios*, 36.
- Mellinger, J., Schalk, G., Braun C., P. H., Rosenstiel, W., Birbaumer, N., & Kübler, A. (2007). An MEG-based brain-computer interface (BCI). *NeuroImage*, 581–593.
- Millán, J. d. (2004). *Noninvasive Brain-Actuated Control of a Mobile Robot by Human EEG*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. doi:10.1109/TBME.2004.827086
- Moreno, I., Batista, E., & Serracín, S. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*. doi:10.33412/idt.v15.2.2230
- Müller, K.-R. (2007). *Machine learning for real-time single-trial EEG-analysis: From brain-computer interfacing to mental state monitoring*.
- Narkhede, S. (2018). *Understanding Confusion Matrix*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de Medium: <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62>
- Nathan, V. (2013). *A 16-channel bluetooth enabled wearable EEG platform with dry-contact electrodes for brain computer interface*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/left-Wet-electrode-systems-2-are-inconvenient-and-require-regular-application-of_fig1_262243806
- Naylamp Mechatronics. (2019). *Naylamp Mechatronics*. Recuperado el 16 de Setiembre de 2019, de <https://naylampmechatronics.com>

Newman, G. (2018). *Cómo evaluar el estado mental*. Recuperado el 14 de Setiembre de 2019, de Manual MSD: <https://www.msmanuals.com/es-pe/professional/trastornos-neurologicos/examen-neurologico/cmo-evaluar-el-estado-mental>

Nicolas-Alonso, L. F. (2012). *Brain Computer Interfaces, a Review*. (NCBI) Recuperado el 10 de Setiembre de 2019, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3304110/>

Novo, C., Chacón Guitiérrez, L., & Barradas, J. (2010). *Mapeo Electroencefalográfico y Neurofeedback*.

Ong, Z., & Ibrahim, Z. (2018). "Power Spectral Density Analysis for Human EEG- based Biometric. *International Conference on Computational Approach in Smart Systems*, (págs. 1-6).

Onishi, A., & Natsume, K. (2014). Overlapped Partitioning for Ensemble Classifiers of P300-Based Brain-Computer Interfaces. *PloS one*.

Ramadan, R., & Vasilakos, A. (2017). *Brain computer interface: control signals review*. Recuperado el 12 de Setiembre de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231216312152>

Ratner, R. (2012). *Calidad de la alimentación y estado nutricional en estudiantes universitarios de 11 regiones de Chile*. Santiago.

Rivas, M. (2008). *Procesos cognitivos y aprendizaje significativo*.

Saeed, A., & Trajanovski, S. (2017). *Deep Physiological Arousal Detection in a Driving Simulator Using Wearable Sensors*.

Schalk, G., & Leuthardt, E. C. (2011). Brain-Computer Interfaces Using Electrocorticographic Signals. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 140–154. doi:10.1109/rbme.2011.2172408

Shahid, A. (2012). *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*. Springer . Obtenido de [https://www.med.upenn.edu/cbti/assets/user-content/documents/Karolinska%20Sleepiness%20Scale%20\(KSS\)%20Chapter.pdf](https://www.med.upenn.edu/cbti/assets/user-content/documents/Karolinska%20Sleepiness%20Scale%20(KSS)%20Chapter.pdf)

Sheng, Y. (1996). *The Transforms and Applications Handbook*. CRC Press.

Shubrook, N. (2018). *BBC good food*. (BBC) Recuperado el 4 de Octubre de 2019, de <https://www.bbcgoodfood.com/howto/guide/popcorn-healthy>

Sirsat, M. (29 de Abril de 2019). *Data Science and Machine Learning*. Obtenido de What is Confusion Matrix and Advanced Classification Metrics?: <https://manisha-sirsat.blogspot.com/2019/04/confusion-matrix.html>

Sitaram, R., Caria, A., & Veit, R. (2007). fMRI Brain-Computer Interface: A Tool for Neuroscientific Research and Treatment. *Computational Intelligence and Neuroscience*.

Sunasra, M. (11 de Noviembre de 2017). *Performance Metrics for Classification problems in Machine Learning*. (Medium Corporation) Recuperado el 9 de Setiembre de 2019, de [https://medium.com/thalus-ai/performance-metrics-for-classification-problems-in-machine-learning-part-i-b085d432082b#targetText=We%20can%20use%20classification%20performance,\(Area%20under%20Curve\)%20etc.&targetText=The%20metrics%20that%20you%20choose,algo](https://medium.com/thalus-ai/performance-metrics-for-classification-problems-in-machine-learning-part-i-b085d432082b#targetText=We%20can%20use%20classification%20performance,(Area%20under%20Curve)%20etc.&targetText=The%20metrics%20that%20you%20choose,algo)

Tangemann, M. W. (2008). *Playing Pinball with non-invasive BCI*. Berlín.

Taylor, A. (2006). Stress, fatigue, health, and risk of road traffic accidents among professional drivers: the contribution of physical inactivity. *Annu. Rev. Public Health* , 371-391.

Tienor, L. J. (5 de Agosto de 1979). *Estados Unidos Patente n° 4152974*.

UNESCO. (2005). *Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI)*. Recuperado el 6 de Setiembre de 2019, de <http://www.unesco.org/new/es/communication-and-information/resources/multimedia/photo-galleries/world-summit-on-the-information-society-wsis/>

Universia. (5 de Noviembre de 2015). *Universia: Descubrí por qué estudiar muchas horas no equivale a una mejor calificación*. Recuperado el 19 de Agosto de 2019, de <https://noticias.universia.com.ar/educacion/noticia/2015/11/05/1133237/descubri-estudiar-muchas-horas-equivale-mejor-calificacion.html>

Vaughan, T. (2003). *Guest editorial brain-computer interface technology: a review of the second international meeting*.

Vinson, J. (2012). *Popcorn: The snack with even higher antioxidants levels than fruits and vegetables*. (American Chemical Society) Recuperado el 6 de Setiembre de 2019, de <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2012/march/popcorn-the-snack-with-even-higher-antioxidants-levels-than-fruits-and-vegetables.html>

Virost, E., & Ponomarenko, A. (2015). *Popcorn: critical temperature, jump and sound*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4345489/>

Vulcanic. (2015). *Elementos calefactores*. Recuperado el 15 de Setiembre de 2019, de Elementos calefactores enfundados: <https://www.vulcanic.com/es/elementos-calefactores/>

W.G. Walter, R. C. (1964). *Contingent negative variation: An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain*. Nature.

Waldert, S. (2016). *Invasive vs. Non-Invasive Neuronal Signals for Brain-Machine Interfaces: Will One Prevail?* (NCBI) Recuperado el 10 de Setiembre de 2019, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4921501/>

Wang, Y., & Wu, D. (2018). *Real-time fMRI-based Brain Computer Interface: A Review*. Wuhan.

Weiss, R. R. (1997). *Estados Unidos Patente n° US5743172A*.

Wolpaw, J. (2002). *Brain-computer interfaces for communication and control*.

Wolpaw, J. (2012). *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*. Oxford.

Wong, T. (2013). *DIGITAL CONTROL & SYS - ELEC 595 - 01 & INTRO/DIG SIG PROCESS - ELEC 596 - 01*. Obtenido de Fast Fourier Transform (FFT): <https://sites.google.com/site/wongt770/fast-fourier-transform>

Yaomane, K. (2012). *Brain Signal Detection Methodology for Attention*.

Zabidi, A., Mansor, W., Lee, Y. K., & Che Wan Fadzal, C. W. (2012). Short-time Fourier Transform Analysis of EEG signal generated during imagined writing. *International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*.

Zhang, Y., & Zhang, W. (2014). Magnetoencephalography: mapping the spatiotemporal dynamics of neuronal activity. *Suma Psicológica*, 45-53. doi:[https://doi.org/10.1016/S0121-4381\(14\)70006-2](https://doi.org/10.1016/S0121-4381(14)70006-2)



Anexos

Anexo A. Lista de exigencias.....	79
Anexo B. Estructura de funciones.....	86
Anexo C. Matriz morfológica	86
Anexo D. Conceptos de solución	87



Anexo A. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 1 de 7 Edición: 5
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	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 el momento previo a la caída de rendimiento cognitivo 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"> • Ingresar: <ul style="list-style-type: none"> ○ Granos de maíz enteros ○ Aire caliente • Salida: <ul style="list-style-type: none"> ○ Granos de maíz cocidos ○ Vapor de aire caliente ○ Granos de maíz sin cocinar 	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 2 de 7 Edición: 5
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	E	ENERGÍA: <ul style="list-style-type: none"> • Ingresar: <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 la interfaz. ○ Energía calorífica. 	Ramírez, Jorge
	E	SEÑAL: <ul style="list-style-type: none"> • Entrada: <ul style="list-style-type: none"> ○ Señal de inicio para la BCI ○ Señal de encendido para la BCI ○ Señal de parada de emergencia. • 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
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Edición:5 Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	E	TIEMPO: El presente trabajo será entregada en la semana 15 del ciclo 2020-1.	Ramírez, Jorge
	E	PRESUPUESTO: El dispositivo EEG tiene un costo que oscila entre los \$1000 y \$25,000, pero no será considerado en el presupuesto. Por otro lado, el costo de la máquina no debe sobrepasar los S/. 5000.	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 granos 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 será transportable.	Ramírez, Jorge

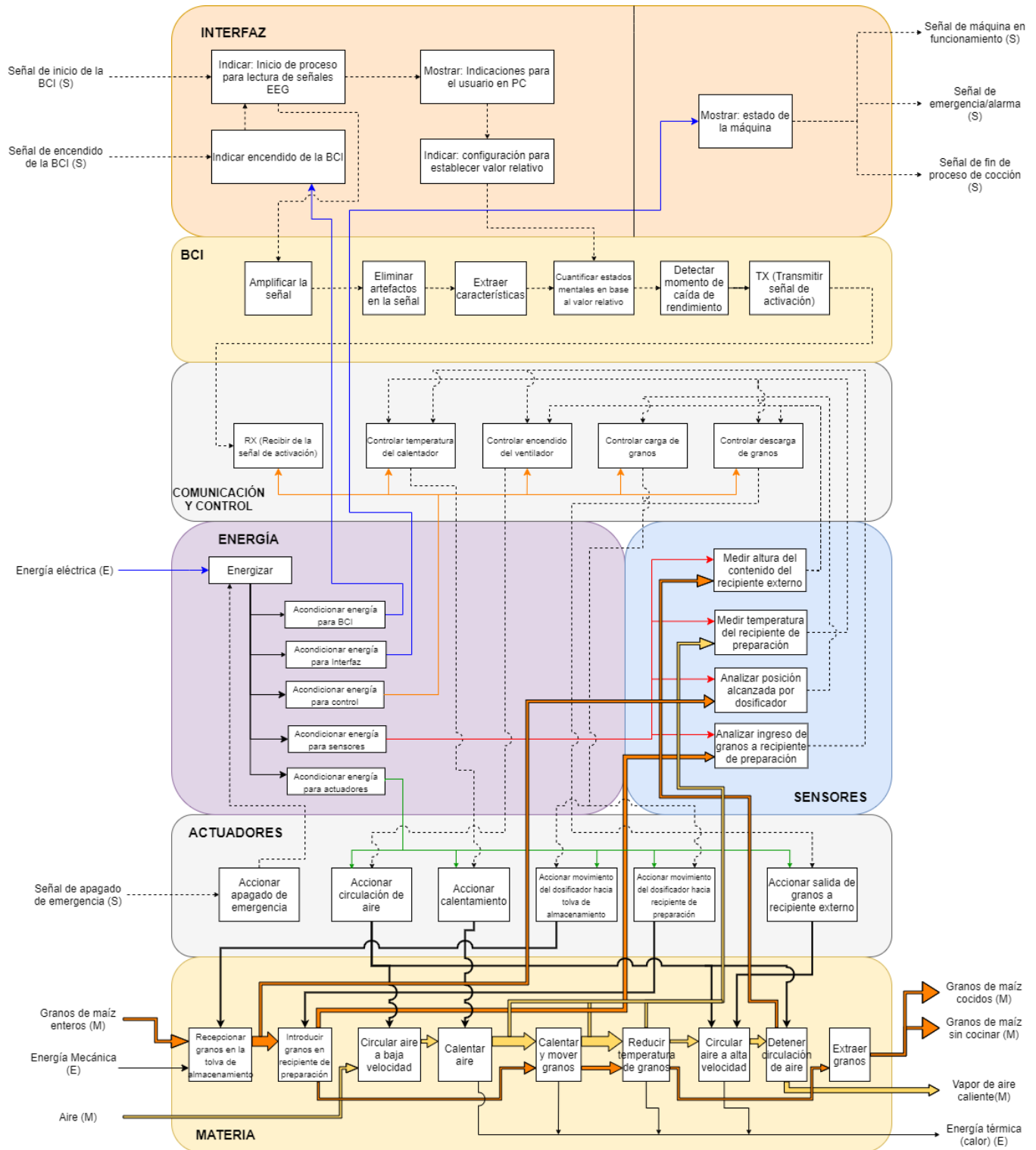
LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 4 de 7 Edición: 5
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	D	MONTAJE: 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.	Ramírez, Jorge
	E	CONTROL: <ul style="list-style-type: none"> • Control de motores de ventilación • Control de calentador • Controlar carga de granos • Controlar descarga de granos 	Ramírez, Jorge
	E	SEGURIDAD <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: 5	
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	E	ERGONOMÍA: <ul style="list-style-type: none"> • Diseño que evite el desperdicio de los granos de maíz. Asimismo, la interfaz mostrará información de manera clara. • El dispositivo EEG inalámbrico será posicionado en el cuero cabelludo del usuario, sin afectar su comodidad y rango de movimiento, tomando en cuenta la norma ISO/IEEE 11073. • Para el sistema integrado, 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 en máquinas de cocina. 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: 5
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	E	SOFTWARE: Será empleado el entorno de programación SIMULINK, dentro del software MATLAB, que permite la realización de los algoritmos de procesamiento de señales en tiempo real, elaborando 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
	E	COMUNICACIÓN: La máquina y el dispositivo EEG se comunicarán empleado un protocolo wifi. 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 una pantalla que mostrará estados del proceso. Por otro lado, la BCI mostrará al usuario indicaciones a seguir para la configuración, para el inicio del proceso y para regular los valores relativos que se puedan obtener respecto a su estado mental. No será necesario un botón de emergencia físico, ya que bastará con desconectar la máquina.	Ramírez, Jorge

