

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA
MEDIANTE AIRE CALIENTE**

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

Mario Alberto Lupaca Flores

ASESORA: MSc. Karol Muñoz Salas

Lima, enero del 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo y confianza brindada desde el primer momento de mi vida universitaria. A la profesora Karol Muñoz por las enseñanzas y oportunidades que me ayudaron a ser mejor profesional. Al profesor Daniel Domínguez por orientarme en la ejecución del presente trabajo a lo largo de los semestres. A mis colegas de trabajo Luis García y Anthony Kim que me brindaron su apoyo en todo momento. Finalmente, a mis compañeros de universidad y amigos por las experiencias y consejos.



RESUMEN

En los últimos años, las exportaciones de granos andinos se han incrementado, siendo la quinua el de mayor crecimiento [1]. Además, Perú es el primer exportador de quinua a nivel mundial desde el año 2014 (53.3% del volumen total) [2]. Ante tal demanda, el objetivo general del presente trabajo consiste en el diseño de una tostadora para 10 kg de granos de quinua por ciclo, mediante aire caliente. La ventaja radica en que los granos no están en contacto continuo con la superficie interna de la máquina y solo se necesita aire ambiental como fluido para alcanzar la temperatura de tostado. El aire caliente ingresa a la cámara de tostado y ocurre una fluidización continua de los granos debido a la corriente del fluido que mantiene a los granos suspendidos, este proceso se conoce como lecho fluidizado. Finalmente, luego del tueste, los granos son enfriados por un determinado tiempo.

La metodología del diseño se basará en la norma VDI 2206 [3] de la Asociación de Ingenieros Alemanes (Verein Deutscher Ingenieure) para sistemas de diseño mecatrónico, complementándose con la norma VDI 2221 [4] para el diseño de sistemas técnicos y productos.



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA
MEDIANTE AIRE CALIENTE
Asesor : Karol Muñoz Salas
Propuesto por : Mario Alberto Lupaca Flores
Alumno : Mario Alberto Lupaca Flores
Código : 20131795
Tema N° : # 227
Fecha : 17/09/2018



Descripción y Objetivos

Las tostadoras de aire caliente son utilizadas para diversos tipos de granos, entre ellos la quinua. Al no estar diseñadas específicamente para el tipo de grano que abarca este trabajo, el proceso no es el adecuado, ya que todos los granos tienen diferente tamaño, temperatura de tostado, densidad, humedad, entre otros factores que afectan a la calidad del tueste. Además, las tostadoras desarrolladas artesanalmente en el país no cuentan con un control sobre la temperatura, velocidad y tiempo durante el tostado. Por lo tanto, el presente proyecto plantea ofrecer una solución para automatizar el proceso a fin de obtener granos con un tostado uniforme mediante el método de aire caliente cuya ventaja radica en que los granos no están en contacto continuo con la superficie interna de la máquina, además de no utilizar gases combustibles para calentar el aire, por lo tanto, se preserva el sabor auténtico de los granos.

Los objetivos planteados para el desarrollo de la tesis son los siguientes:

- Definición de problemática: Planteamiento de metodología, redacción de resumen general del proyecto y estudio de la tecnología actual.
- Elaboración de diseño conceptual: Elaboración de lista de exigencias, estructura de funciones, matriz morfológica y planteamiento de 3 conceptos de solución.
- Elaboración de diseño preliminar: Elaboración de cálculos mecánicos y eléctricos, modelación en software CAD.
- Elaboración de diseño definitivo: Selección de materiales y procesos de fabricación, determinación de costos y elaboración de planos mecánicos y eléctricos.

Branka J. Madrid *Maximo: 100 páginas*
GG  *l*
Karol Muñoz

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
1.1 PROBLEMÁTICA	4
1.2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	6
1.2.1 Alcance	7
1.2.2 Objetivos	7
1.3 ESTADO DEL ARTE	8
1.3.1 Propiedades físicas de granos de quinua y aire	8
1.3.2 Tostadoras de aire caliente comerciales	9
1.3.3 Patentes y tesis	12
1.3.4 Sensores	14
1.3.5 Actuadores y mecanismos	21
1.3.6 Controladores	27
1.4 METODOLOGÍA APLICADA	29
DISEÑO CONCEPTUAL	31
2.1 LISTA DE EXIGENCIAS	31
2.2 ESTRUCTURA DE FUNCIONES	34
2.2.1 Black box	35
2.2.2 Lista de funciones	36
2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA	39
2.4 CONCEPTO DE SOLUCIÓN	39
2.5 EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA	43
DISEÑO DEL SISTEMA	45
3.1 DISEÑO INTEGRADO	45
3.1.1 Diagrama de bloques del sistema	48
3.1.2 Selección de materiales de fabricación	49
3.2 DISEÑO DE CONTROL	51
3.2.1 Diagrama de flujo	51
3.2.2 Control de velocidad de flujo de aire caliente	53
3.2.3 Control de velocidad de enfriador	53
3.2.4 Control de temperatura	54
3.2.5 Selección de controlador	54
3.3 DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO	55
3.3.1 Selección de interfaz	56
3.3.2 Visualización de interfaz	56

3.4 SUBSISTEMA DE CARGA	57
3.4.1 Cálculo de resistencia para perfil de soporte	57
3.4.2 Selección de válvula mariposa	59
3.5 SUBSISTEMA DE TOSTADO.....	61
3.5.1 Selección de celda de carga	61
3.5.2 Selección de celda de carga	62
3.5.3 Selección de calentador tubular con aletas	62
3.5.4 Selección de termocupla	64
3.5.5 Selección de servomotor 2.....	64
3.6 SUBSISTEMA DE SOPORTE	67
3.6.1 Cálculo de resistencia para viga de soporte	67
3.7 SUBSISTEMA SOPLADOR DE AIRE	69
3.7.1 Selección de soplador de vórtice	70
3.7.2 Selección de válvula solenoide	75
3.7.3 Selección de válvula solenoide	76
3.8 SUBSISTEMA DE ENFRIADO	77
3.8.1 Selección de motor AC	77
3.8.2 Selección de pistón eléctrico	80
3.9 SUBSISTEMA PANEL DE CONTROL.....	80
3.10 SUBSISTEMA DE DESCARGA.....	81
3.11 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	82
3.12 LISTA DE PLANOS	83
3.13 PROCESOS DE FABRICACIÓN	86
3.14 ESQUEMÁTICOS.....	90
COSTOS DEL SISTEMA.....	94
4.1 COSTO POR COMPONENTES	94
4.2 COSTO DE FABRICACIÓN.....	96
4.3 COSTOS DE PROGRAMACIÓN	99
4.4 COSTOS DE DISEÑO	100
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1. Perú, Evolución de Exportaciones de Quinua (2008-2016).....	5
Figura 1- 2. Tostadora MASFAFE.....	10
Figura 1- 3. Tostadora GRACO.	10
Figura 1- 4. Tostadora de aire caliente 10 Kg.	11
Figura 1- 5. Tostadora en lecho fluidizado de la patente US5394623A.....	13
Figura 1- 6. Tostadora de café de la patente US4484064A.	13
Figura 1- 7. Operación SCADA.....	14
Figura 1- 8. Termocupla tipo K.....	15
Figura 1- 9. Sensor de temperatura RTD.....	16
Figura 1- 10. Termistor PTC.	16
Figura 1- 11. Sensor piezoresistivo con diagrama de silicio monolítico.....	18
Figura 1- 12. Sensor de presión piezoelectrónico.	18
Figura 1- 13. Sensor de presencia de llama por sondas de ionización.	20
Figura 1- 14. Sensor de presencia de llama ópticos.	20
Figura 1- 15. Tina de enfriamiento convencional.	22
Figura 1- 16. Enfriador por movimiento de granos y succión de aire.....	22
Figura 1- 17. Calentador de aire de cartucho.....	23
Figura 1- 18. Calentador en U con aletas.	24
Figura 1- 19. Soplador de vórtice E-VAC.	24
Figura 1- 20. Soplador centrífugo Kyung Jin Blower.	25
Figura 1- 21. Variador de frecuencia.....	25
Figura 1- 22. Regulador de intensidad.....	26
Figura 1- 23. Válvula proporcional – GRK.....	27
Figura 1- 24. Válvula solenoide PDV series.....	27
Figura 1- 25. PLC SIEMEN.....	28
Figura 1- 26. Controlador PID industrial.....	28
Figura 1- 27. MyRio.	29
Figura 2- 1. Black box del sistema.	35
Figura 2- 2. Estructura de funciones del sistema.	38
Figura 2- 3. Concepto de solución 1.	40
Figura 2- 4. Concepto de solución 2.	41
Figura 2- 5. Concepto de solución 3.	42
Figura 2- 6. Gráfico técnico-económico entre las soluciones.	44
Figura 3- 1. Vista isométrica 1.	46
Figura 3- 2. Vista isométrica 2.	47
Figura 3- 3. Diagrama de operaciones.....	48
Figura 3- 4. Diagrama de bloques.....	49
Figura 3- 5. Diagrama de flujo de programa principal.	51
Figura 3- 6. Subprograma “Tostar manual”.....	52
Figura 3- 7. Subprograma “Tostar automático”.	53
Figura 3- 8. Diagrama de control de soplador de aire.	53
Figura 3- 9. Diagrama de control de motor en enfriador.....	54
Figura 3- 10. Diagrama de control de temperatura.....	54
Figura 3- 11. Ventana principal de interfaz de usuario.	57
Figura 3- 12. Subsistema de carga.	57
Figura 3- 13. Perfil de soporte en subsistema de carga.	58
Figura 3- 14. Esquema y DCL de perfil de soporte.	58
Figura 3- 15. Diagrama de fuerzas para perfil de soporte.	59

Figura 3- 16. Tolva de abastecimiento con granos de quinua.	59
Figura 3- 17. Subsistema de tostado.	61
Figura 3- 18. Esquema de servomotor 2.	65
Figura 3- 19. Esquema y DCL de eje de servomotor 2.	65
Figura 3- 20. Diagrama de fuerzas y momentos para eje de servomotor 2.	65
Figura 3- 21. Esquema de estructura de soporte.	67
Figura 3- 22. Esquema de estructura de soporte.	67
Figura 3- 23. DCL de viga de soporte.	68
Figura 3- 24. Diagrama de fuerza normal para viga de soporte.	68
Figura 3- 25. Esquema de conexión neumática.	69
Figura 3- 26. Subsistema soplador de aire.	69
Figura 3- 27. Subsistema soplador de aire.	77
Figura 3- 28. Paletas de enfriador.	78
Figura 3- 29. Esquema de fuerza de fricción en enfriador.	78
Figura 3- 30. Subsistema panel de control.	81
Figura 3- 31. Subsistema de descarga.	82
Figura 3- 32. Esquemático de controlador.	90
Figura 3- 33. Esquemático de módulo relé.	91
Figura 3- 34. Esquemático de pistón.	91
Figura 3- 35. Esquemático de servomotores.	92
Figura 3- 36. Esquemático de sensor de temperatura.	92
Figura 3- 37. Esquemático de sensor de resistencia.	93
Figura 3- 38. Esquemático del LDR.	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1. Tabla comparativa de tostadoras	6
Tabla 1- 2. Tabla de características físicas de granos de quinua.....	8
Tabla 1- 3. Tabla de propiedades del aire a 1 atm.....	8
Tabla 1- 4. Tabla 1 de características de tostadoras estudiadas.....	11
Tabla 1- 5. Tabla 2 de características de tostadoras estudiadas.....	12
Tabla 1- 6. Tabla comparativa entre sensores de temperatura.....	17
Tabla 1- 7. Tabla comparativa entre sensores de presión.....	19
Tabla 1- 8. Tabla comparativa entre sensores de llama.....	21
Tabla 2- 1. Leyenda de indicadores para matriz morfológica.....	39
Tabla 2- 2. Evavaluación técnica-económica.....	43
Tabla 3- 1. Tabla comparativa entre aceros inoxidables.....	50
Tabla 3- 2. Tabla comparativa entre materiales transparentes.....	50
Tabla 3- 3. Tabla comparativa entre microcontroladores.....	55
Tabla 3- 4. Tabla comparativa entre visualizadores.....	56
Tabla 3- 5. Tabla comparativa entre válvulas.....	60
Tabla 3- 6. Tabla comparativa entre celdas de carga.....	62
Tabla 3- 7. Tabla comparativa entre calentadores aletados.....	63
Tabla 3- 8. Tabla comparativa entre termocuplas.....	64
Tabla 3- 9. Tabla comparativa entre servomotores.....	66
Tabla 3- 10. Tabla comparativa entre sopladores de vórtice.....	75
Tabla 3- 11. Tabla comparativa entre válvulas solenoides.....	76
Tabla 3- 12. Tabla comparativa entre motores AC.....	79
Tabla 3- 13. Tabla comparativa entre pistones eléctricos	80
Tabla 3- 14. Tabla de cálculo de corrientes.....	82
Tabla 3- 15. Tabla comparativa entre fuentes de poder.....	83
Tabla 3- 16. Lista de planos 1	83
Tabla 3- 17. Lista de planos 2	84
Tabla 3- 18. Lista de planos 3	85
Tabla 3- 19. Lista de procesos de fabricación 1	86
Tabla 3- 20. Lista de procesos de fabricación 2	87
Tabla 3- 21. Lista de procesos de fabricación 3	88
Tabla 3- 22. Lista de procesos de fabricación 4.....	89