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 7 de7 Edición: 5
SISTEMA A DESARROLLAR:		Integración de una máquina de cocción de granos de maíz y un sistema de activación a través de una interfaz cerebro-computador para detectar el momento previo a caídas de rendimiento cognitivo en estudiantes durante sesiones de aprendizaje y brindar descansos saludables.	Fecha: 11/05/2020 Revisado: 11/05/2020 Elaborado por: RAMÍREZ CASTILLO, JORGE ARMANDO
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha	Exigencia o Deseo	Descripción	Responsable
11/05/2020	D	LIMPIEZA: Los electrodos secos del dispositivo podrán ser extraídos para ser limpiados contra el polvo. El gorro en donde se colocan los electrodos tendrá que ser lavado después de un uso prolongado. Por otro lado, la máquina podrá ser fácilmente limpiada una vez que se haya enfriado y sus accesorios extraídos para ser lavados. Respecto a la parte externa, dado que es resistente al agua, se le podrá pasar un trapo húmedo.	Ramírez, Jorge
	E	GEOMETRÍA: La máquina no deberá exceder las siguientes dimensiones: 40 cm x 50 cm x 50 cm. Respecto al dispositivo EEG, este se adapta 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 200 °C), humedad y corrosión. Asimismo, el dispositivo EEG está conformado por electrodos secos hechos de una aleación de oro especial.	Ramírez, Jorge

Anexo B. Estructura de funciones





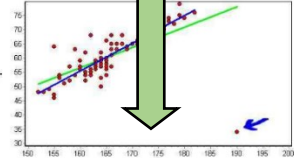
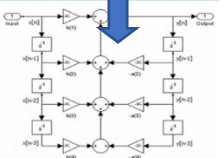
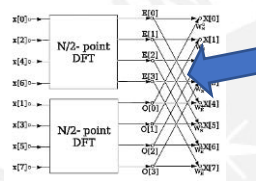
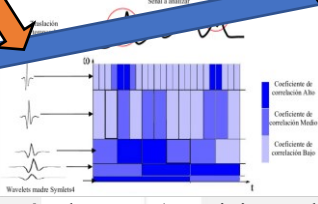
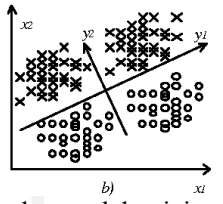
Anexo C. Matriz morfológica

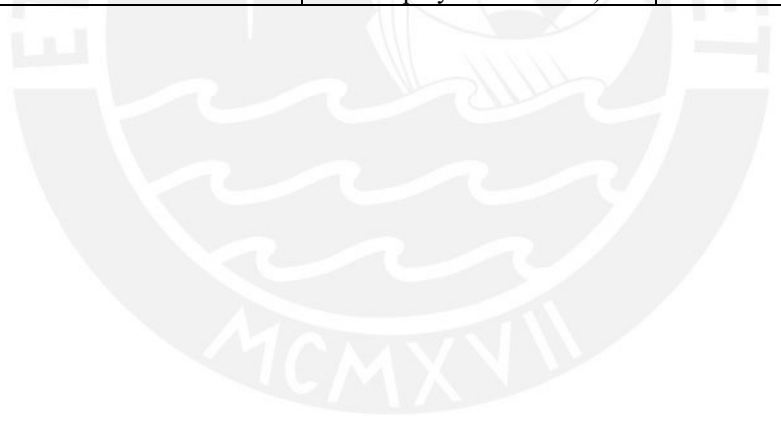
Indicador	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Flecha			


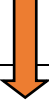
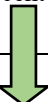

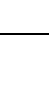



C. 1. Subsistema de activación: Interfaz Cerebro – Computador

Este subsistema está conformado por la BCI, y abarca desde el dispositivo usado para la adquisición de las señales EEG del usuario hasta la transmisión de señal para el subsistema de control de la máquina automática de cocción de granos de maíz, luego de haber elaborado correctamente los algoritmos de cuantificación para los estados mentales y la detección de la caída de rendimiento.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Indicar: encendido de la BCI	 <p>Computadora de escritorio –Linux</p>	 <p>Computadora portátil – Windows 10</p>	 <p>MacBook Pro – Mac OS</p>
Indicar: inicio de proceso para lectura de señales EEG			
Mostrar: Indicaciones para el usuario en PC			
Indicar: configuración de valor relativo			

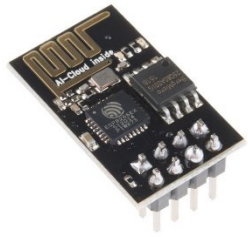


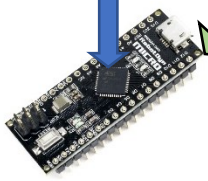


Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Amplificar la señal		 Dispositivo amplificador EEG g.Nautilus - g.tec	
Eliminar artefactos en la señal	 Procesamiento de imágenes: filtros espaciales	 Métodos estadísticos: Métodos de regresión	 Procesamiento de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




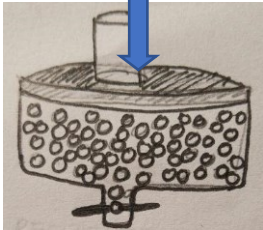
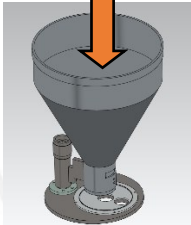


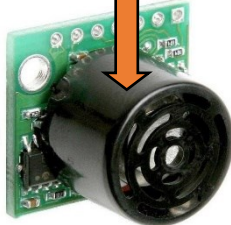
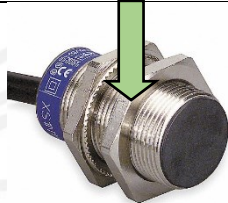

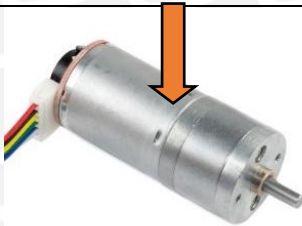

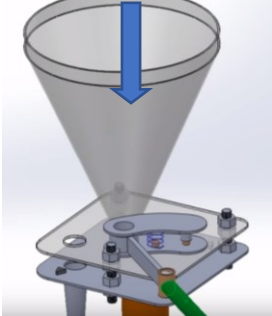




Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Cuantificar estados mentales en base a valor relativo	Normalización estadística de los datos 	Escalamiento de los datos obtenidos 	Calcular la variación porcentual 
Detectar momento de caída de rendimiento	Detección de tendencias 	Tablas de control para analizar valores anómalos 	Métodos estadísticos 
Transmitir señal de activación	 Computadora de escritorio – protocolo bluetooth	 Computadora portátil – protocolo wifi	

C. 2. Subsistema de carga de granos







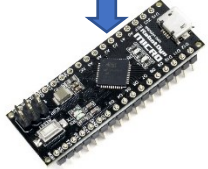



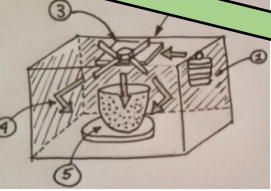
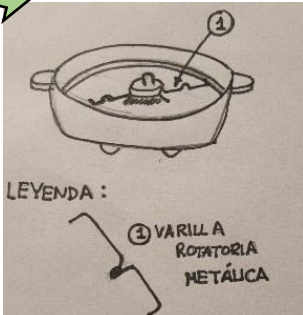
El presente subsistema es el que permite enviar los granos dosificados hacia el sistema de preparación. Todo comienza cuando se recibe la señal de activación proveniente de la BCI. Luego, se analizan las posiciones alcanzadas por el dosificador para finalmente trasladar los granos dosificados al recipiente de preparación.




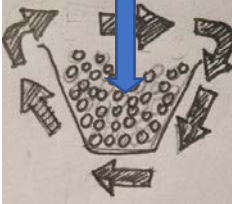
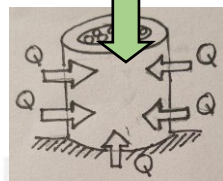

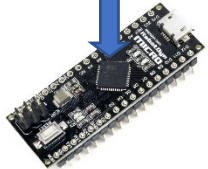





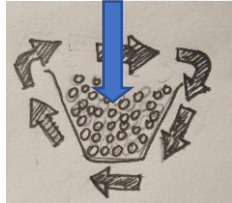
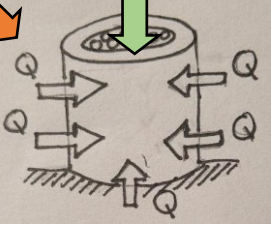
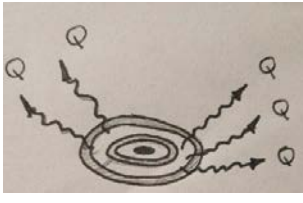
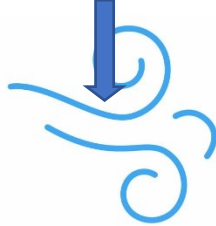

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
RX (Recibir señal de activación)	 Módulo Wifi	 Módulo Bluetooth	 Por cable
Controlar carga de granos	 Microcontrolador	 Computador de placa reducida	 FPGA

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Accionar movimiento del dosificador hacia tolva de almacenamiento	 <p>Bobina calentadora</p>	 <p>Calentador en aletas</p>	 <p>Calentador enfundado</p>
Recepcionar granos en tolva de almacenamiento	 <p>Recipiente contenedor</p>	 <p>Múltiples recipientes con porciones establecidas</p>	 <p>Recipiente al vacío con tapa plegable</p>
Analizar posición alcanzada por el dosificador	 <p>Sensor de fin de carrera</p>	 <p>Sensor de proximidad ultrasónico</p>	 <p>Sensor de proximidad inductivo</p>
Accionar movimiento del dosificador hacia recipiente de preparación	 <p>Servomotor</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>
Introducir granos en recipiente de preparación	 <p>Sistema dosificador con sistema de medición</p>	 <p>Espiras rotatorias y salida en tubo</p>	 <p>Sistema dosificador circular con engranajes</p>

C. 3. Subsistema de preparación




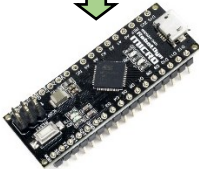


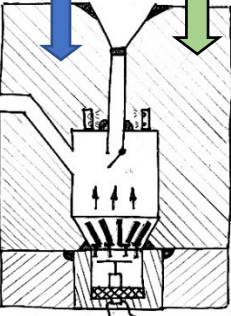
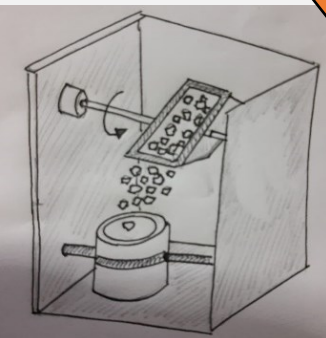
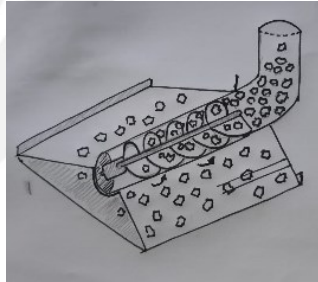


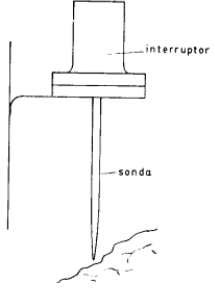
Será el encargado en primer lugar de recibir e interpretar la señal transmitida por la BCI, para empezar con el proceso de preparación, controlando cada una de las variables del sistema, para que funcione adecuadamente.









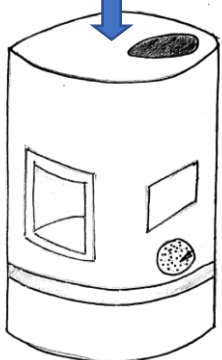
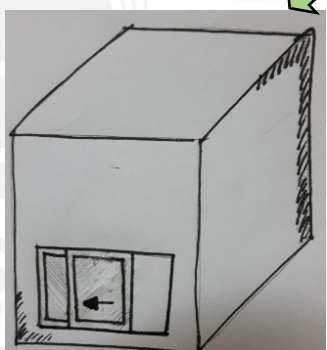

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Analizar ingreso de granos a recipiente de preparación	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico en barrera</p>	 <p>Sensor de proximidad fotoeléctrico reflectivo</p>
Accionar circulación de aire	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor AC</p>	 <p>Motor a pasos</p>
Controlar encendido del ventilador	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>Computador de placa reducida</p>	 <p>FPGA</p>
Mover granos a baja velocidad	 <p>LEYENDA: ① CONTENEDOR ② ELEMENTO CALENTADOR ③ VENTILADOR ④ MOTOR</p> <p>Sistema de cocción mediante flujo de aire caliente</p>	 <p>LEYENDA: ① MAGNETRÓN ② DIVISOR DE HAZ ③ VENTILADOR ④ PAREDES METÁLICAS ⑤ SUPERFICIE GIRATORIA</p> <p>Sistema de cocción mediante microondas</p>	 <p>LEYENDA: ① VARILLA ROTATORIA METÁLICA</p> <p>Sistema rotatorio de cocción mediante aceite</p>

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Accionar calentamiento	 <p>Bobina calentadora</p>	 <p>Calentador en aletas</p>	 <p>Calentador enfundado</p>
Calentar aire	 <p>Por conducción</p>	 <p>Por convección</p>	 <p>Por radiación</p>
Controlar temperatura del calentador	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>Computador de placa reducida</p>	 <p>FPGA</p>
Medir temperatura del recipiente de preparación	 <p>RTD</p>	 <p>Termocupla</p>	 <p>Termistor NTC</p>
Calentar granos	 <p>Por conducción</p>	 <p>Por convección</p>	 <p>Por radiación</p>
Reducir temperatura de granos	 <p>Flujo de aire a la intemperie</p>	 <p>Aire accionado por un ventilador</p>	

C. 4. Subsistema de descarga de granos







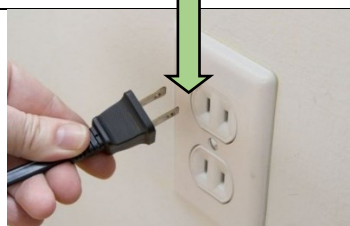

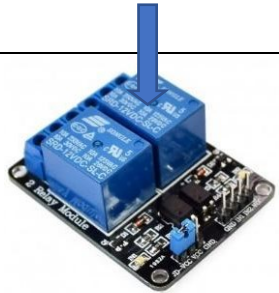
Este consiste en la etapa final de proceso, en la cual los granos cocidos son trasladados hacia un recipiente externo, listos para ser consumidos por el usuario.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Accionar salida de granos hacia recipiente externo	 <p>Servomotor</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor a pasos</p>
Controlar descarga de granos	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>Computador de placa reducida</p>	 <p>FPGA</p>
Circular granos hacia la salida	 <p>Transporte mediante tuberías internas</p>	 <p>Sistema basculante</p>	 <p>Sistema de espiras rotatorias</p>
Medir altura de contenido del recipiente externo	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	 <p>Sensor de proximidad fotoeléctrico infrarrojo</p>	 <p>Sensor de nivel tipo varilla</p>

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Detener circulación de aire	 Servomotor	 Motor DC	 Motor a pasos
Mostrar: Estado de la máquina	 Pantalla LCD TFT	 Pantalla LCD +  Indicadores sonoros	 Indicadores LED +  Indicadores sonoros
Extraer granos	 Salida hacia un envase exterior	 Compuerta deslizante a la salida con sistema de apertura	 DEPÓSITO INTERNO Depósito interno extraíble

C. 5. Subsistema de energía

Contiene los componentes empleados para energizar cada uno de los subsistemas y garantizar que opere correctamente.

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Energizar	 Fuente de alimentación lineal	 Fuente de alimentación conmutada	 Transformador de voltaje de 220VAC a 12VDC
Acondicionar energía para BCI	↓	↓	↓
Acondicionar energía para interfaz	 Regulador de tensión electromecánico	 Regulador de tensión lineal	 Regulador de tensión conmutado
Acondicionar energía para control			
Acondicionar energía - sensores			
Acondicionar energía - actuadores			
Accionar parada de emergencia	 Desconectar máquina manualmente	 Interruptor wifi	 Módulo Relé inalámbrico

Anexo D. Conceptos de solución

D. 1. Concepto de Solución 1

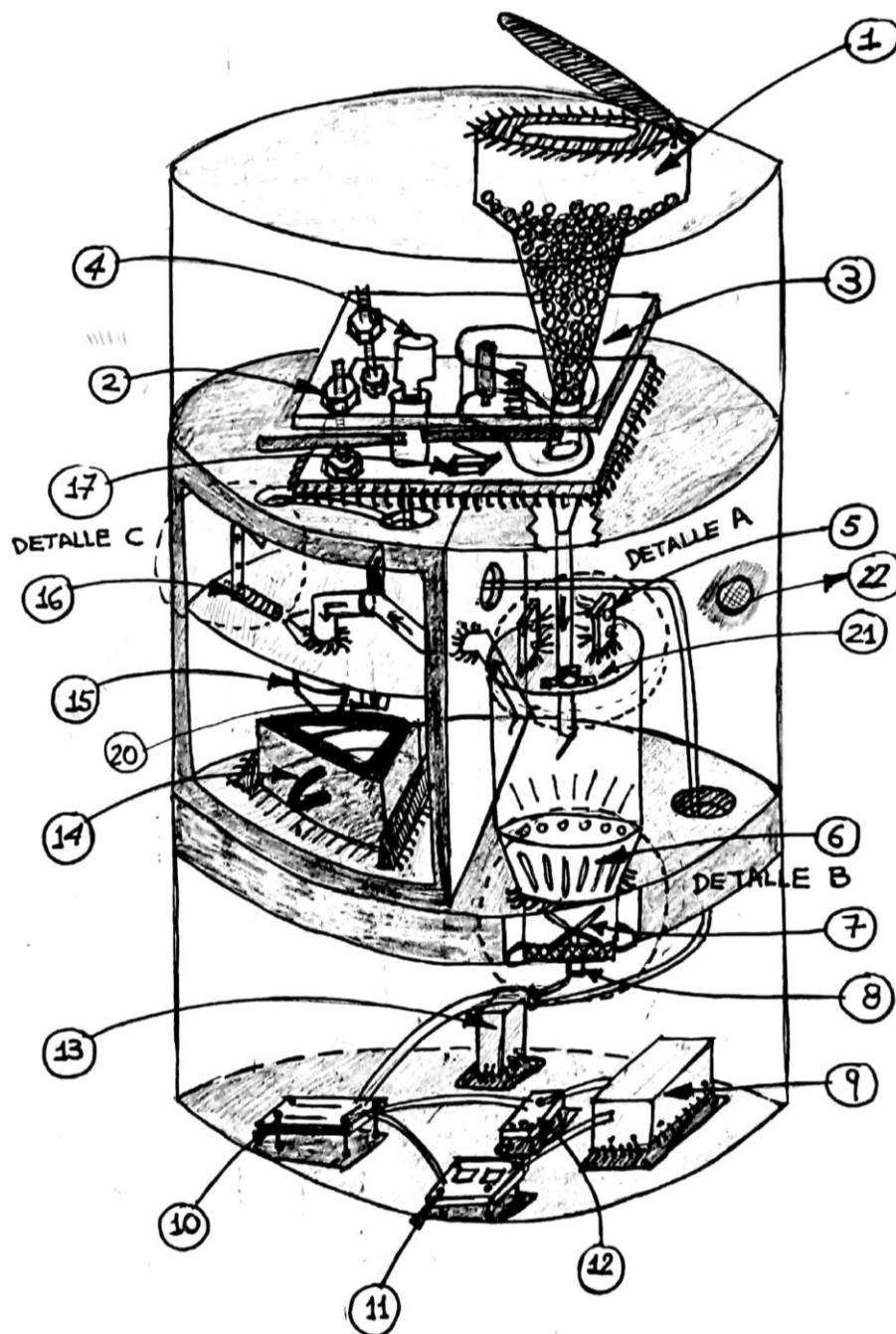


Figura D- 1. Concepto de solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D- 1. Leyenda de la figura D-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

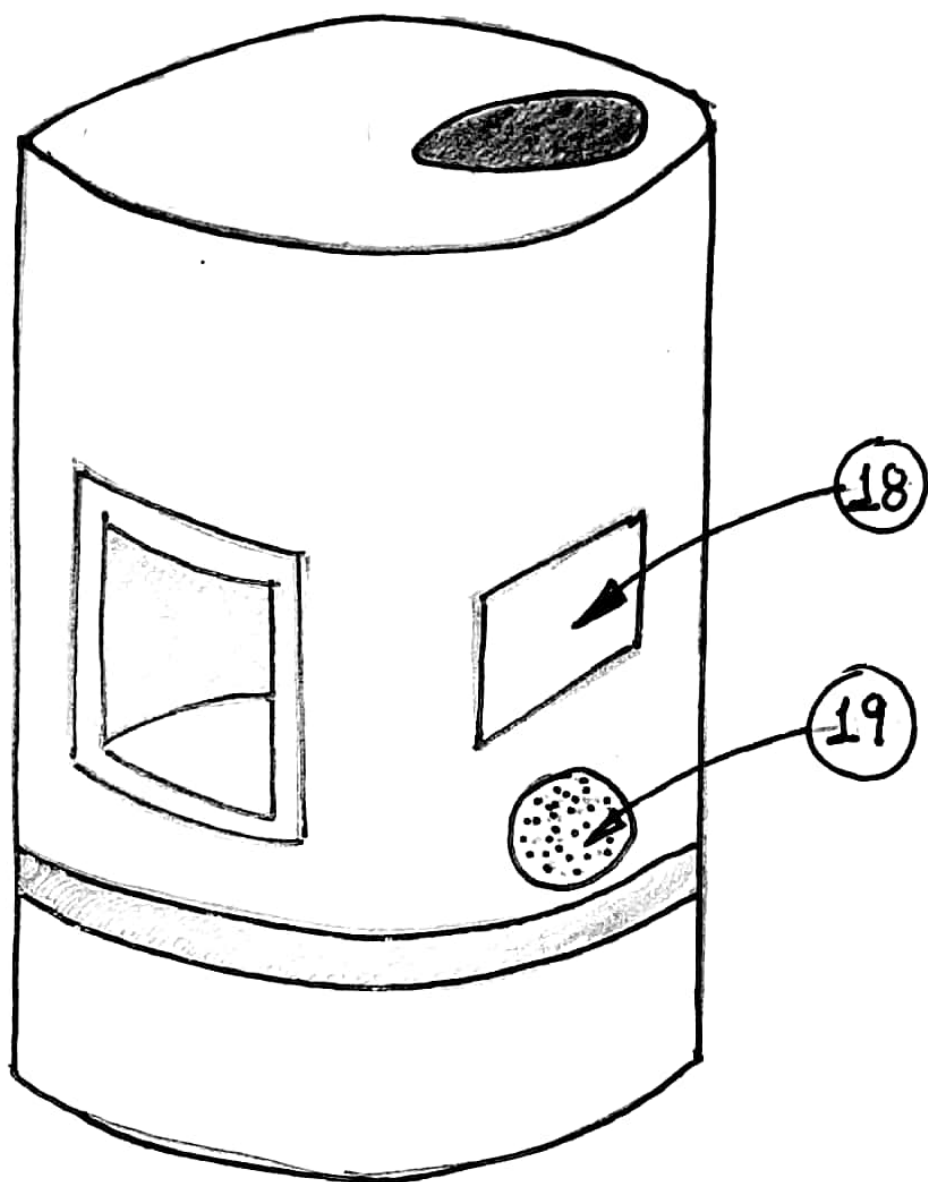


Figura D- 2. Diseño exterior del concepto de solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

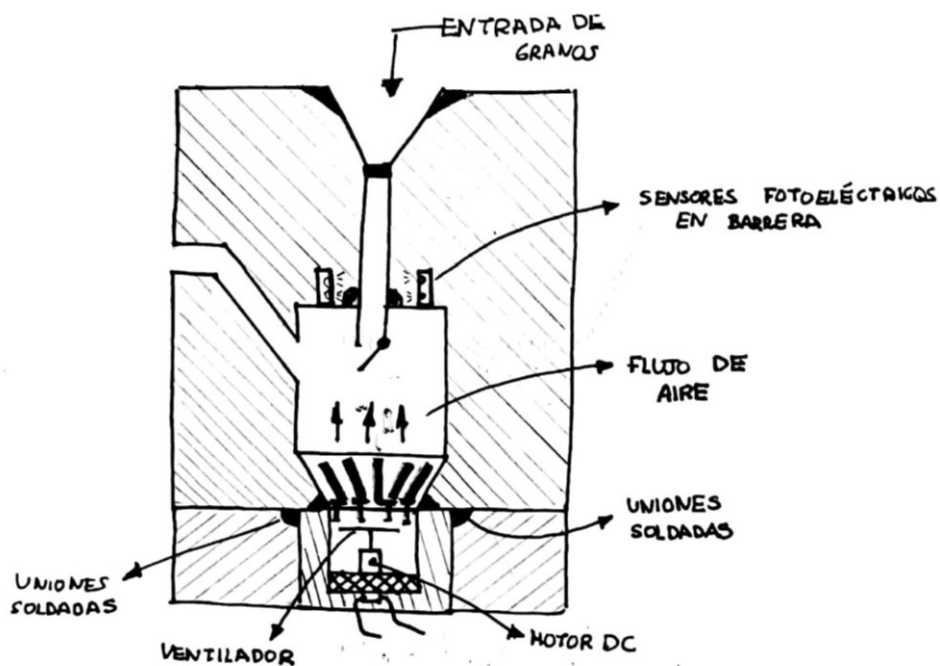


Figura D- 3. Detalle A de la figura D-1: Sistema de preparación del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