INTRODUCCIÓN

Las tostadoras de aire caliente son utilizadas para diversos tipos de granos, entre ellos la quinua. Al no estar diseñadas específicamente para el tipo de grano que abarca este trabajo, el proceso no es el adecuado, ya que todos los granos tienen diferente tamaño, temperatura de tostado, densidad, humedad, entre otros factores que afectan a la calidad del tueste. Los empresarios que desean realizar emprendimiento en este rubro se ven obligados a recurrir a tostadoras desarrolladas artesanalmente en el país, las cuales no cuentan con un control sobre la temperatura, velocidad y tiempo durante el tostado [5]. Por lo tanto, el presente proyecto plantea ofrecer una solución a las empresas que producen granos tostados de quinua que no cuentan con el capital necesario para adquirir las tostadoras modernas del extranjero, así como a las empresas que planean automatizar el proceso para obtener granos con un tostado uniforme a través del método de aire caliente cuya ventaja radica en que los granos no están en contacto continuo con la superficie interna de la máquina, además de no utilizar gases combustibles para calentar el aire, por lo tanto, se preserva el sabor auténtico de los granos.

El diseño de la tostadora para granos de quinua mediante aire caliente con medidas generales 1.3 m x 1.5 m x 2 m contempla una estructura resistente a la corrosión y altas temperaturas gracias a los materiales de fabricación seleccionados (Acero inoxidable 304 y Vidrio de Borosilicato). Además, al contar con garruchas en la parte inferior y fácil acceso al interior de la máquina, el usuario podrá realizar un mantenimiento fácilmente. La alimentación eléctrica es 220 VAC monofásica y se requiere un lugar ventilado con una buena circulación de aire. En el panel de operación ubicado a una altura conveniente para personas entre 1.52 a 1.65 m, (promedio de estatura de mujer y varón respectivamente, extraído de [6]) se ubican los interruptores de inicio y parada de emergencia, así como una pantalla táctil para el ingreso de datos. El operario ingresa como máximo 100 kg de granos de quinua de forma manual a un recipiente de carga (Tolva de abastecimiento) y en el panel de operación se elige entre realizar un ciclo manual o automático.

En el ciclo automático, el ingreso de granos desde el recipiente de carga hacia la cámara de tostado es automático mediante transporte neumático debido a un soplador de aire, el mismo que genera el flujo de aire para ser calentado y así permitir el tostado de granos. El accionamiento de ingreso o tostado de granos se decide con la abertura/cierre de 2 válvulas solenoides ubicados estratégicamente para cada

propósito. El enfriador cumple la función de evitar el sobre calentamiento debido al contacto entre los mismos granos; por ello, se busca alcanzar una temperatura menor a 80° C, manteniéndolos en constante movimiento por medio de unas paletas giratorias acoplados al eje de un motor de ¼ HP a una velocidad de 30 RPM. El ciclo automático realiza procesos de tostado cada 10 Kg hasta completar el número de ciclos ingresados. Además, los actuadores (válvulas, motores y calentador) son accionados por el controlador previa lectura de los sensores (temperatura, velocidad de flujo de aire).

Por otro lado, en el ciclo manual realiza un único proceso donde el operario puede modificar manualmente las variables del proceso como temperatura de tostado, tiempo de tostado y tiempo de enfriado durante todo el proceso. Al finalizar el enfriado de granos, estos son trasportados a un recipiente (tolva de descarga), con capacidad de 100 kg, para su descarga. Cuando se sobrepase el límite de capacidad de la tolva de descarga, se le indica al usuario que debe descargar manualmente los granos. Este tipo de ciclo otorga al operario o maestro tostador nuevas configuraciones de tostado a medida que adquiera experiencia con el uso de la máquina.

En el documento se presenta información detallada del proyecto organizada por capítulos. En el capítulo 1 se hace un estudio de la problemática asociada al proceso de tostado de la máquina existente, analizando el estado actual de la tecnología con la finalidad de encontrar sistemas similares que puedan brindar un panorama más amplio sobre la maquinaria o los procesos empleados. Se muestran propuestas de solución, y se hace mención sobre la metodología que se seguirá. En el capítulo 2, se aborda el tema de diseño, partiendo de la lista de exigencias y la estructura de funciones, segmentando el problema para un mejor análisis. Se realiza la matriz morfológica con los principios de solución, desarrollando los conceptos de solución que serán sometidos a un análisis con criterios técnicos y económicos. En el capítulo 3 se presenta el diseño de la tostadora de aire caliente para granos de quinua, se realizan cálculos y simulaciones sobre las principales piezas mecánicas, se detallan los sensores y actuadores requeridos, y se presenta el diagrama de flujo del programa principal. En el capítulo 4 se detallan los costos relacionados al diseño de la máquina dividido por aspectos de costo unitario por componente, costos de programación y costos de diseño (desarrollo de la máquina).

Por último, se detallan conclusiones y recomendaciones para la consideración de futuros trabajos con base el diseño presentado en el capítulo 3. Asimismo, en el

apartado de Anexos se muestran gráficos, pruebas experimentales, el detalle del diagrama de flujo y hojas de datos, así como proformas de los componentes seleccionados.



CAPITULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se explican los temas relacionados a la problemática actual sobre el tostado de granos de quinua, la propuesta de solución que se plantea a partir de una hipótesis, el estado del arte en el que se muestra la tecnología existente, y se explica el plan metodológico a seguir durante el diseño de la máquina.

1.1 PROBLEMÁTICA

El interés creciente por mejorar la calidad alimentaria, tanto por organismos internacionales como por el propio estado peruano, como respuesta a las altas tasas de mortalidad materna e infantil por deficiencias nutricionales, han motivado la implementación de diversas estrategias de solución para enfrentar este grave problema. Una de ellas es la Estrategia Sanitaria "Alimentación y Nutrición Saludable" impulsada por el Ministerio de Salud que tiene como objetivo mejorar el estado nutricional de la población peruana a través de acciones integradas de salud y nutrición, priorizando a los grupos vulnerables, en pobreza extrema y exclusión [7]. En 2017, el Ministerio de Agricultura y Riego reveló la importancia del "Día Nacional de los Granos Andinos" (30 de junio) y la necesidad de promover un mayor consumo de quinua, cañihua, kiwicha y otros, que se han convertido, por su alto valor nutricional, en superalimentos, en beneficio de la alimentación saludable de los 32 millones de habitantes en el país [8].

El valor nutricional de la quinua ha sido básicamente reconocido por su proteína de alta calidad, particularmente rica en aminoácidos esenciales y por su contenido de carbohidratos, produciendo bajos índices de glicemia y en general una mejor calidad nutricional y funcional respecto a granos de cereales tales como maíz, avena, trigo y arroz [9]. Desde el 2014, Perú es el principal exportador internacional de este grano andino, además de representar el 53.3% del volumen total de la producción mundial de quinua [2]. En la Figura 1- 1 se presenta la evolución de exportaciones de quinua en el periodo 2008-2016 en términos de toneladas. Se aprecia que a pesar de que las exportaciones hacia Estados Unidos hayan disminuido, se ha abierto paso a otros destinos e incluso se ha superado el total de exportaciones.

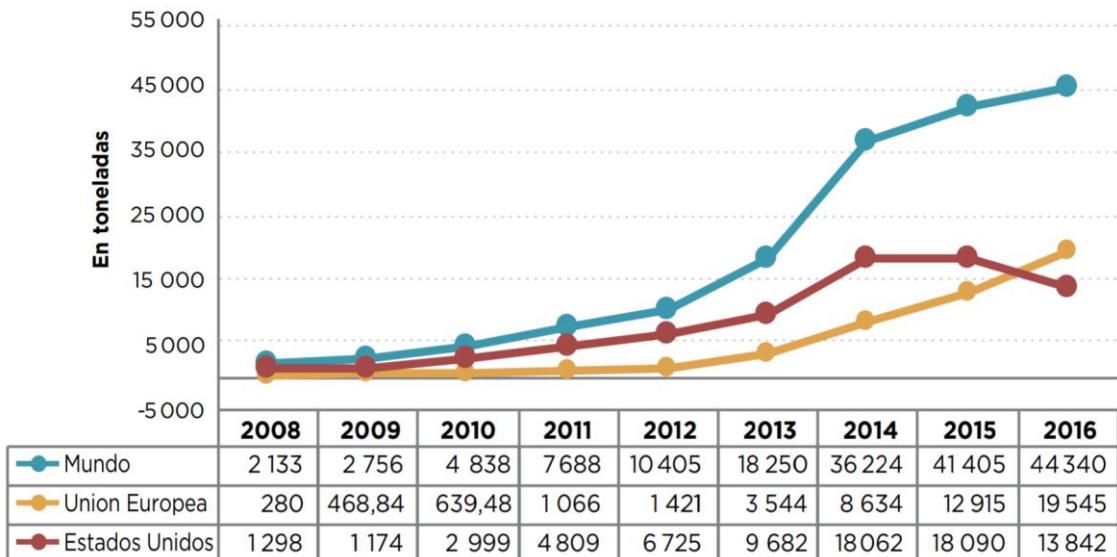


Figura 1- 1. Perú, Evolución de Exportaciones de Quinua (2008-2016).

Fuente: SUNAT - DGPA-DEEIA [13].

El tostado de granos tiene como objetivo mejorar la digestibilidad, creando una serie de condiciones favorables para su consumo como la textura, sabor, aroma y color. Además, ofrece buenas condiciones posteriores de molienda para obtener harina más fácil de preparar y consumir [10]. El mercado nacional actual cuenta con tostadoras de tambor rotatorio diseñadas generalmente para granos de café. Esta tecnología se basa en el movimiento de los granos dentro de un tambor precalentado alrededor de 200°C que gira en un proceso que dura entre 12 a 18 minutos para una capacidad de carga desde 5 a 600 kg [11]. Gran parte del proceso de tostado se realiza por aire (convección), pero también por contacto con la superficie caliente (conducción) [12].