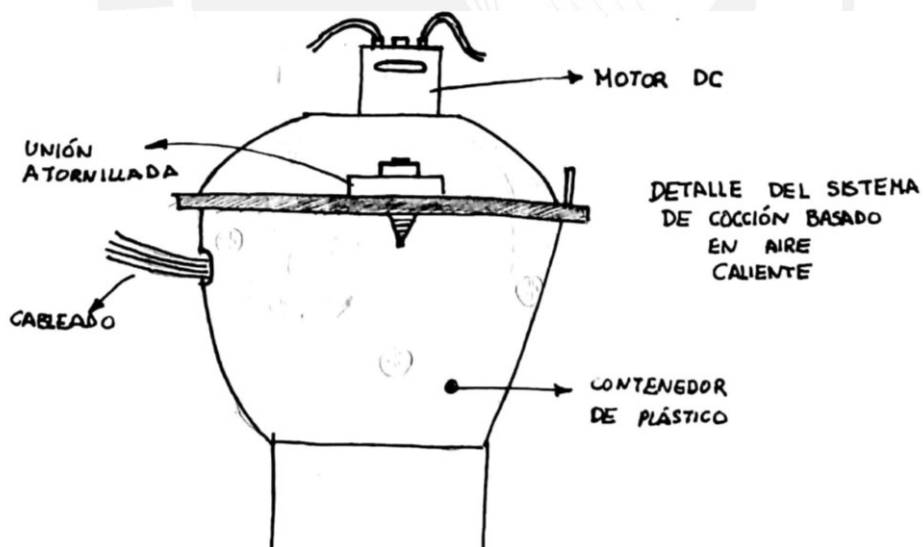


Figura D- 4. Detalle B de la figura D-1: Motor que va conectado al ventilador.

Fuente: Elaboración propia.

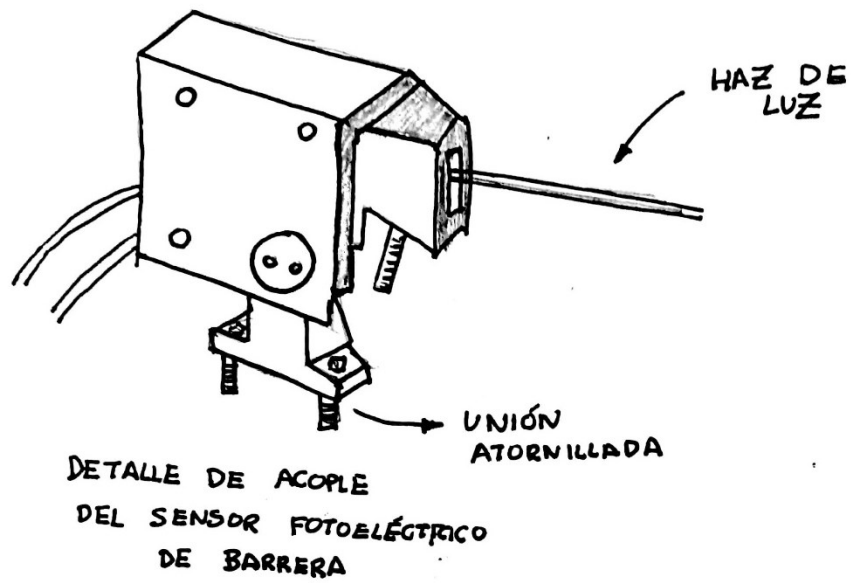


Figura D- 5. Acople del sensor fotoeléctrico de barrera.

Fuente: Elaboración propia.

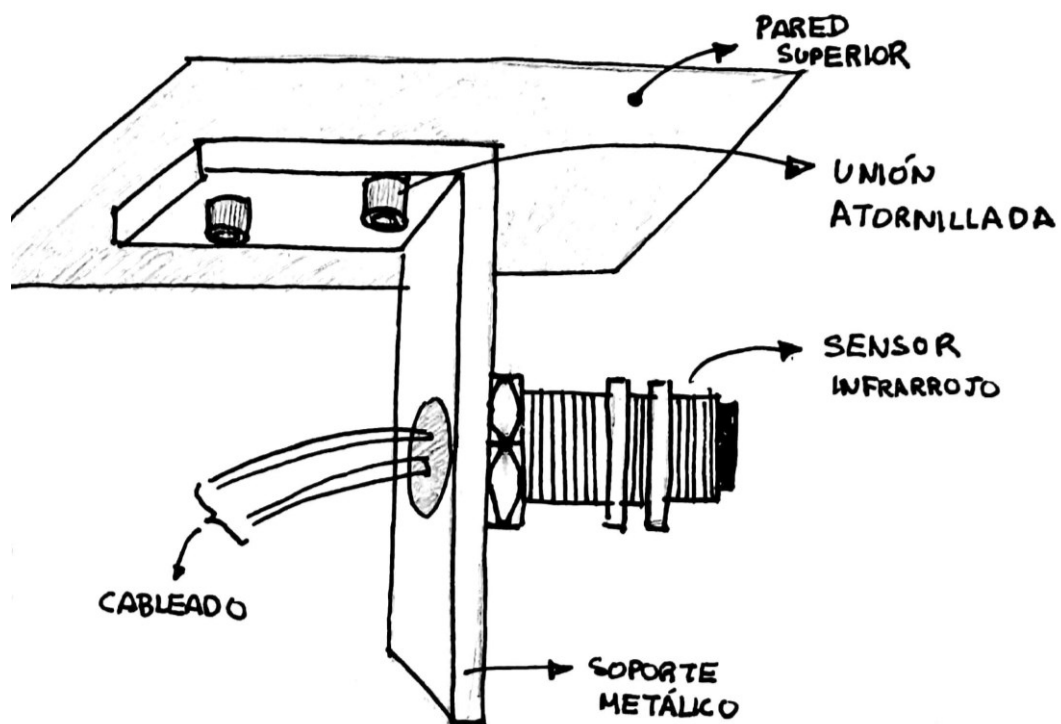


Figura D- 6. Detalle C de la figura D-1: Soporte para sensor inductivo.

Fuente: Elaboración propia.

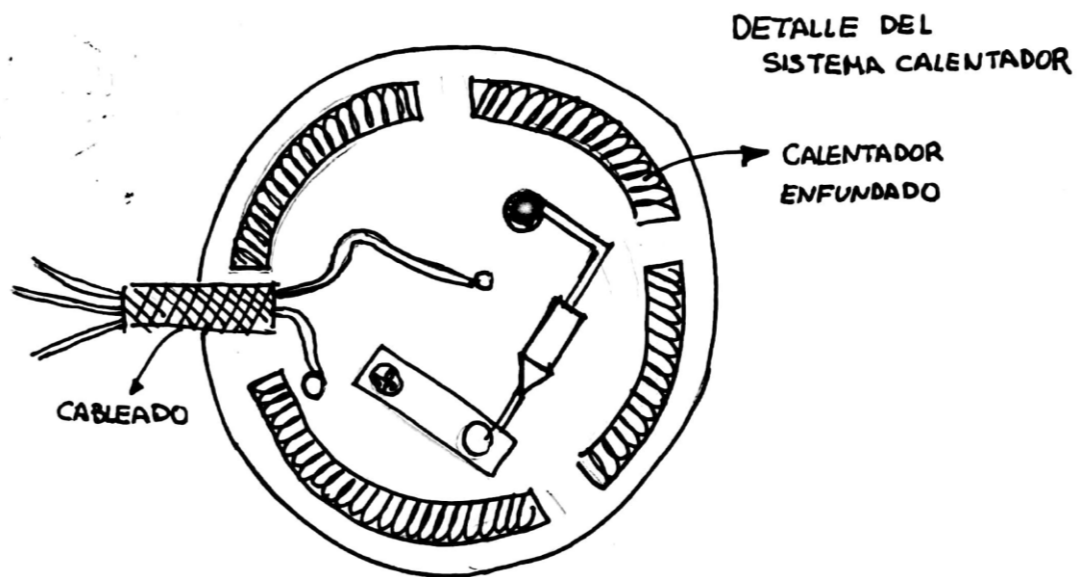


Figura D- 7. Elemento Calentador que forma parte del detalle B.

Fuente: Elaboración propia.

D. 2. Concepto de Solución 2

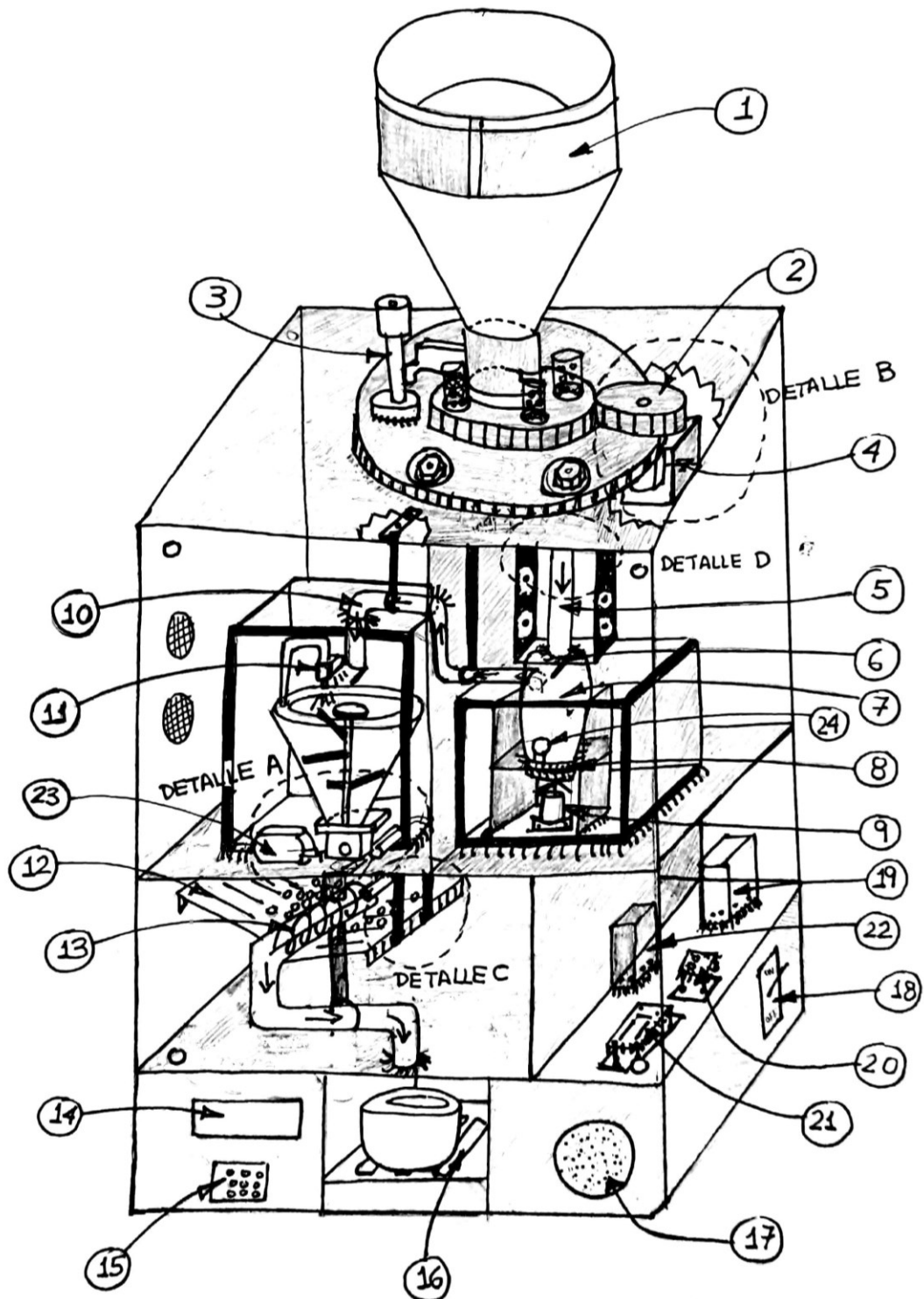


Figura D- 8. Concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D- 2. Leyenda de la figura D-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