En la industria existe otro tipo de tostadoras que integran un sistema de lecho fluido también llamadas tostadoras de aire caliente que fuerzan el aire calentado a través de una pantalla o placa perforada debajo de los granos de café con la fuerza suficiente para levantar los granos. El calor se transfiere a los granos a medida que caen y circulan dentro de este lecho fluidizado [9]. En los últimos años, se empieza a comercializar más las tostadoras de aire caliente pues causan menos fricción, pérdida de masa y ofrece tostados más parejos.

En la Tabla 1- 1 se compararán características de las 2 tecnologías de tostado para 10 kg de café. La tostadora de tambor rotatorio es de la empresa CAFELI y el de aire caliente de la empresa CAFETERÍAS CAFÉ.

Tabla 1- 1. Tabla comparativa de tostadoras. Fuente: Extraído de [14] y [15].

Característica	Tostadora de tambor	Tostadora de aire caliente
Granos	Café	Café
Tiempo de tostado	20 – 25 min	10 – 15 min
Transferencia de calor	Conducción	Convección
Fluido	Aire y GLP	Aire y GLP
Dimensiones	1 m x 2 m x 0.6 m	1.4 m x 0.9 m x 1.65 m
Enfriamiento de granos	Por aire forzado	Por aire natural

Las tostadoras de tambor rotatorio y de aire caliente son utilizadas también para otro tipo de granos, entre ellos la quinua. Lo anterior origina un proceso no adecuado, ya que todos los granos tienen diferente tamaño, temperatura de tostado, densidad, humedad, entre otros factores que afectan a la calidad del tueste. Además, a las pequeñas empresas del Perú les es complicado adquirir las tostadoras modernas desarrolladas en el extranjero debido a su precio elevado. Por lo que los empresarios que desean realizar emprendimiento en este rubro se ven obligados a recurrir a tostadoras desarrolladas artesanalmente en el país, las cuales no cuentan con un control sobre la temperatura, velocidad y tiempo durante el tostado [5]. Por lo tanto, el presente proyecto plantea ofrecer una solución a las empresas que producen granos tostados de quinua que no cuentan con el capital necesario para adquirir las tostadoras modernas del extranjero. Así como a las empresas que planean automatizar el proceso para obtener granos de quinua con un tostado uniforme a través del método de aire caliente, cuya ventaja radica en que los granos no están en contacto continuo con la superficie interna de la máquina. Finalmente, el diseño no contempla el uso de gases combustibles para calentar el aire; por lo tanto, se preserva el sabor auténtico de los granos.

1.2 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se plantea el diseño de una máquina automática para el tostado de granos de quinua mediante aire caliente que cuenta con un control sobre la temperatura y tiempo de tostado, además de la velocidad del flujo de aire caliente. También incorpora un proceso de enfriamiento de los granos, permitiendo dar un tratamiento térmico uniforme y controlado, mejorando de esta forma la calidad del producto terminado. Asimismo, se plantea como objetivo general el diseño de la máquina usando las

metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206) y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221) con el fin de controlar automáticamente los sistemas antes descritos.

1.2.1 Alcance

- Se diseñará una tostadora automática para granos de quinua con una capacidad de 100 kg y un procesamiento de 10 kg en 10 minutos; sin embargo, no se realizará su implementación.
- La obtención de los parámetros de control no se realizará en el presente trabajo.
- El diseño no contempla la realización de la interfaz de usuario ni del código de programación.

1.2.2 Objetivos

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo. También se presentan los resultados intermedios o finales que se esperan conseguir en el desarrollo del diseño.

Objetivo General:

- Diseñar una tostadora automática para granos de quinua mediante aire caliente.

Objetivos Específicos:

- Definir la problemática: Plantear la metodología, redactar el resumen general del proyecto y estudiar la tecnología actual.
- Elaborar el diseño conceptual: Elaborar la lista de exigencias, estructura de funciones, matriz morfológica y plantear 3 conceptos de solución.
- Elaborar el diseño preliminar: Elaborar cálculos mecánicos y eléctricos, modelar en software CAD.
- Elaborar el diseño definitivo: Seleccionar materiales y procesos de fabricación, elaborar planos mecánicos y eléctricos.
- Determinar los costos del sistema: Determinar los costos relacionados con los componentes utilizados, fabricación, programación y diseño.

1.3 ESTADO DEL ARTE

En el presente acápite, se muestran un estudio previo sobre las propiedades físicas de los granos de quinua y el aire ambiental, también se presentan tostadoras de aire caliente comerciales de tipo industrial, patentes y tesis de estudios previos, sensores, actuadores, controladores e interfaces de usuario aplicables al sistema con el fin de asimilar conocimientos que serán de ayuda para la realización del diseño.

1.3.1 Propiedades físicas de granos de quinua y aire

Debido a que el diseño contempla un tostado en un entorno de lecho fluidizado, los granos permanecerán en suspensión por efecto del ingreso de aire caliente a una determinada velocidad. Los parámetros a ser calculados, como la presión o diámetro de tuberías, requieren un estudio previo las características físicas de los granos de quinua (Tabla 1- 2).

Tabla 1- 2. Tabla de características físicas de granos de quinua.

Fuente: Extraído de [16] y [17]

Característica	Valor
Porosidad	0.37
Esfericidad (%)	88
Diámetro medio (mm)	2.02
Densidad (kg/m ³)	1380

Adicionalmente en la Tabla 1- 3 se muestran las propiedades del aire a una presión nominal de 1 atmósfera. Se consideran las características a una temperatura ambiental (25 °C) y a una temperatura de tostado promedio (140 °C).

Tabla 1- 3. Tabla de propiedades del aire a 1 atm. Fuente: Extraído de [18]

Característica	Valor
Densidad a 25 °C (kg/m ³)	1.184
Densidad a 140 °C (kg/m ³)	0.8542
Viscosidad dinámica a 25 °C (kg/m.s)	1.849x10 ⁻⁵
Viscosidad dinámica a 140 °C (kg/m.s)	2.345x10 ⁻⁵
Calor específico a 25 °C (J/kg.°C)	1007

1.3.2 Tostadoras de aire caliente comerciales

En el Perú se fabrican tostadoras manuales con tambor giratorio, construidos artesanalmente en la mayoría de los casos, y sin las certificaciones sobre el cumplimiento de estándares de producción. Las tostadoras de aire caliente industriales se empiezan a comercializar en Colombia, ya que es uno de los mayores productores de café en la región, y México que produce la maquinaria para tostación de café. Las empresas productoras de granos tostados que decidan importar las máquinas descritas anteriormente, deben adicionar un valor extra debido al impuesto tributario por derechos AD – Valorem, el cual oscila entre 0 a 11% según subpartida nacional (código de producto a importar) [19].

En los últimos 2 años se posiciona como una buena alternativa de diseño para tostadoras ya que incorpora una transferencia térmica diferente (convección) a las máquinas convencionales (conducción). Sin embargo, aún son de operación manual donde el operador debe iniciar el proceso y variar la presión de gas con el transcurso del tiempo de tostado y las más modernas solo se encuentran en el extranjero.

A continuación, se muestran algunas máquinas tostadoras de aire caliente detallando sus características principales.

1.3.2.1 Tostadora de aire caliente MASKAFE

La tostadora de la empresa de maquinarias agro industriales MASKAFE (Figura 1- 2) ofrece un diseño moderno, con un control de la temperatura de tostado para granos de café y un depósito de descarga. La fabricación es realizada con materiales de acero inoxidable para no alterar el grado alimenticio de los granos y el tipo de producción es por lotes, es decir, el operario carga una cierta cantidad de granos a la tolva por cada proceso.

Entre las características del tostador que MASKAFE menciona en su página web, no especifica un sistema de enfriado posterior al tueste de granos, además solo fabrica tostadoras exclusivamente para granos de café [20].



Figura 1- 2. Tostadora MASFAFE.
Fuente: www.maskafe.com/images/tostadora-aire2.jpg

1.3.2.2 Tostadora de aire caliente GRACO

La empresa distribuidora de maquinaria agrícola LA SOLEDAD (Figura 1- 3) comercializa tostadoras semiautomáticas para ofrecer un tostado uniforme de los granos de café. El proceso de tostado cuenta con un sistema de lecho fluidizo de aire caliente que permite regular el tostado conservando las propiedades de aroma y sabor y la producción es por lotes. La capacidad de granos de café oscila entre 2 a 45 kg y la fuente de ignición es el GLP. Cuenta con indicadores digitales y análogos del proceso. El proveedor afirma que cuenta con altos estándares de seguridad y que requiere poco mantenimiento. Sin embargo, esta tostadora no cuenta con un sistema de enfriamiento luego del proceso de tostado, además, es exclusivo para granos de café [21].



Figura 1- 3. Tostadora GRACO.
Fuente: www.maquinaria-lasoledad.com/images/tpc_tostador_graco/img54.jpg

1.3.2.3 Tostadora de aire caliente 10 kg

De acuerdo a lo que indica la empresa, esta tostadora es ideal para un negocio de café (Figura 1- 4), pues el diseño está específicamente dedicado a dicho tipo de grano. Es una tostadora automática donde la entrada de granos es automática gracias a un elevador neumático al inferior de la máquina, por eso es adecuado para una producción de flujo continuo. Cuenta con una tina de enfriamiento, pero no especifica si es por ventilación o agitación de granos. La interfaz de usuario es limitada, pues no cuenta con un panel, sino botones básicos de encendido/parada [15].



Figura 1- 4. Tostadora de aire caliente 10 Kg.

Fuente: www.cafeteriascafe.com/tmp/501256551212.jpg

A continuación, en las Tabla 1- 4 y Tabla 1- 5, se comparan las características principales de las 3 tostadoras descritas anteriormente.

Tabla 1- 4. Tabla 1 de características de tostadoras estudiadas.

Fuente: Extraído de [15], [21] y [20].

Característica	MASKAFE	GRACO	CAFETERÍAS CAFÉ
Fabricante	MASKAFE MAQUINARIA AGRO INDUSTRIAL S.A.	Maquinaria Agrícola & Refacciones La Soledad	Cafeterías Café
Origen	México	México	México
Tipos de granos	Café	Café	Café

Tabla 1- 5. Tabla 2 de características de tostadoras estudiadas.

Fuente: Extraído de [15], [21] y [20].

Característica	MASKAFE	GRACO	CAFETERÍAS CAFÉ
Capacidad de carga	2 – 50 kg	2 – 45 kg	10 kg
Fuente de ignición	GLP	GLP	GLP
Sistema de control de temperatura	Sí	No especifica	No especifica
Alimentación eléctrica	Bifásica o trifásica	No especifica	110 - 127 VAC
Sistema de enfriamiento	No especifica	No especifica	SÍ
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Tiempo de tostado	10 min	No especifica	10 – 15 min
Precio	No especifica	No especifica	S/. 28597.02

1.3.3 Patentes y tesis

A continuación, se presentan trabajos previos realizados por investigadores y tecnólogos sobre tostadoras de lecho fluidizado donde proponen novedosas técnicas de enfriado de granos, automatización y control de mermas.

1.3.3.1 Patente “Fluidized bed coffee roaster” - US5394623A

La patente de la Figura 1- 5 (liberada) se centra en el tueste de granos de café. El principio térmico es mayoritariamente por convección debido a que cuenta con un proceso de lecho fluidizado tal como indica el nombre de la patente. Dicho proceso genera una corriente de aire caliente que fluye a través de un ducto perforado hacia la cámara de tostado generando el movimiento de los granos. Cuenta con un controlador para el flujo de aire caliente ingresado y sensores de temperatura. Adicionalmente se propone un enfriado de granos con un sistema de pulverizado a través de un inyector de agua [22].

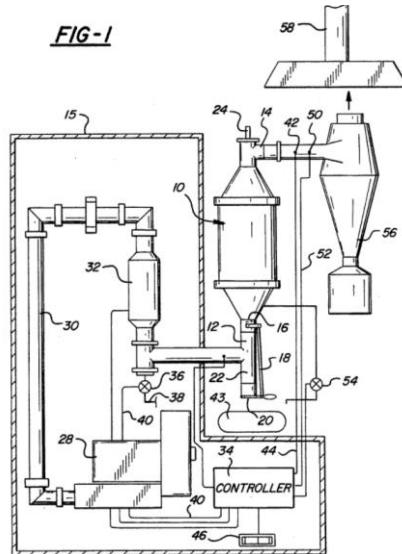


Figura 1- 5. Tostadora en lecho fluidizado de la patente US5394623A.

Fuente: Extraído de [22].

1.3.3.2 Patente “Cofee roaster” – US4484064A

La Figura 1-6 se muestra la patente (liberada) del diseño de un tostador para granos de café mediante el método de lecho fluido a través de la suspensión de los granos por una corriente de aire caliente. Luego del tueste se hace circular aire frío para enfriar los granos, siendo este una ventaja importante, ya que permite conservar el sabor original de los granos al no mezclarlos con otra sustancia. Por otro lado, también incluye un sistema de molienda luego del enfriado de granos [23].

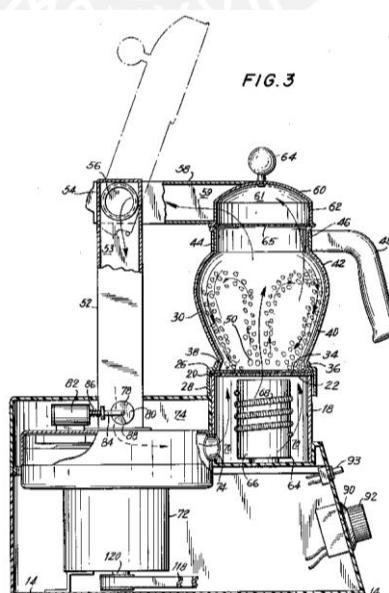


Figura 1- 6. Tostadora de café de la patente US4484064A.

Fuente: Extraído de [23].

1.3.3.3 Tesis de tostadora de aire caliente para granos de café

El título de la patente es el siguiente: "Propuesta de automatización del proceso de tostación de café en lecho fluidizado". El autor desarrolla un trabajo para el tostado de 5 kg de granos café. Las dimensiones de la máquina son de 80 cm x 150 cm x 62 cm. La entrada de granos de café es automática debido a que cuenta con una tolva de carga que transporta los granos a través de una tubería. Además, automatiza la velocidad del motor para el flujo de aire y realiza una SCADA (Figura 1- 7) para la interfaz con el operario enlazando las variables del proceso a un PLC. Sin embargo, no cuenta con un enfriado posterior al tueste de granos ni un sistema de recolección de mermas de producción [24].



Figura 1- 7. Operación SCADA. Fuente: Extraído de [24].

Como se aprecia en esta sección, solo se encontró información oficial y detallada de tostadoras de aire caliente para granos de café. Debido a que en esta tesis se trabajará con granos de quinua, se aprovechará la similitud en la fabricación de la máquina; sin embargo, se tendrá en cuenta la diferencia en términos de propiedades físicas y químicas.

1.3.4 Sensores

El proyecto requiere el sensado de variables físicas como la temperatura de tostado, presión de gas y presencia de llama. Los sensores estudiados son los más utilizados en las tostadoras de café, incluso presentes en las máquinas de los capítulos 1.3.2 y 1.3.3. Se realiza una breve descripción de los componentes, y al final un cuadro comparativo de las características principales.

1.3.4.1 Sensores de temperatura

En la actualidad, se cuenta con diferentes equipos o sensores para poder medir la temperatura de un sistema. En el mercado se pueden encontrar sensores con diferentes rangos de precisión, con diferentes tiempos de espera para entregar resultados, otros que pueden funcionar en tiempo real e incluso sensores para aplicaciones específicas. Estos varían dependiendo del criterio por el cual miden la temperatura (principio de transducción). En la siguiente sección se mencionan los diferentes sensores que existen.

- Termocupla tipo k: Son los sensores más empleados en la industria (Figura 1- 8) con un rango de temperatura entre -200 a 1260 °C. Están compuestos por dos alambres conductores de cromo y una aleación de níquel unidos en un extremo, el cual se expone al sistema sobre el que se desea medir la temperatura. Luego se genera un pequeño voltaje entre los alambres que es cuantificado para determinar la temperatura del sistema [25]. Además, las termocuplas deben tener un sistema de protección en caso de que fallen y se conviertan en un circuito abierto. Son muy sensibles y fiables, pero tienen una respuesta no lineal y tiene un tiempo largo de estabilización por lo que no se recomiendan para aplicaciones de alta precisión.



Figura 1- 8. Termocupla tipo K. Fuente: www.didacticaselectronicas.com

- Termómetro por resistencia (RTD) de platino: Estos sensores emplean el principio de los materiales metálicos de variar su resistencia eléctrica dependiendo de la temperatura del material (Figura 1- 9). Es usado en aplicaciones industriales y es reproducible en el rango de -200 a 850°C [26].

En combinación con instrumentos de medición de temperatura directa, ofrece una resolución de 10 mK. El níquel, el cobre y el platino son los elementos más utilizados para crear los RTD, siendo el de platino el que ofrece mayor estabilidad y reproducibilidad [27]. Principalmente se emplean elementos con un comportamiento lineal entre la variación de resistencia eléctrica y su temperatura. Además, para evitar errores de medición por perturbaciones externas se han desarrollado circuitos eléctricos tipo puente.

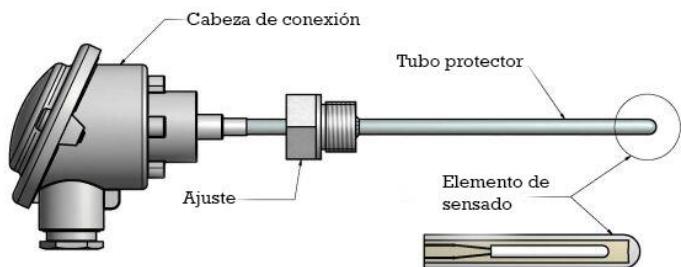


Figura 1- 9. Sensor de temperatura RTD.

Fuente: www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-temperatura-rtd

- Termistor PTC: Para este proyecto se estudia el termistor PTC (Figura 1- 10) debido a que se medirán temperaturas positivas. Similares a los RTD con la diferencia que emplean elementos cerámicos semiconductores en lugar de metales puros en su fabricación [25]. El principio de funcionamiento es el cambio de la resistencia eléctrica debido a una variación en la temperatura. Estos son de tamaño pequeño y muy sensible a los cambios de temperatura. Sin embargo, su rango de trabajo es reducido en los termistores comerciales (-65°C a 150°C). Además, su coeficiente térmico varía con la temperatura lo que resulta en un comportamiento no lineal [28].

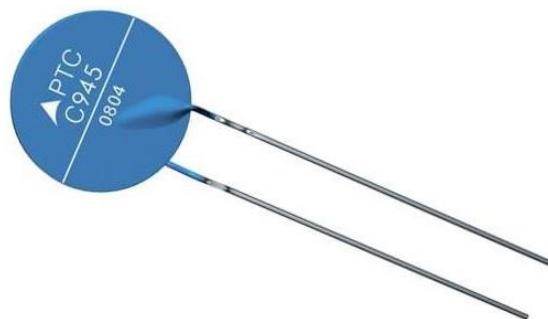


Figura 1- 10. Termistor PTC.

Fuente: www.rethacomponentes.com/termistores-ptc

Con respecto a los sensores de temperatura, se presenta a continuación una comparativa (Tabla 1- 6) entre las 3 tecnologías estudiadas:

Tabla 1- 6. Tabla comparativa entre sensores de temperatura.

Fuente: Elaborado con [25], [28], [26], [29].

Característica	Termocupla tipo K	RTD de platino	Termistor PTC
Sensibilidad	Alta	Alta	Alta
Rango de medición (°C)	-200 a 1260	-200 a 850	-65 a 150
Señal de salida	0 – 0.06 V	100 – 136 Ω	0.1 – 300 k Ω
Medición	Voltaje	Resistencia	Resistencia
Linealidad	Alta	Alta	Baja
Precisión	Media	Alta	Alta
Tamaño	Medio	Medio	Pequeño
Respuesta	Rápida	Media	Rápida
Costo	Medio	Medio	Bajo

1.3.4.2 Sensores de presión

En la actualidad existe una gran variedad de sensores de presión comerciales creados para soportar ambientes hostiles y dar mediciones precisas para presiones altas y bajas [30]. Además, la mayoría de los sensores comerciales emplean el principio de medir la deformación o esfuerzo en un material expuesto a dos fluidos de presiones diferentes, donde uno es una presión base como la atmosférica y la segunda es la presión del fluido que se desea conocer. La diferencia entre estas dos es la presión que comúnmente entregan todos los sensores en el mercado [28].

La presión de los balones de GLP industriales es aproximadamente 20 psi; por lo tanto, los sensores deben ser de baja presión. Además, la presión a medir debe ser manométrica pues es la diferencia respecto a la presión atmosférica. A continuación, se presentan los sensores de presión que pueden ser empleados en el proyecto.

- Sensor de presión piezoresistivo: Este tipo de sensor es el de uso más común. El principio de transducción es transformar una deformación de un elemento sensible (cámara elástica) representado en el cambio de la resistencia

eléctrica del material en un equivalente de presión [28]. Pueden encontrarse sensores para presiones absolutas, diferenciales o manométricas. En la Figura 1- 11 se muestra un sensor piezoresistivo con diafragma de silicio monolítico que proporciona una salida de tensión linealmente proporcional a la presión aplicada. En esta clasificación también se encuentran los presostatos o interruptores de presión, en los cuales la presión medida desplaza un pistón unido a un sistema eléctrico que cierra el circuito al momento de llegar a una presión preestablecida [31].



Figura 1- 11. Sensor piezoresistivo con diagrama de silicio monolítico.

Fuente: www.sapiensman.com/

- **Sensor de presión capacitivo:** Los sensores capacitivos (Figura 1- 12) poseen un diafragma de silicio que se usa para convertir una variación de presión en electricidad. El funcionamiento radica en el desplazamiento del diafragma que resulta de una variación en el valor de la capacitancia con respecto a una placa de referencia. Estos sensores son utilizados especialmente para aplicaciones que requieren bajas presiones [25]. Son sensores altamente precisos y en la actualidad cuentan con electrónica sofisticada que minimizan las capacitancias parásitas [28].



Figura 1- 12. Sensor de presión piezoelectrónico.

Fuente: www.bpress.cn/

A continuación, en Tabla 1- 7, se presenta una tabla comparativa entre los sensores descritos anteriormente.

Tabla 1- 7. Tabla comparativa entre sensores de presión.

Fuente: Elaborado con [25] y [28].

Característica	De presión piezoresistivos	De presión capacitivos
Sensibilidad	Media	Media
Rango de medición (bar)	10 a 200 bar	0 a 100 bar
Señal de salida (mA)	4 a 20	4 a 20
Medición	Resistencia	Capacitancia
Linealidad	Buena	Media
Tamaño	Grande	Pequeño
Respuesta	Lenta	Media
Costo	Bajo	Medio

1.3.4.3 Sensores de presencia de llama

Existe una enorme variedad de sensores de presencia de llama en la industria. Para escoger uno hay que tener en cuenta su precio, su principio de transducción, sensibilidad ante ambientes hostiles y el tipo de combustible que genera la llama.