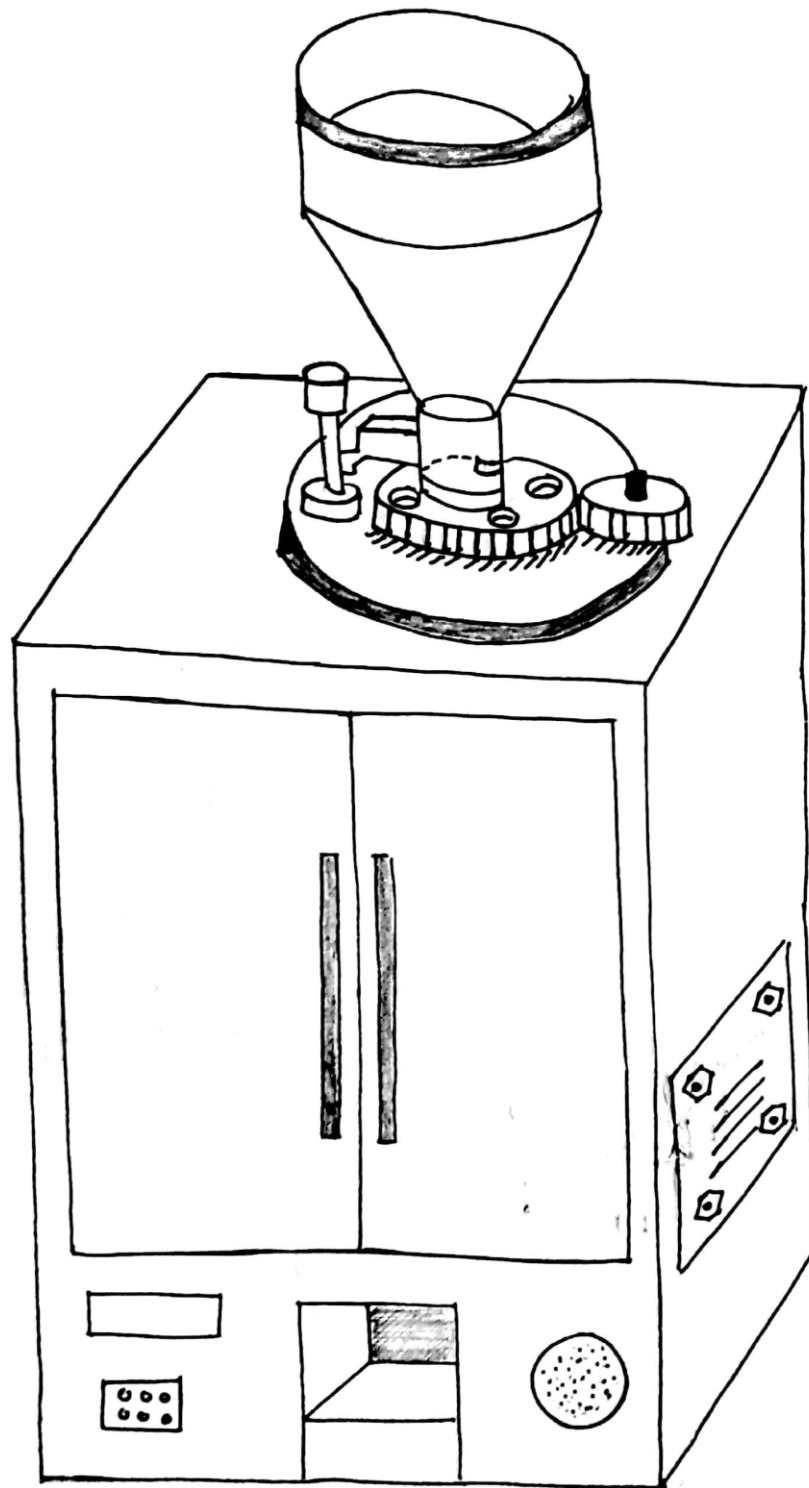


Figura D- 9. Diseño exterior del concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

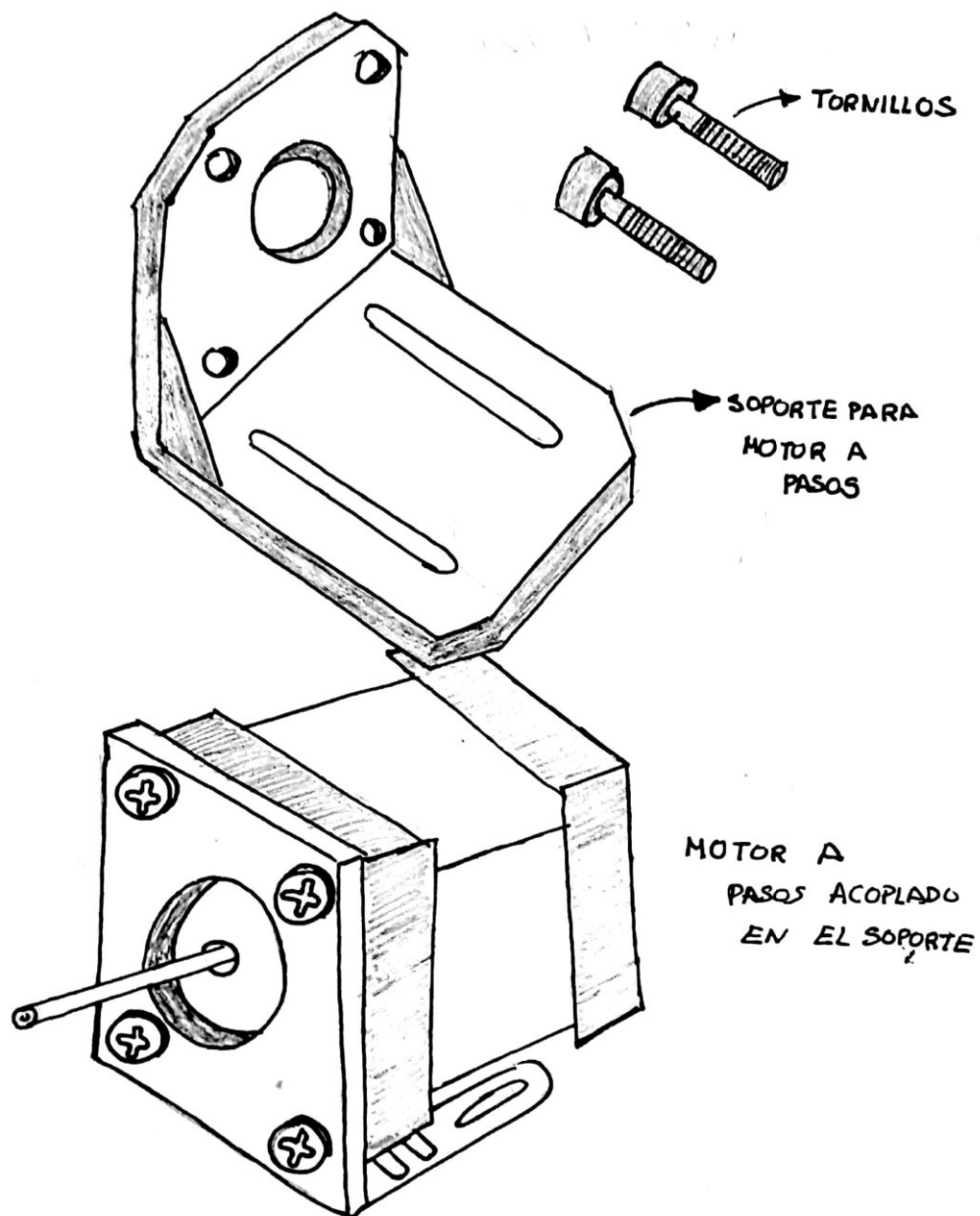


Figura D- 10. Detalle A de la figura D-8: Soporte para motor.

Fuente: Elaboración propia.

SOPORTE PARA MOTOR A PASOS

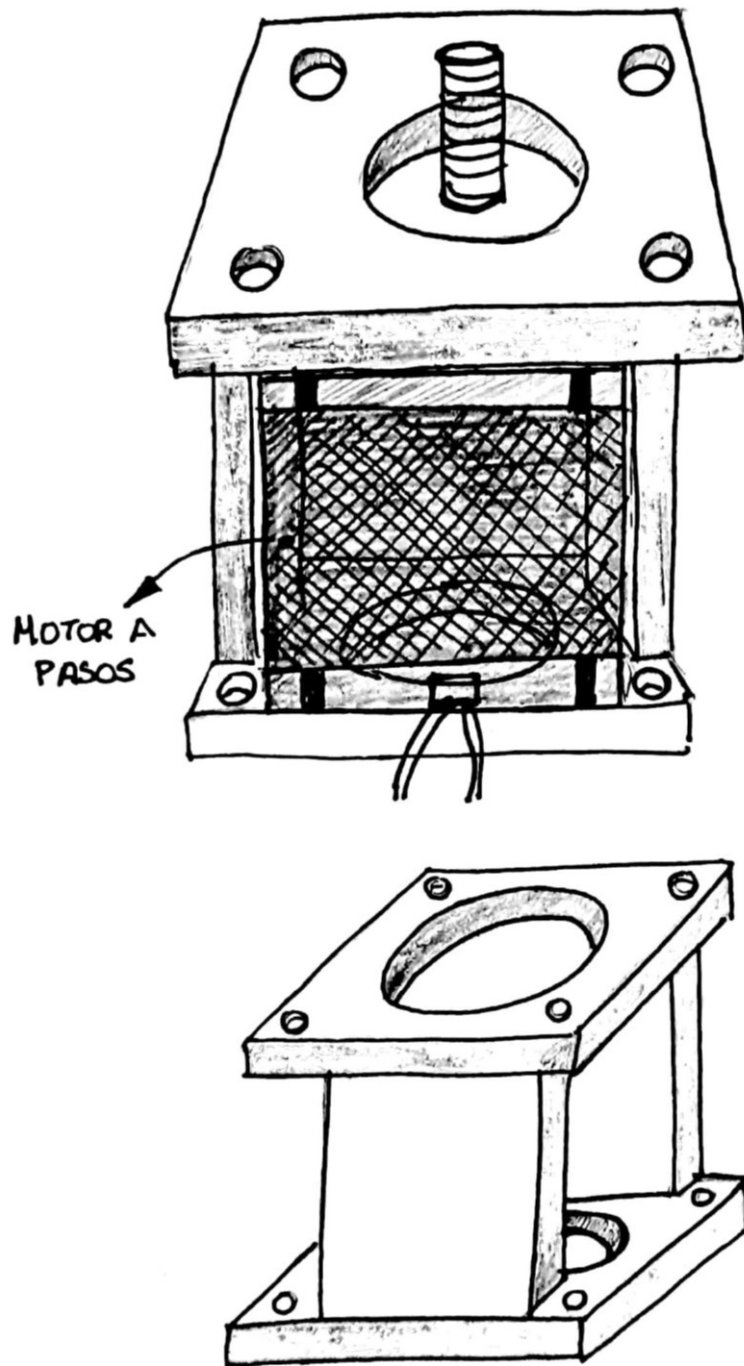


Figura D- 11. Detalle B de la figura D-8: Soporte para el servomotor.

Fuente: Elaboración propia.

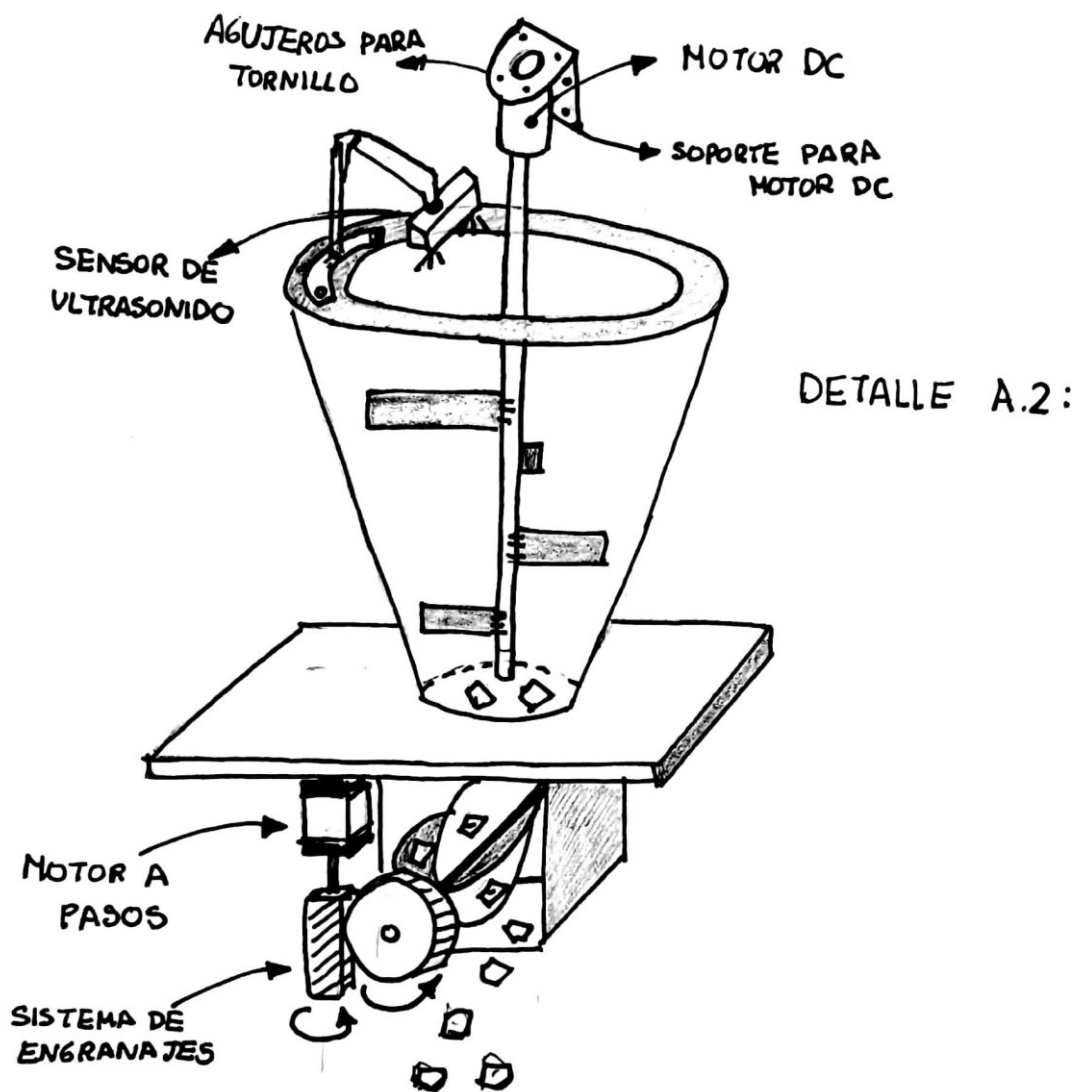


Figura D- 12. Detalle A.2 del principio de funcionamiento del sistema de organización de granos y dosificación.