- Sensor por ionización: También llamados sondas de ionización, emplean el principio de ionización de la combustión de gases (Figura 1- 13). El cual indica que, durante un proceso de combustión, el fuego genera transferencia de iones en las moléculas del aire cercano a la combustión; por lo tanto, el fuego se transforma en un conductor de electricidad [32]. Se emplean electrodos para estar en contacto directo con la llama y crear un circuito eléctrico que permanecerá cerrado mientras exista la llama; además, cuando la llama desaparezca será similar a un cable abierto para el circuito. Estos sensores son baratos y cuenta con un alto rango de temperatura para trabajar, pero requieren mantenimiento y tiene una vida útil pequeña [33].



Figura 1- 13. Sensor de presencia de llama por sondas de ionización.

Fuente: www.recambiosresan.com

- Sensor de llama ópticos: Estos sensores (Figura 1- 14) se caracterizan por no tener un contacto directo con la llama que se desea conocer; se basan en analizar y medir los diferentes tipos de luz que genera la llama. Los tipos de luz que analizan son la luz visible, la luz ultravioleta y la luz infrarroja. La luz visible es medida mediante fotorresistencias, las cuales envían una señal eléctrica al equipo indicando la presencia o ausencia de luz visible [34]. Los detectores de luz ultravioleta (UV) son capaces de registrar la presencia del fuego muy rápido, pero la misma luz tiende a ser absorbida por el ambiente muy rápido; por lo que, estos sensores son muy propensos a confundir la luz natural u otras fuentes con la luz UV de la llama deseada. La luz infrarroja es emitida por llamas, pero también es emitida por superficies sujetas a temperatura elevada como hornos, calderas, bombillas entre otros. Varios estudios han sido desarrollados en base a los dos últimos espectros de luz para generar sensores más eficientes y precisos para detectar la presencia de llamas [35].



Figura 1- 14. Sensor de presencia de llama ópticos.

Fuente: www.es.aliexpress.com

En la Tabla 1- 8 se presenta un cuadro comparativo entre los sensores de llama estudiados.

Tabla 1- 8. Tabla comparativa entre sensores de llama. Fuente: Elaborado con [35]

Característica	Sensor por ionización	Sensor de llama ópticos
Sensibilidad	Ajustable	Alta
Rango de medición (°C)	-25 a 85	0 a 1375
Señal de salida (V)	0 a 5	0 a 24
Auto calentamiento	Medio	Bajo
Linealidad	Baja	Buena
Tamaño	Mediano	Pequeño
Respuesta	Alta	Alta
Costo	Medio	Bajo

1.3.5 Actuadores y mecanismos

De detallarán aquellos componentes electrónicos y/o mecánicos que ayudarán a la automatización del proceso, así como formas de construcción aplicables al desarrollo de la tostadora.

1.3.5.1 Enfriadores de granos

El enfriado de los granos es un proceso crucial para evitar la quemadura de los granos por contacto entre ellos, siendo algunos métodos más eficientes que otros. Las tostadoras actuales incorporan diversas tecnologías de enfriado las cuales se detallarán a continuación.

- Tina de enfriamiento: Este es el sistema más usado en las tostadoras construidas de manera artesanal (Figura 1- 15). El funcionamiento consiste en trasladar los granos inmediatamente luego del tostado a una tina metálica; la cual está agujereada y a temperatura ambiente para facilitar la circulación de aire y la disipación del calor. Es una solución económica y de fácil uso, pero el tiempo de enfriamiento es elevado y los granos estáticos ubicados en el centro demoran más tiempo en reducir su temperatura, lo cual deriva en granos quemados.



Figura 1- 15. Tina de enfriamiento convencional.

Fuente: www.ordemex.com.mx

- Enfriamiento por movimiento de granos y succión de aire: En base al análisis de los equipos comerciales de tostado de granos, se interpreta que algunos de estos equipos emplean un recipiente circular con la base agujereada y con un sistema de paletas para mover los granos tostados (Figura 1- 16). Se interpreta que existe un mecanismo para generar un flujo de aire a través de la base para acelerar el enfriamiento natural de los granos tostados y el sistema de paletas mantiene los granos en movimiento para promover el enfriamiento equitativo de todos los granos. Mediante la observación se puede afirmar que este equipo reduce el tiempo de enfriamiento de los granos y evita que los granos se quemen; pero el costo de los componentes para realizar dicha acción debe ser elevado



Figura 1- 16. Enfriador por movimiento de granos y succión de aire.

Fuente: www.spanish.alibaba.com

1.3.5.2 Calentadores de flujo de aire

Los calentadores incrementan la temperatura de aire ingresado para realizar el tostado de los granos. Se debe lograr una temperatura máxima de 600 °C y debe ser controlado eléctricamente. Se estudian los calentadores más utilizados para tostadoras de granos de café.

- Calentador de cartucho: Este elemento tiene una carcasa tubular metálica con terminales eléctricos en un extremo (Figura 1- 17). El diámetro del elemento es de 30 a 60 mm y la longitud de 200 a 500 mm. Un elemento puede ser para una o tres fases, y la clasificación es de 1000 a 8000 W [36]. Es posible incrementar la potencia suministrada de este tipo de calentadores si se combinan de 3 a 4 calentadores juntos. Un ejemplo es el calentador usado en la patente US5394623A estudiada en la sección 1.3.3.1. Sin embargo, en la actualidad, la venta de este calentador de aire no es usual en el mercado local.



Figura 1- 17. Calentador de aire de cartucho.

Fuente: www.watlow.com/products/heaters/cartridge-insertion-heaters

- Calentador tubular con aletas: Este calentador se fabrica a partir de un tubo recto, que dependiendo de la aplicación puede ser doblado en distintas configuraciones. La configuración más usual es la forma de U (Figura 1- 18). La energía eléctrica está conectada a los extremos del tubo. La resistencia del cable interno hace que todo el elemento tubular caliente, que a su vez calienta continuamente todo el tubo. Son muy populares debido a que su costo es bajo y posee una construcción duradera que no requiere un mantenimiento frecuente [37]. Un ejemplo de uso se observa en la tesis “tostadora de aire caliente para granos de café” mostrada en la sección 1.3.3.3.



Figura 1- 18. Calentador en U con aletas. Fuente: <https://es.aliexpress.com>

1.3.5.3 Sopladores de aire

La tostación de los granos de quinua en un lecho fluidizo requiere el ingreso de aire caliente a altas velocidades para generar la levitación de los granos dentro de la cámara de tostado. A continuación, se presentan las tecnologías de los sopladores de aire más utilizados.

- Soplador de vórtice: Conocidos también como sopladores regenerativos (Figura 1- 19), crean presión al desplazar las moléculas de aire. El impulsor gira para atraer y luego capturar el aire entre cada paleta. A medida que el impulsor continúa girando, empuja el aire hacia adelante, donde vuelve a la parte inferior de las paletas. Son aplicables en situaciones donde se necesita mover grandes volúmenes de aire a baja presión. Además, son fáciles de mantener porque son auto lubricados y no contienen aceite. Los ventiladores sin aceite son importantes si no se desea que se libere aceite en el aire [38].



Figura 1- 19. Soplador de vórtice E-VAC.
Fuente: www.1evac.com/products/regenerative-blowers

- Soplador centrífugo: En este soplador el flujo de aire pasa a través de los impulsores giratorios, lo cual aumenta tanto la velocidad como el volumen de aire (Figura 1- 20). Los sopladores centrífugos también cambian la dirección del flujo de aire, girando 90 grados y acelerando antes de salir del soplador. Puede manejar alta presión y altas velocidades de flujo y es ideal para crear alta presión a partir de pequeños volúmenes de aire [39] a costa del tamaño del componente .Son más usuales de encontrar en el mercado nacional y en diferentes marcas.



Figura 1- 20. Soplador centrífugo Kyung Jin Blower. Fuente: <http://kyungjin.koreasme.com>

1.3.5.4 Variador de flujo de aire

Para controlar la velocidad de flujo de aire que ingresa a través de los sopladores mostrados anteriormente, se requiere un componente que pueda variar la corriente que reciben los motores presentes en los sopladores. Se presentan 2 tecnologías: variadores de frecuencia y regulares de intensidad (dimmer). El primer variador es una solución robusta y común en la industria, mientras que la segunda plantea el diseño de un circuito según la potencia del soplador.

- Variador de frecuencia: Implementados con frecuencia para la automatización industrial, los variadores de frecuencia hacen uso de la electrónica de potencia y el desarrollo de microprocesadores (Figura 1- 21). Son capaces de manipular la velocidad, sentido de giro y el torque de motores de corriente alterna, tanto monofásicos como trifásicos [40]. Cuentan con múltiples formas de transmisión de datos: manual, comunicación serial o con electrónica. Sus dimensiones son considerables debido a que cuentan con múltiples funciones de mando y control.



Figura 1- 21. Variador de frecuencia. Fuente: www.tecnicojose.com

- Dimmer (regulador de intensidad): El dimmer (Figura 1- 22) es un circuito diseñado con componentes electrónicos activos (triac) y pasivos (resistencias y condensadores). El triac controla el paso de la corriente alterna a la carga comutando entre los estados de conducción (pasa corriente) y corte (no pasa corriente) durante los semi-ciclos negativos y positivos de la señal de alimentación (110/220 VAC), que es la señal de corriente alterna entregada por la toma eléctrica [41]. La corriente máxima que soporta el circuito está relacionada con la potencia del triac elegido, además debe contar con un dissipador de calor.

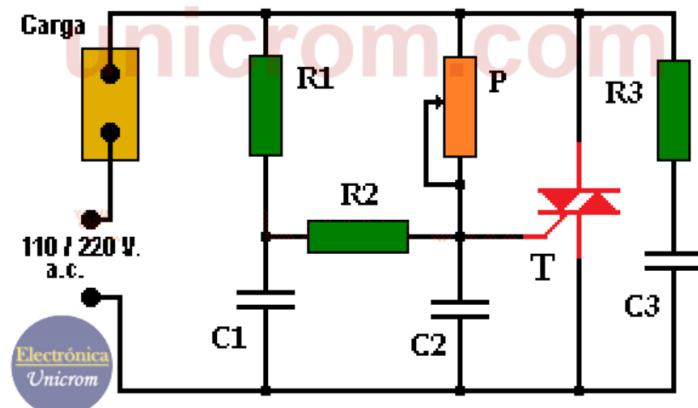


Figura 1- 22. Regulador de intensidad. Fuente: [41]

1.3.5.5 Válvulas

Una válvula de control regula el flujo que pasa a través de él. Se clasifican por el fluido a controlar (líquido, gas, vapor, etc.) considerando densidad y temperatura. Existen 2 tipos de electroválvulas según su funcionamiento: electroválvula solenoide que usa la lógica todo o nada (ON/OFF) y la electroválvula proporcional, que regula el caudal de gas que pasa a través de la válvula [42].

- Válvula proporcional: Este tipo de válvulas controla el caudal según la corriente que recibe de manera lineal. Cuando se activa la bobina interna, la armadura es atraída hacia el interior del tubo debido a la fuerza electromagnética. Cuando la corriente varía, la fuerza de atracción también varía de manera proporcional. El caudal se controla a través del movimiento generado por el movimiento de la armadura [43]. En la Figura 1- 23 se presenta una válvula proporcional que soporta una temperatura de hasta 60 °C y una presión entre 0 a 4 bar (58.02 psi).

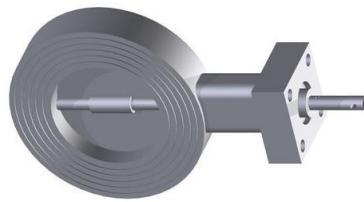


Figura 1- 23. Válvula proporcional – GRK Fuente: www.directindustry.es

- Válvula solenoide: Diseñadas para ofrecer un control ON/OFF para la apertura o cierre de caudal de gas. Estas válvulas contienen una bobina eléctrica que crea el campo magnético para su funcionamiento. Generalmente son válvulas de aislamiento con una vía de entrada y otra de salida, llamada válvula 2/2 pudiendo ser normalmente abierto o cerrada. Los parámetros eléctricos a considerarse son: protección física, aislamiento, carga nominal y alimentación [42]. Pueden alimentarse con corriente directa o alterna según el tipo de válvula y también varían en tiempo de apertura o cierre (usualmente en ms). En la Figura 1- 24 se muestra una válvula 2//2 para gas NC (normalmente cerrado) que opera a voltajes de 12 y 12 V a una presión máxima de 7 bar (101.53 psi).



Figura 1- 24. Válvula solenoide PDV series. Fuente: www.directindustry.es

1.3.6 Controladores

Para lograr automatizar los procesos se necesitan estrategias de control que permita dirigir los procesos para obtener las salidas deseadas del sistema. Un sistema de control puede ser de lazo abierto o cerrado, siendo este último el que, frente a perturbaciones en el sistema, asegura la salida deseada. En un lazo cerrado, las variables que el controlador recibe es información proporcionada por los sensores y las señales que emite son percibidas por el actuador presente en la planta. A continuación, se presentan algunos de los diversos hardware existentes para el control de un sistema.

- PLC: El más común en el ámbito industrial debido a su robustez y su diseño está enfocado a muchas áreas como la manufactura, el control de maquinarias y procesos. Utiliza una memoria programable para el control combinatorio, el control secuencial y funciones aritméticas. Cuenta con múltiples entradas y salidas digitales o análogas [44]. Un PLC estándar (Figura 1- 25) está compuesto de un CPU, una memoria interna (RAM), una memoria de programa (EPROM) e interfaces de entradas y salidas conectadas a un mismo bus.



Figura 1- 25. PLC SIEMENS. Fuente: www.w5.siemens.com

- Controlador de lazo: Los controladores como el presentado en la Figura 1- 26 son de lazo cerrado puesto que realiza el control PID (proporcional, integrativo y derivativo). Actualmente la mayoría de los sistemas requiere este tipo de control, debido a que asegura el valor de la salida a partir de un valor de referencia. El control proporcional incrementa el valor de la salida aproximándolo al valor referencial, el control integral reduce el error a lo largo del tiempo y el control derivativo predice la salida a través del cambio en el valor del error. Este controlador no requiere de un software adicional para su programación, cuenta con una interfaz en la cual se ingresan las variables a controlar y el valor de cada tipo de control (PID) [45].



Figura 1- 26. Controlador PID industrial. Fuente: Extraído de [45].

- Sistema embebido: En la actualidad se cuenta con una gama variada de este tipo de sistemas que permiten realizar las acciones antes descritas, su propósito es realizar tareas específicas a través de la implementación de un código de programación. Entre los más conocidos se tiene a MyRio, arduino, Raspberry PI, entre otros. La ventaja de los sistemas embebidos es que sus dimensiones son reducidas y cuentan con múltiples pines de entrada y salidas. Dependiendo de la tecnología y el costo, algunos tienen sensores, cámara y buzzer incluidos.

Myrio (Figura 1- 27) es una plataforma de control robusta diseñada por National Instruments (NI) para estudiantes, el cual cuenta con pines analógicos y digitales. Tiene diversas aplicaciones tales como: enseñanza de temas mecatrónicos para aprender aspectos de diseño de sistemas, posibilidad de enseñar teoría de control gracias a una alianza con Quanser, construcción y experimentación con temas robóticas desde los simples a los más complejos. Cuenta con un FPGA Xilinx Zynq y un procesador ARM Cortex-a9. Su programación puede ser implementada por un lenguaje gráfico (lenguaje G) o por lenguaje C++ siendo el primero el más utilizado por ser intuitivo [46].



Figura 1- 27. MyRio.

Fuente: www.ni.com/es-cr/support/model.myrio-1900.html

1.4 METODOLOGÍA APLICADA

Para el presente proyecto se utilizarán las metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206) y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221). A continuación, se explica cómo se aplica esta metodología.

- Definición de la problemática.
- Planteamiento de hipótesis general, objetivo general, objetivos específicos y propuesta de solución.
- Revisar el estado del arte asociado a la máquina teniendo en cuenta trabajos y estudios anteriores.
- Establecer las exigencias que requiere el diseño para determinar las funciones de la máquina que contiene señales, uso de energía, componentes mecánicos, eléctricos y de control.
- Realizar una matriz morfológica de cada función con distintos principios de solución.
- Proponer conceptos de solución en base a sus combinaciones y hallar el concepto de solución óptimo en base a un análisis técnico-económico.
- Realizar un diseño preliminar con el dimensionamiento del sistema analizando geometría, esquemas y planos.
- Elaborar estrategias de control y cálculos preliminares mecánicos y eléctricos
- Seleccionar de forma aproximada y preliminar los materiales mecánicos, eléctricos (sensores y actuadores) y de control que cumplan con las exigencias del proyecto y los resultados de los cálculos y estrategias de control.
- Realizar el proyecto definitivo determinando los materiales definitivos del sistema.
- Realizar cálculos finales que se requieran para la implementación.
- Elaborar los planos mecánicos, eléctricos y/o electrónicos.
- Simular el sistema para corroborar resultados teóricos y simulados.
- Determinar los costos de los componentes, materiales y costos de fabricación.
- Elaboración del documento final y un póster.

En este capítulo se ha investigado sobre la importancia de tostado de los granos de quinua a nivel mundial. También se han estudiado características del grano en cuestión, máquinas que existen actualmente en el mercado, así como tecnología de sensores y actuadores aplicables al diseño que se propone. Esta información servirá para la realización del siguiente capítulo que determina conceptos preliminares como solución para alcanzar el diseño final.

CAPITULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se determinan las exigencias que debe cumplir el diseño en función de parámetros establecidos, el dimensionamiento, energía, etc. Con esta información se relacionan las variables de entrada y de salida, en un primer momento, sin detallar los procesos intermedios. Luego se describe de manera general las funciones que contiene el sistema. Por cada función se presentan como máximo 3 portadores de solución para luego trazar una matriz de 3 conceptos de solución. Finalmente, se elige el concepto solución óptimo a partir de un análisis técnico-económico.

2.1 LISTA DE EXIGENCIAS

El proyecto requiere de ciertas exigencias (Ver Anexo 1) demandadas por el cliente y las necesidades de la máquina misma, con el fin de cumplir con el objetivo general, un tostado de mejor calidad por el método de transferencia de calor por aire caliente. Algunos de estos requerimientos son exigencias obligatorias que la máquina debe cumplir y otros, son deseos que se plantea para elaborar satisfactoriamente el diseño de la máquina.

- **Función principal:** El trabajo implica el diseño de una tostadora para 10 kg de granos de quinua mediante aire caliente y un enfriamiento posterior al tueste. Este sistema busca automatizar el proceso mediante el control de la temperatura, la velocidad de flujo de aire y el tiempo de tostado.
- **Geometría:** El diseño total que comprende tanto la cámara de tostado, el enfriador y el panel de operación no deben exceder los 2 m x 2 m x 1.5 m.
- **Material:** En las industrias alimentarias, los materiales de fabricación deben soportar temperaturas medias y altas (150 - 250 °C), humedad alta debido al vapor generado en el proceso y ser anticorrosivos para no dañar la composición del alimento según normas estándares internacionales (ANSI/NSF 51).
- **Materia:** La materia de ingreso son granos de quinua. Se ingresan manualmente con un peso máximo de 100 kgf. También se utilizará aire para elevar la temperatura de los granos en el tostado. Se obtendrán granos de quinua

tostados y enfriados, vapor residual producto del incremento de temperatura del aire, así como mermas de producción.

- **Cinemática:** El movimiento de los granos dentro de la cámara de tostado será a través de un proceso de lecho fluidizado, donde los granos quedarán suspendidos por una corriente de aire caliente. Los granos de quinua tostados girarán respecto a un eje en el enfriador a una velocidad de 30 rpm.
- **Fuerzas:** La tostadora estará diseñada para soportar una carga (granos) máxima de 10 kgf. Las fuerzas aplicadas sobre los materiales deben asegurar su resistencia, rigidez o estabilidad.
- **Energía:**

Se ingresan las siguientes fuentes de energía al sistema:

- ✓ Energía mecánica: El ingreso de los 100 kg de granos de quinua (como máximo) produce energía potencial y cinética.
- ✓ Energía eléctrica: Se necesita energizar los sensores y actuadores del sistema mediante alimentación monofásica de 220 VAC / 60 Hz.

Se expulsan las siguientes formas de energía al entorno:

- ✓ Energía mecánica: Los granos enfriados y tostados poseen energía potencial.
- ✓ Energía térmica: Se obtendrá vapor de aire residual y el generado por los granos tostados.
- ✓ Energía sonora: Se produce sonido debido al movimiento de los granos en el proceso de lecho fluidizado y al soplador de aire.
- ✓ Energía lumínica: Producido por los indicadores del proceso presentes en el panel de control.
- **Software:** El controlador debe garantizar el correcto funcionamiento de las distintas etapas del proceso. Los softwares utilizados para el diseño serán de código abierto.
- **Comunicación:** La comunicación entre la máquina y el operario debe ser intuitiva a fin de evitar errores en el uso. Al contar con botones e indicadores el usuario estará informado del proceso, así como las distintas variables que se

controlarán. La comunicación entre componentes no debe alterar el funcionamiento del sistema, deben estar protegidos y aislados.

- **Señales:**

Se ingresarán las siguientes señales al inicio del proceso:

- ✓ Señal de activación: Esta señal energiza la máquina y la distribuye a los distintos sensores y actuadores.
- ✓ Señal de tipo de proceso: Señal que indica si el proceso se realizará de forma manual o automática.
- ✓ Señal de inicio de tostado: Señal que indica el inicio de un nuevo proceso de tostado de granos, luego de haberlos ingresado.
- ✓ Señal de temperatura: Señal que indica la temperatura de tostado deseada.
- ✓ Señal de tiempo de tostado: Señal que indica el tiempo que debe durar el proceso de tostado desde su ingreso hasta su descarga.

Se obtendrán las siguientes señales en el término del proceso:

- ✓ Señal de estado de proceso: Esta señal será visual en el panel de control, la cual indicará si la máquina está en proceso o ya ha finalizado de tostar y enfriar los granos.
- ✓ Señal de alarma: Esta señal será sonora y visual y se activará en caso ocurra algún imprevisto en el funcionamiento de la máquina. También será activada por seguridad del operario y de la zona de trabajo.
- ✓ Señal de temperatura: Señal de indicación que muestra la temperatura de tostado actual.
- ✓ Señal de velocidad: Señales de indicación que muestran la velocidad del flujo de aire caliente actual.
- ✓ Señal de seguimiento de tiempo: Durante todo el proceso se hará un seguimiento del tiempo que emplea el equipo en terminar el proceso. Además, este valor se mostrará en el panel de control durante todo el proceso.
- ✓ Señal de fin de tostado: Cuando el proceso haya concluido en su totalidad, una señal visual le indicará al operario que se debe continuar con la descarga de los granos.