Fuente: Elaboración propia.

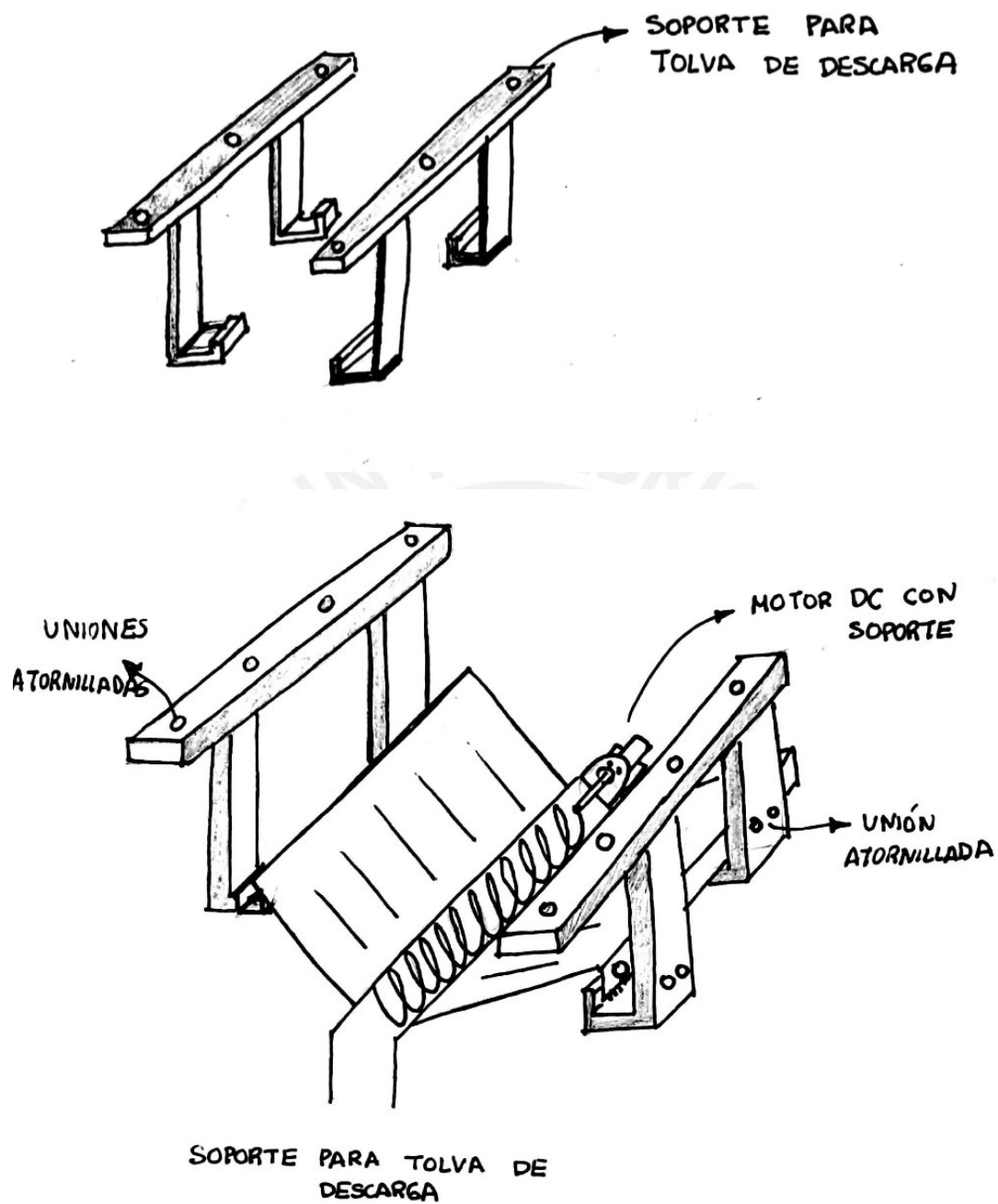


Figura D- 13. Detalle C de la figura D-8.

Fuente: Elaboración propia.

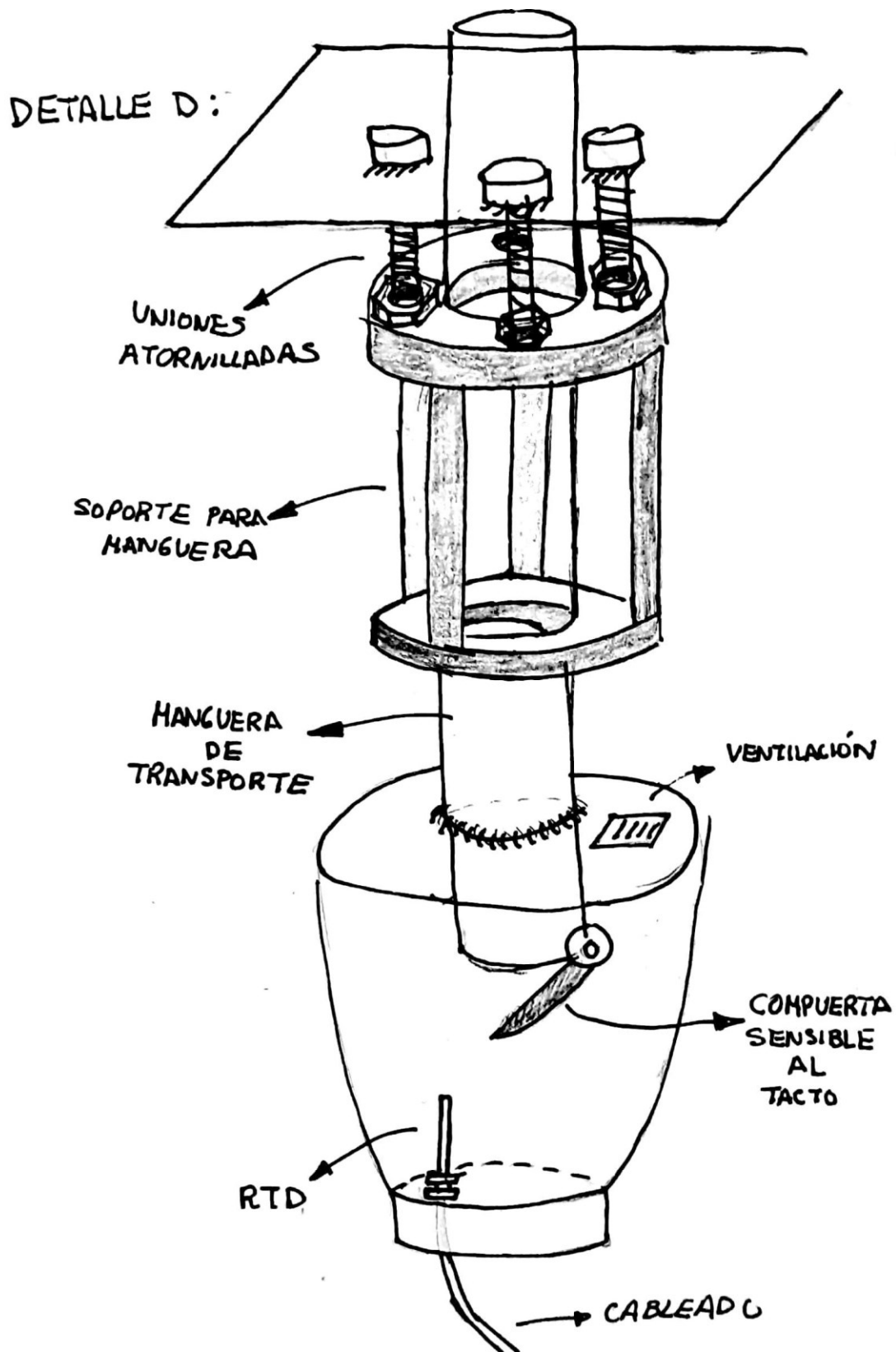


Figura D- 14. Detalle D del acceso al sistema de preparación de la figura D-8.

Fuente: Elaboración propia.

D. 3. Conceptos de Solución 3

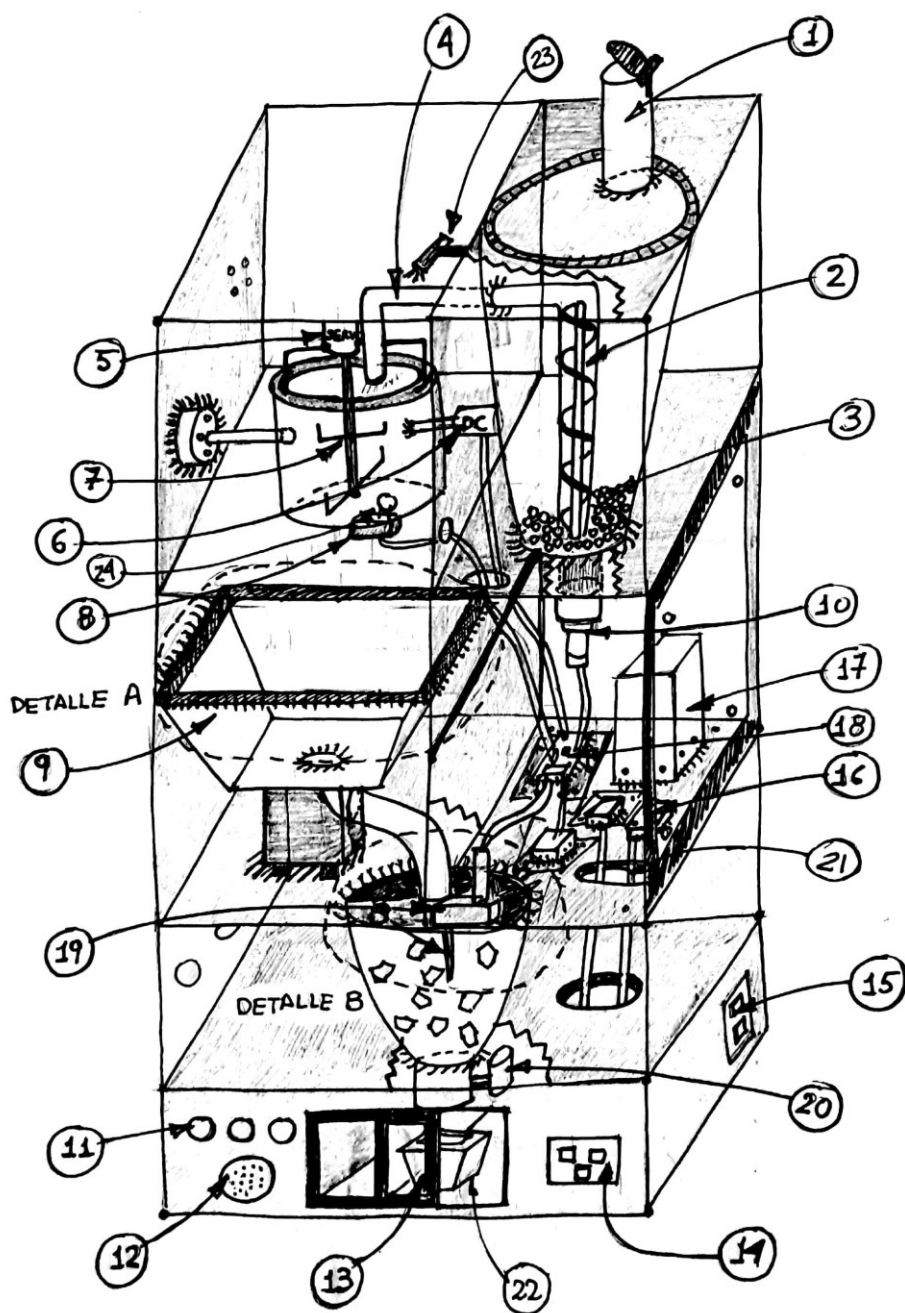


Figura D- 15. Concepto de solución 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D- 3. Leyenda para las figuras D-13 y D-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	Servomotor
21	Acceso a cableado
22	Recipiente externo
23	Sensor de proximidad infrarrojo
24	RTD