- **Uso:** El funcionamiento de la máquina debe ser correcto en ambientes industriales del sector alimentario con la debida ventilación debido a que en el proceso se genera vapor de agua en el aire (humedad). El correcto desarrollo de todos los procesos no debe ser afectado por las condiciones ambientales, ésta debe estar en el rango de temperaturas de 15°C a 30 °C y a una humedad no mayor al 90%.
- **Control:** Esta es una exigencia debido a que, si se debe automatizar la máquina, ésta debe contar con un control sobre la temperatura de tostado, la velocidad del flujo de aire ingresado, el encendido/apagado de la máquina y el enfriamiento de granos. La temperatura de tostado se debe controlar en un margen del ± 2 °C durante todo el proceso. El tiempo de proceso de tostado debe durar menos de 10 minutos. El tiempo y temperatura de tostado son parámetros fijos e internos del sistema.
- **Seguridad:** Los procesos transferencia de calor deben estar aislado del operario. Es una exigencia resguardar la integridad del usuario según normas de seguridad en el ambiente de trabajo (Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y norma OHSAS 18001).
- **Montaje:** El diseño debe permitir el desmontaje de componentes que requieran mantenimiento. El diseño contempla la entrada fácil de energía eléctrica y aire, facilitando la instalación.
- **Mantenimiento:** Se plantea un mantenimiento anual para obtener un grano de buena calidad y que el sistema funcione correctamente.
- **Fabricación:** La fabricación de componentes mecánicos y de control se deben realizar en localidades que faciliten el transporte de la máquina y cuente con las herramientas necesarias para llevar a cabo la implementación y las pruebas.

2.2 ESTRUCTURA DE FUNCIONES

Para definir las funciones con las que contará el sistema, primero se realiza un análisis del sistema definiendo las entradas y salidas de acuerdo a la lista de exigencias planteada anteriormente sin tener en cuenta los procesos internos (black box). Luego, se muestran las funciones del sistema, proponiendo los procesos con los que contará en la estructura de funciones.

2.2.1 Black box

En la Figura 2- 1 se muestran las entradas y salidas del sistema que se implementará a la tostadora. De acuerdo a la lista de exigencias planteada, se ingresan granos y aire como materia de entrada al sistema para que, al final del proceso, se obtengan granos tostados y enfriados, mermas de producción y vapor residual producto de la combustión. Todo sistema debe recibir energía para poder operar; por tanto, se entregará energía mecánica y eléctrica al sistema para que los elementos internos cumplan sus funciones. La energía mecánica son la energía cinética y potencial en el ingreso de los granos y energía eléctrica, para la activación los sensores y actuadores que automatizan el proceso. Se obtendrá energía mecánica, térmica, sonora y lumínica una vez finalizado el proceso de tostado. La energía mecánica como energía potencial luego del enfriamiento de los granos; energía térmica, como vapor residual producto del incremento de temperatura; energía sonora, como alarmas en el proceso, el sonido que genera el soplador y los granos al moverse; y energía lumínica, como indicadores en el panel de control. También se contará con señales que controlan el proceso, algunas serán internas y otras visuales. Los detalles de las señales están indicados en el Anexo 1 y detalladas en la sección 2.2.2.

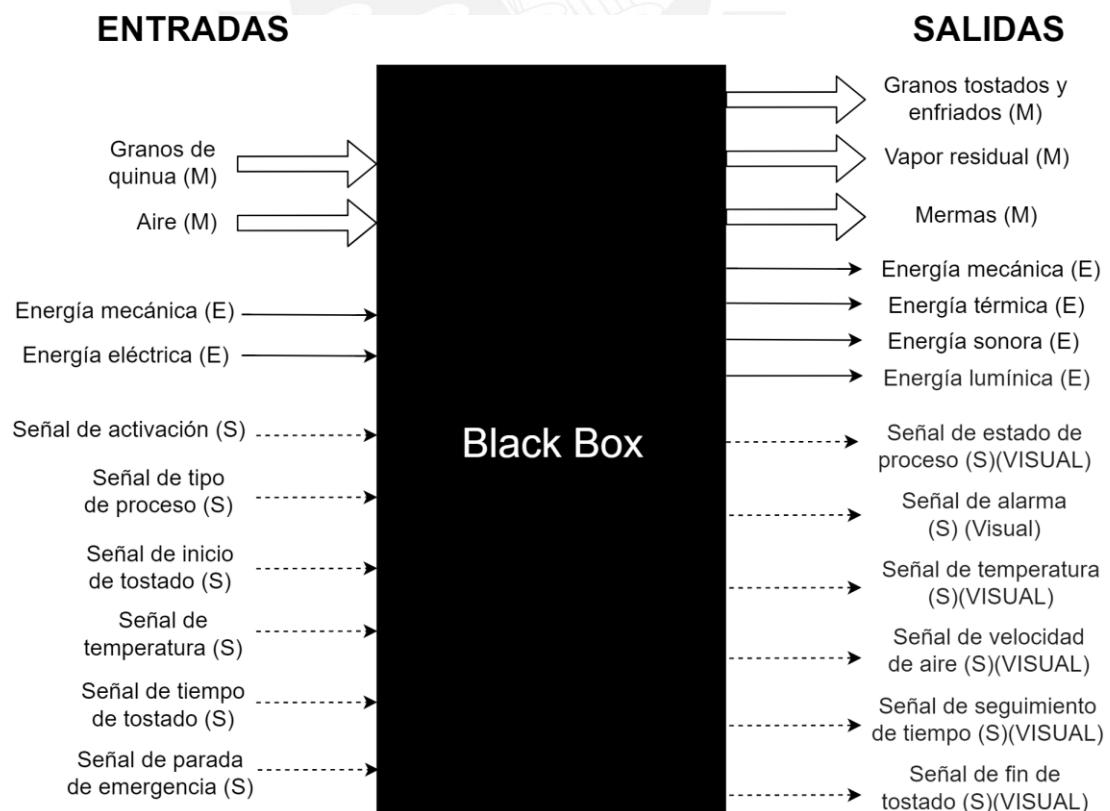


Figura 2- 1. Black box del sistema. Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Lista de funciones

A continuación, se enlistan y explican las funciones que contiene el sistema. Además, se indican las entradas y salidas en forma de energía, materia y señales de acuerdo al black box. Finalmente, se presenta la estructura de funciones (Figura 2-2) que integra los conceptos mostrados en esta sección.

- **Ingresar granos a cámara de tostado:** Mecanismo o manera en la que los granos ingresan a la cámara de tostado.
- **Calentar aire:** Principio de transferencia de calor para calentar el aire.
- **Generar turbulencia de aire:** Disposición mecánica para generar la turbulencia de aire que ingresará a la cámara de tostado.
- **Tostar granos en lecho fluidizado:** Configuración de lecho fluidizado aplicables a la cámara de tostado.
- **Transportar granos tostados a enfriador:** Mecanismo que realiza el movimiento desde la cámara de tostado hacia el sistema de enfriamiento.
- **Enfriar granos:** Mecanismo que mueve o almacena los granos luego de su descarga para evitar su quemadura.
- **Descargar granos enfriados:** Mecanismo que realiza la descarga desde el enfriador hacia un depósito que almacena los granos enfriados.
- **Ingresar de aire:** Actuador que controla el flujo de aire caliente.
- **Accionar ingreso de granos:** Actuador que controla el paso de granos desde el depósito de abastecimiento hacia la cámara de tostado.
- **Accionar ingreso de aire caliente:** Actuador que controla el paso de aire desde su ingreso hacia la cámara de tostado.
- **Calentador de aire:** Actuador que enciende el calentador para incrementar la temperatura del aire.
- **Accionar transporte de granos a enfriador:** Actuador que permite el funcionamiento del mecanismo que transporta los granos desde la cámara de tostado hacia el sistema de enfriamiento.
- **Accionar sistema de enfriamiento:** Actuador que inicia este proceso luego de la descarga de los granos y finaliza en un tiempo determinado.
- **Accionar descarga de granos:** Actuador que permite el funcionamiento del mecanismo que transporta los granos desde el sistema de enfriamiento hacia el depósito de granos tostados.

- **Energizar:** Dispositivo para energizar componentes eléctricos tales como sensores y actuadores.
- **Visualizar estado de proceso, alarmas e indicadores:** Dispositivos ubicados en el panel de control o en ubicaciones fácilmente visibles para el operario. Alertan sobre fallos, falta de materia o finalización del tostado. Indican variables y estados de proceso al usuario.
- **Acondicionar energía para control:** Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requiere el controlador.
- **Acondicionar energía para actuadores:** Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requieren los actuadores.
- **Acondicionar energía para sensores:** Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requieren los sensores.
- **Sensar cantidad de granos ingresados (kg):** Sensor que detecta el peso en kg de los granos dentro de la cámara de tostado para garantizar la presencia de 10 kg de quinua.
- **Sensar parada de emergencia:** Sensor que detecta si el operario desea detener el sistema en caso de malfuncionamiento de la máquina o si el operario así lo desea.
- **Sensar presencia de granos en la carga:** Sensor que detecta el nivel máximo de los granos en el depósito de abastecimiento.
- **Sensar presencia de granos en la descarga:** Sensor que detecta el nivel máximo de los granos en el depósito de descarga.
- **Sensar temperatura:** Sensor usado para mantener el interior de la cámara de tostado a una temperatura adecuada.
- **Controlar variables:** Dispositivo de control usado para gobernar el sistema de enfriamiento y las variables de proceso tales como temperatura, velocidad de flujo de aire y tiempo de tostado.

Con la lista de funciones y las entradas/salidas presentes en el black box se realiza la estructura global de funciones (Figura 2-2) del sistema dividido en 5 grupos: controlar variables, actuadores, energía, sensores y sistema físico. En el Anexo 2 se presenta la estructura de funciones en hoja A3 para mayor detalle.

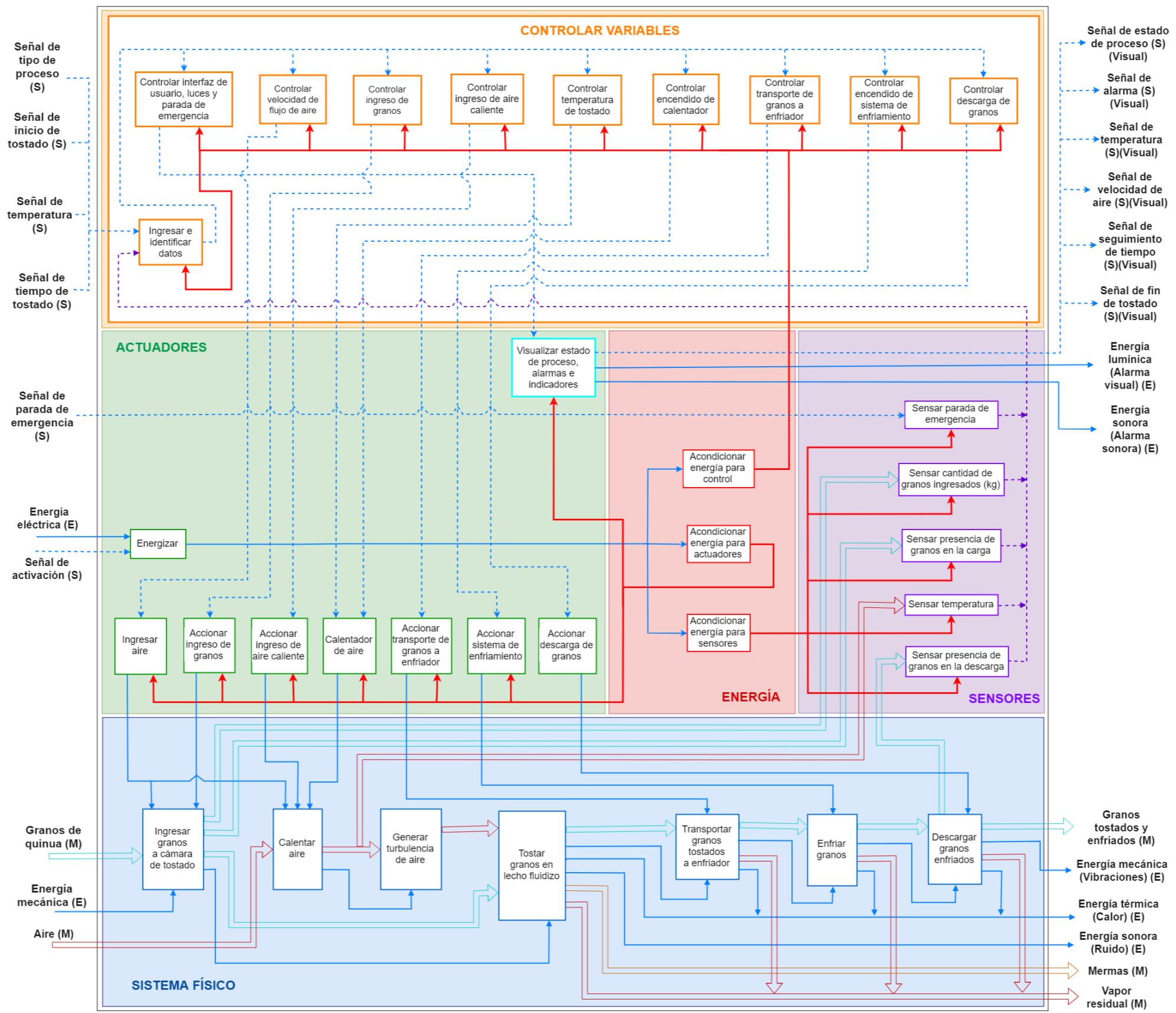


Figura 2- 2. Estructura de funciones del sistema. Fuente: Elaboración propia.