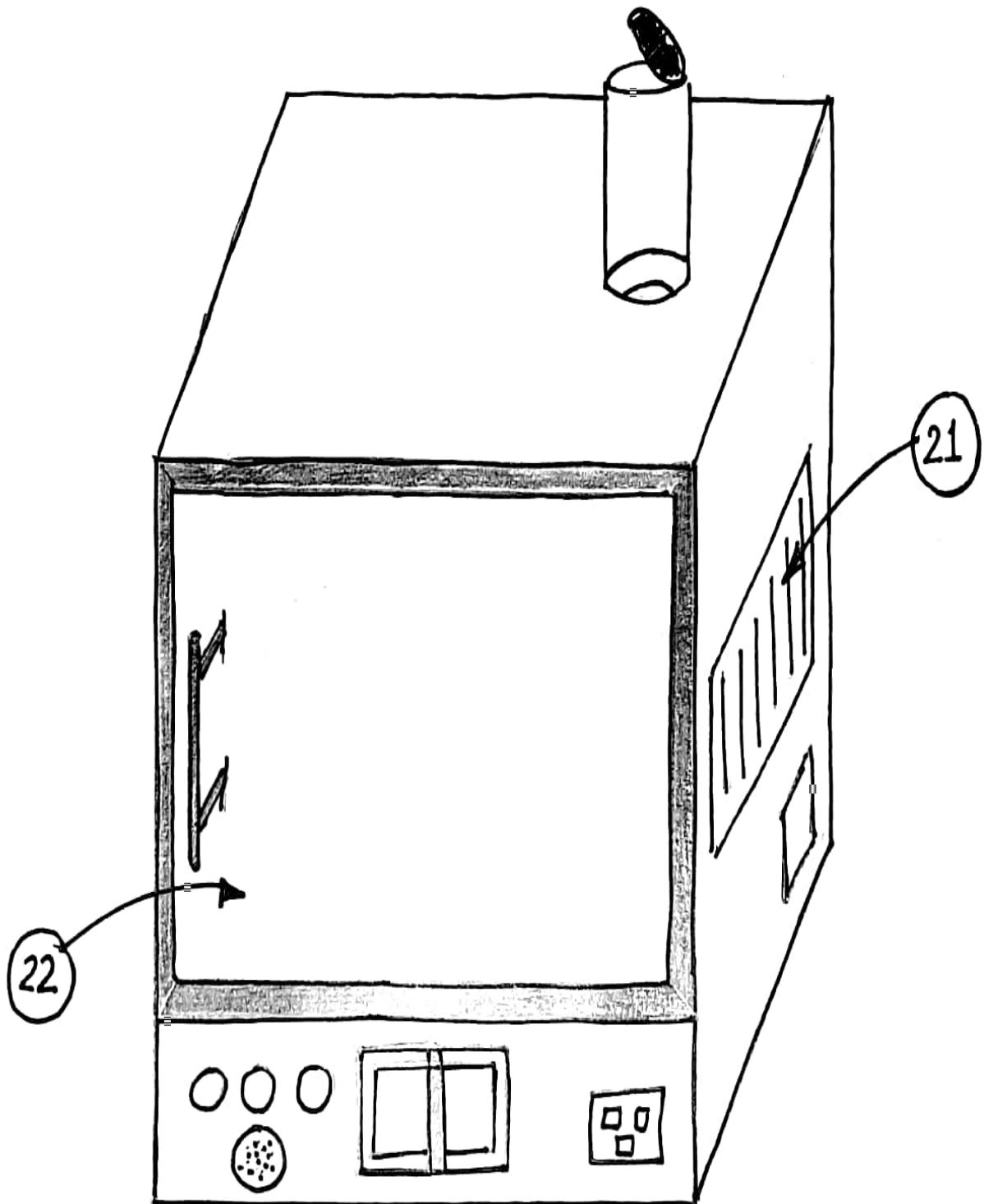


Figura D- 16. Diseño exterior del concepto de solución 3.

Fuente: Elaboración propia.

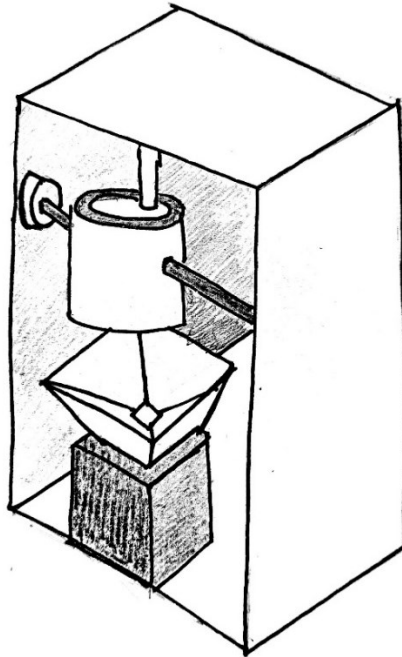


Figura D- 17. Detalle A.1 de la figura D-15.

Fuente: Elaboración propia.

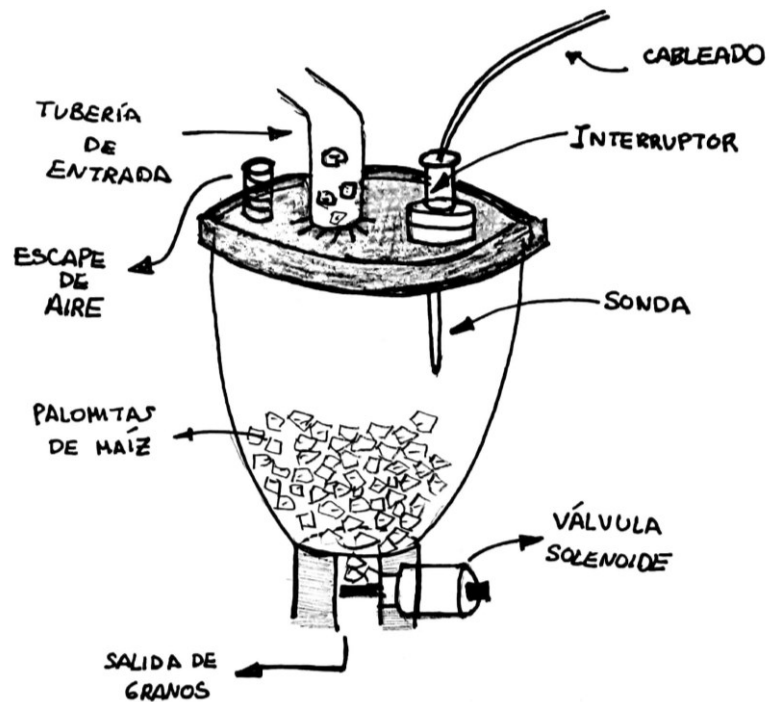


Figura D- 18. Detalle B del sistema de descarga de la figura D-15.

Fuente: Elaboración propia.

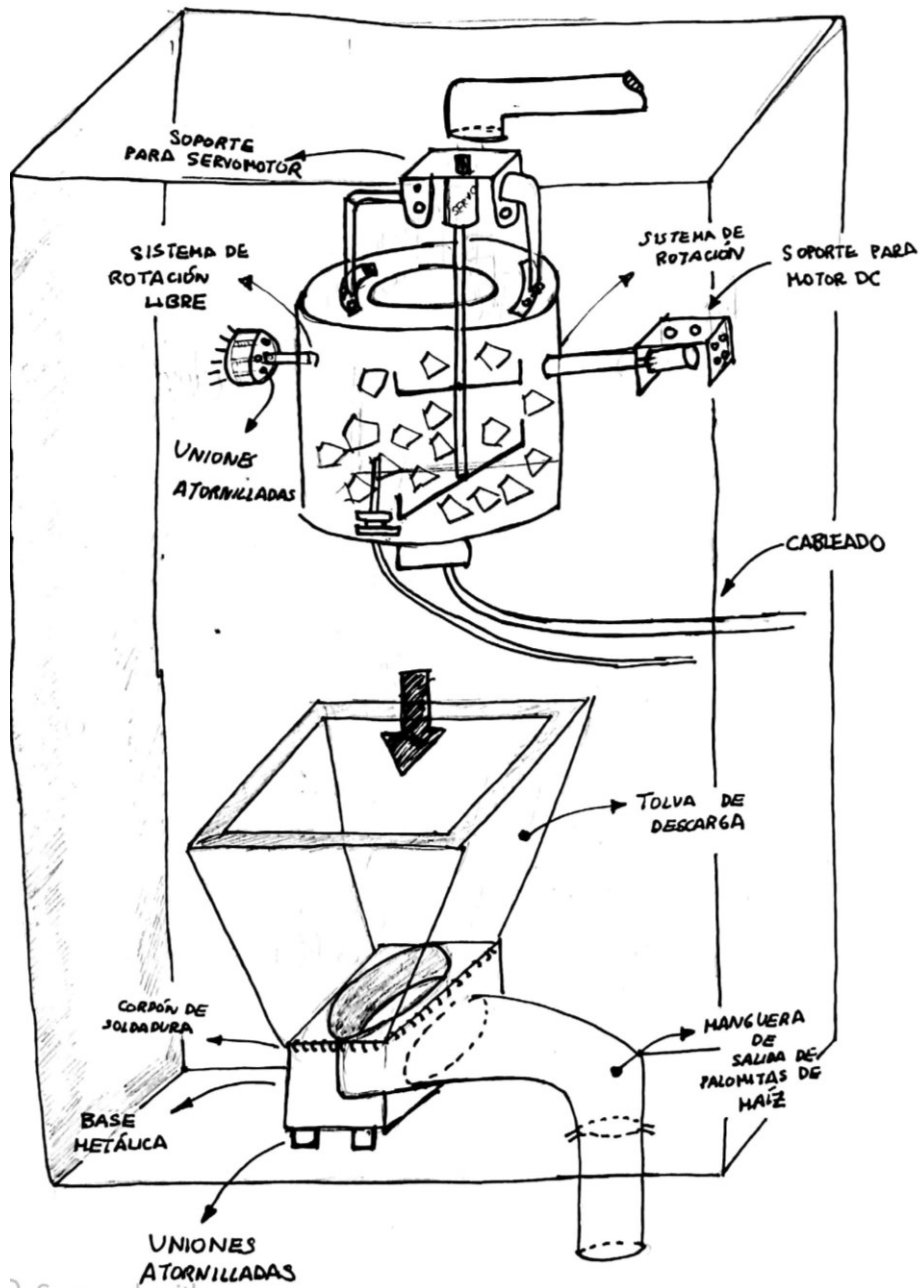


Figura D- 19. Detalle A.2 del sistema de preparación de la figura D-15.

Fuente: Elaboración propia.

D. 4. Selección del concepto óptimo

D.4.1. 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.

D.4.2. 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.



D.4.3. Diseño preliminar del diseño del concepto óptimo del primer componente: máquina de cocción de granos de maíz

Como se mencionó en el capítulo 3, que corresponde al diseño conceptual, únicamente se diseñará la máquina de cocción de granos de maíz automatizada. Para la BCI no habrá parte de diseño, pues esta es de uso comercial extendido en la industria y solo será empleada para la adquisición, extracción y clasificación de características.

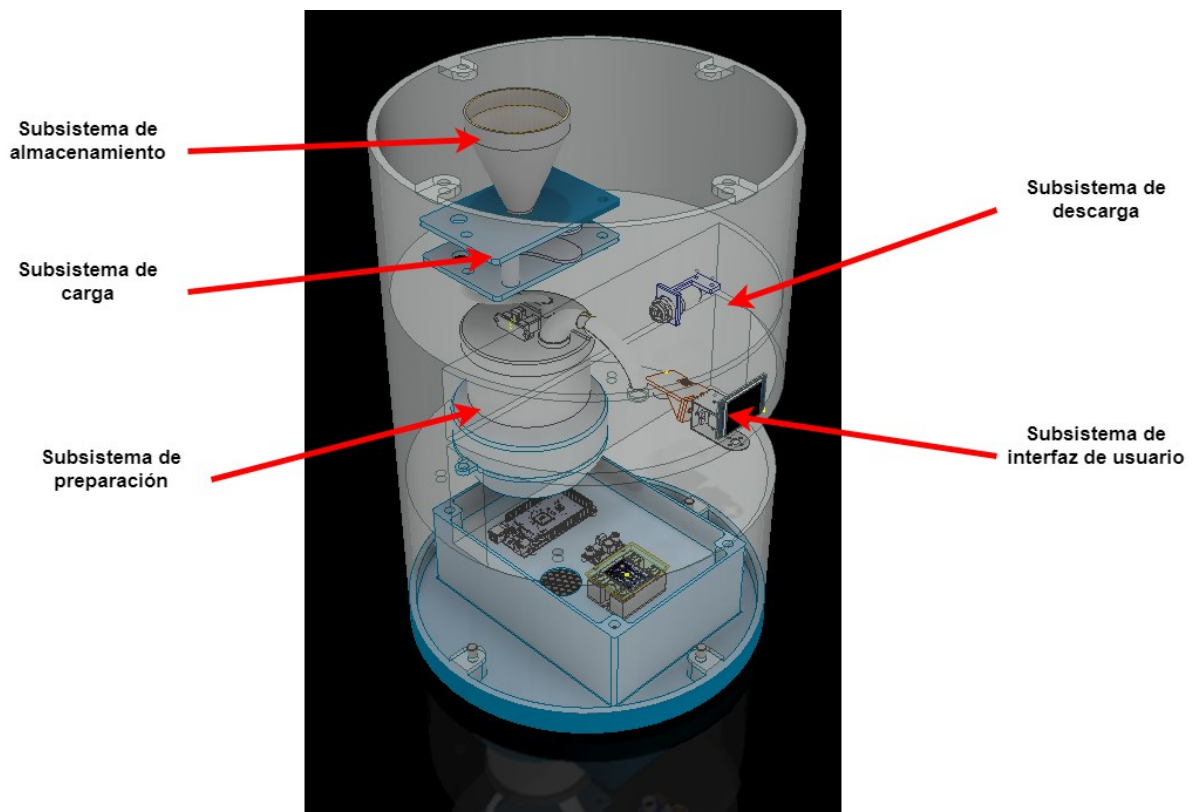


Figura D- 20. Vista isométrica 1 de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

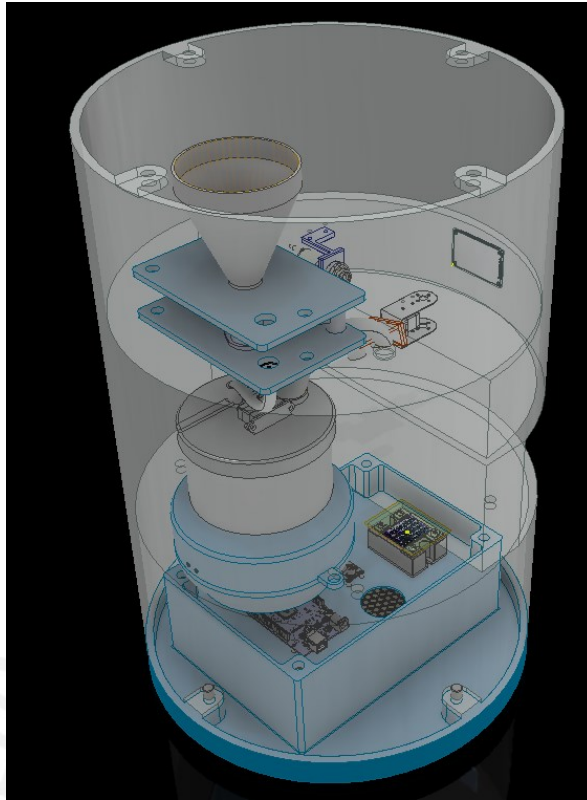


Figura D- 21. Vista isométrica 2 de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

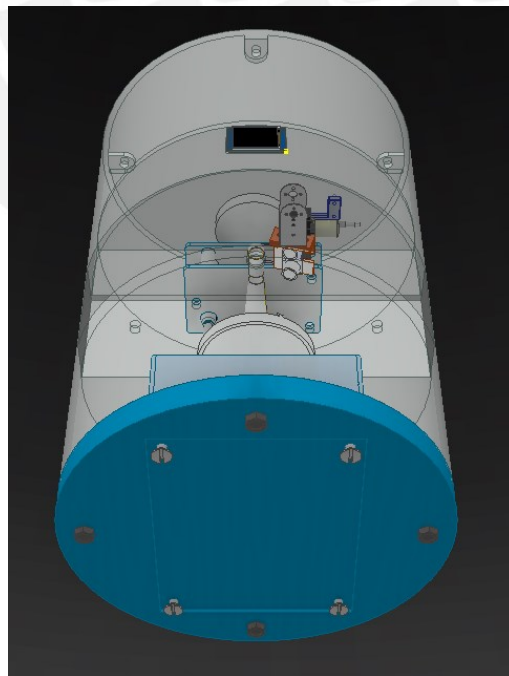


Figura D- 22. Vista isométrica 2 de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

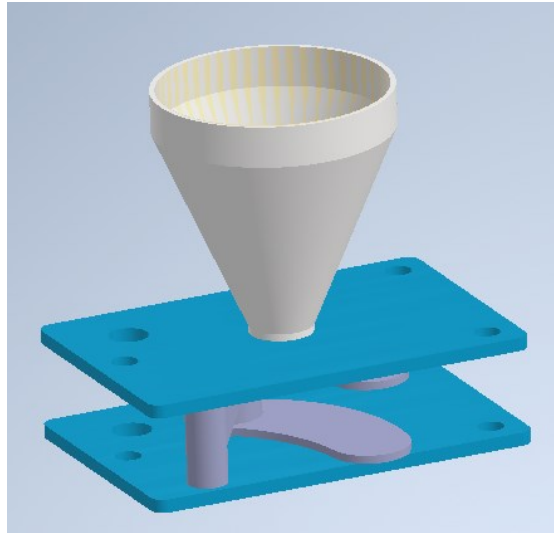


Figura D- 23. Sistema de almacenamiento y carga de granos.

Fuente: Elaboración propia.

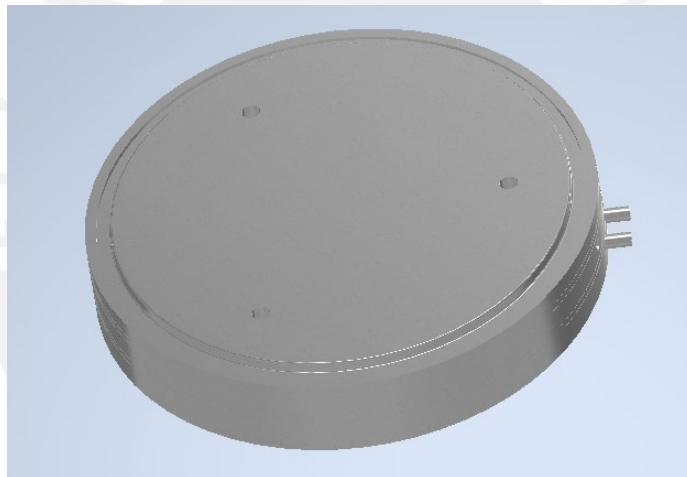


Figura D- 24. Vista exterior del sistema de calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

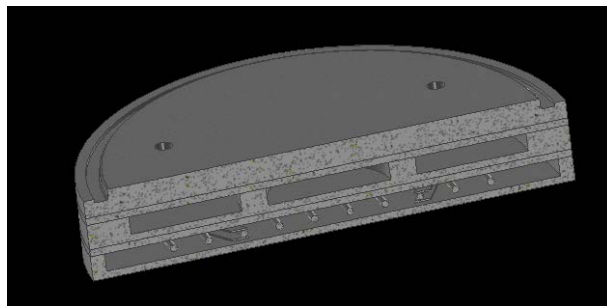


Figura D- 25. Detalle interno del sistema de calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

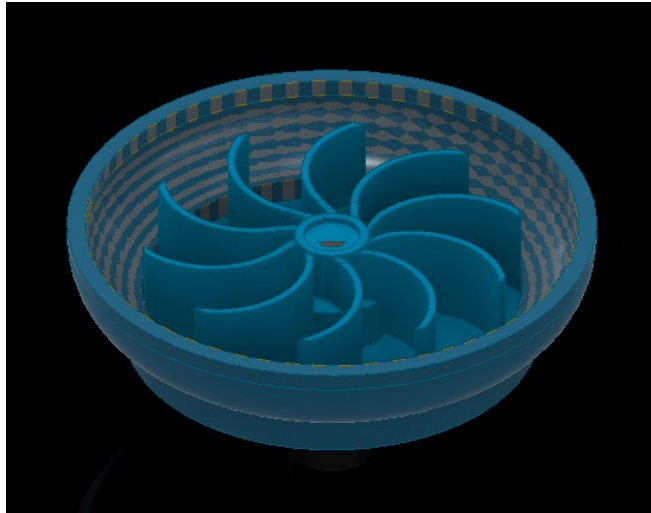


Figura D- 26. Sistema de ventilación.

Fuente: Elaboración propia.

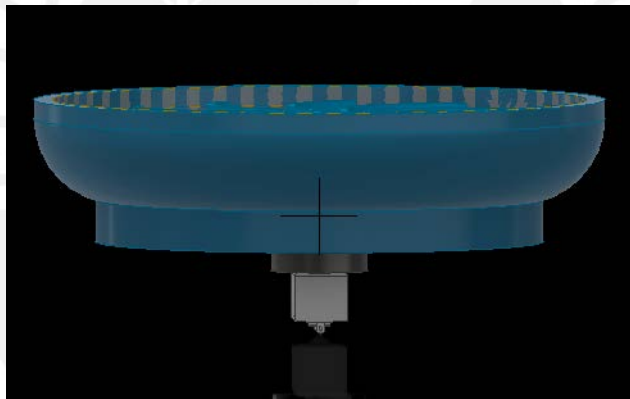


Figura D- 27. Vista isométrica del sistema de ventilación.

Fuente: Elaboración propia.

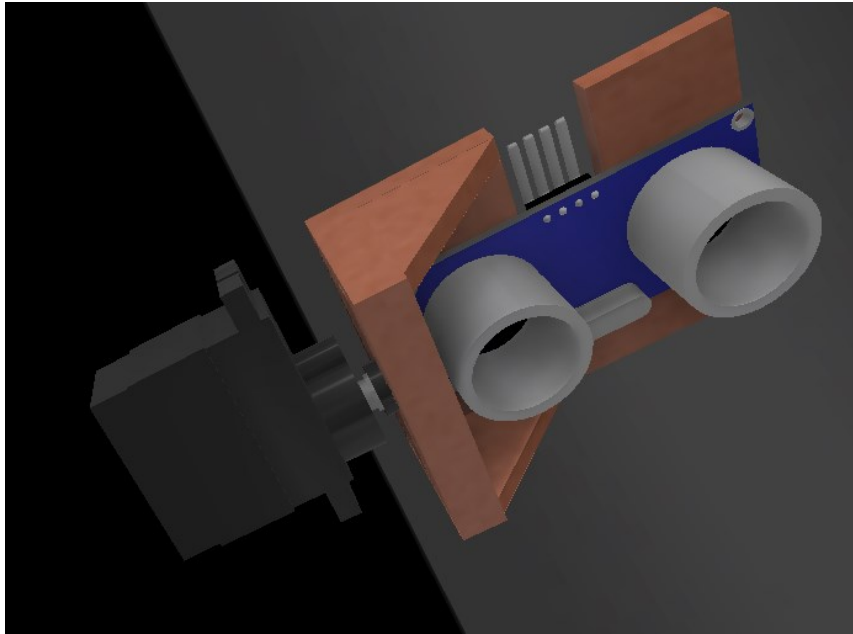


Figura D- 28. Sensor para medir el contenido en el recipiente de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

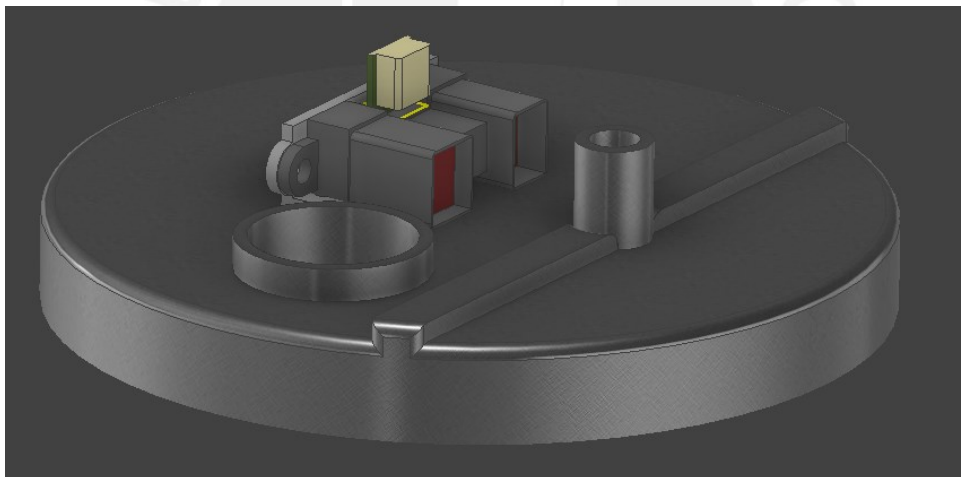


Figura D- 29. Tapa del recipiente de preparación con el sensor de detección.

Fuente: Elaboración propia.