2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA

En cada función presenta en la estructura de funciones se plantean como máximo 3 portadores de solución basadas en tecnologías estudiadas en el Estado del arte de la sección 1.3. A partir de un seguimiento por flechas en la matriz se proponen 3 soluciones. La matriz morfológica se presenta en el Anexo 2 y en la siguiente tabla se detalla el significado de cada tipo de flecha.

Tabla 2- 1. Leyenda de indicadores para matriz morfológica. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Flecha			

2.4 CONCEPTO DE SOLUCIÓN

Para cada solución trazada en la matriz morfológica se realiza un bosquejo detallando dimensiones aproximadas y el portador de solución seleccionado. A continuación, se explica cada concepto de solución y una imagen general del bosquejo (los detalles de bosquejos se pueden apreciar en el Anexo 3).

- Concepto 1

El primer concepto (Figura 2- 3) plantea un ingreso de granos por succión, agregando un componente eléctrico adicional (extractor de aire). El diseño contempla el ingreso de aire mediante un compresor, un ventilador centrífugo o directamente el aire ambiental. Los granos inicialmente son depositados en el almacén de granos y son dirigidos por vacío hacia la cámara de tostado. El sensor capacitivo del almacén indica la presencia de más de 10 kg de quinua y el sensor capacitivo del tostador indica que ya se ingresaron 10 kg para la capacidad que está diseñada la máquina. El proceso de tostado tiene dos entradas de aire, una superior y otra inferior moviendo los granos en ambos lados. La temperatura de tostado es detectada por el termistor PTC y el calentador es de tipo cartucho por donde pasa el flujo de aire. Luego del tostado de los granos de quinua, el mecanismo de transporte hacia el enfriador es accionado por un servomotor.

El enfriador es una tina de enfriamiento que actúa como el depósito final, donde el operario debe mover manualmente los granos para evitar que se quemen. Esto

significa que en la configuración de este concepto solo se puede realizar 1 ciclo de tostado cada vez que el operario presione el botón de START en el panel. En el panel de operación se ubican el HMI, el botón de encendido ON/OFF y el de parada de emergencia. Para mayor detalle ver Figuras 3-1 y 3-2 en el Anexo 3.

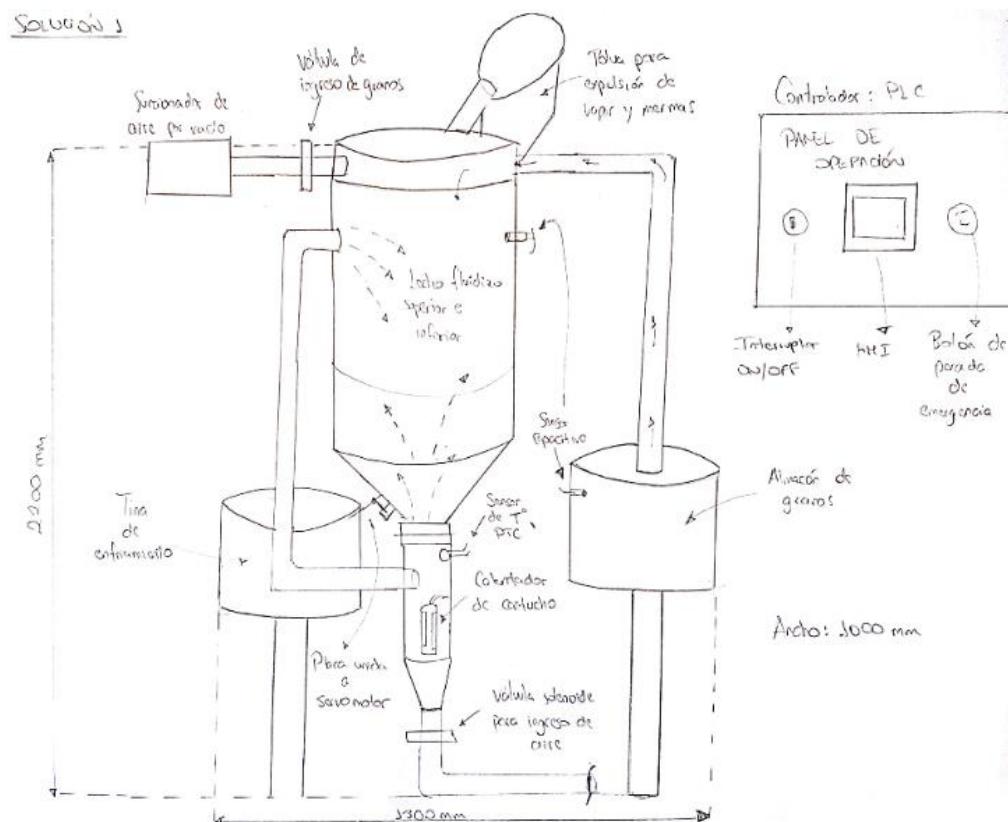


Figura 2- 3. Concepto de solución 1. Fuente: Elaboración propia.

- Concepto 2

El concepto 2 (Figura 2- 4) plantea un ingreso de granos manual por la parte superior del tostador, por lo tanto, solo se cuenta con una válvula para el ingreso de aire. La dimensión geométrica de este concepto tiene el ancho reducido aproximadamente en su mitad en comparación con el concepto 1. La válvula es de tecnología analógica, pudiendo variar el flujo de aire ingresado. De la misma manera que el concepto 2, el calentamiento de aire es por resistencia eléctrica y el sensado de la temperatura es mediante un RTD de platino. Para determinar que la cantidad ingresada haya sido 10 kg de quinua, se posiciona un sensor capacitivo en la parte de superior de la cámara de tostado. Luego del tiempo designado al tostado, el mecanismo para transportar los granos hacia el sistema de enfriamiento se acciona, un pistón eléctrico abre una compuerta permitiendo el movimiento de los granos sobre una superficie inclinada.

El enfriador es un sistema de paletas moviéndose por acción de un motor DC. Para el fin del proceso de tostado, la descarga de los granos es de manera manual, el operario debe manipular un mecanismo de descarga tipo puerta y ubicar un depósito a la salida del enfriador. El controlador provee una entrada para un botón de parada de emergencia por si existirá un fallo en el proceso. Finalmente, el transporte de esta máquina se realiza por partes, ya que el tostador y el enfriador son independientes. Para mayor detalle ver desde Figura 3-3 hasta Figura 3-5 en el Anexo 3.

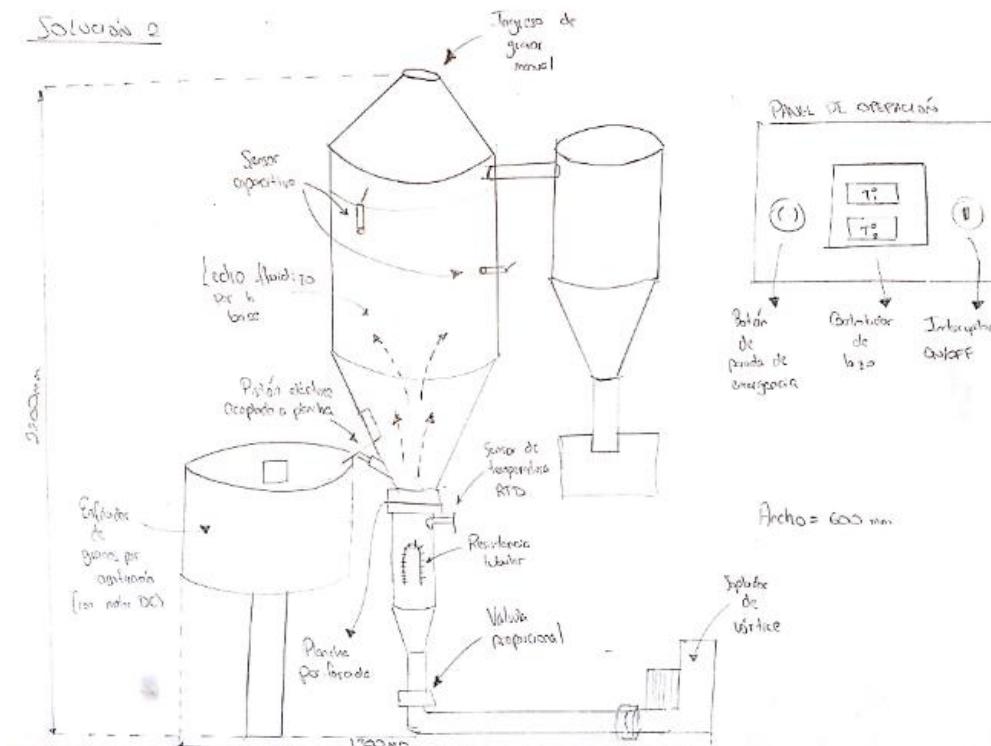


Figura 2- 4. Concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia.

- Concepto 3

El último concepto de solución (Figura 2- 5) plantea 4 grandes subsistemas, la tostadora de aire caliente (1), el depósito de abastecimiento (3), el sistema de enfriamiento (4) y el depósito de granos tostados (8). La máquina cuenta con una cubierta que cubre el soplador (6) y la disposición del controlador (16), dejando solo una abertura circular para el ingreso de granos a través del depósito de abastecimiento. La cubierta principal es una plancha rectangular (10) soportado por perfiles cuadrados (5). Inicialmente, se debe conectar la máquina a la red eléctrica mediante el conector eléctrico (14). El funcionamiento empieza con el accionamiento del interruptor ON/OFF (13) y se deben depositar granos en el depósito de abastecimiento. Para dicho fin se cuenta con un sensor óptico (18) que detecta el

nivel de volumen de granos para determinar si hay disponibilidad de 10 kg para ser tostados. A través de la interfaz (11) se inicia el proceso de tostado con el ingreso de los granos. El controlador acciona la válvula para dicho fin (9) y cierra la válvula de ingreso de aire (19). Lo anterior permite que los granos sean expulsados hacia la parte superior de la cámara de tostado. Cuando el sensor ultrasonido (17) detecta que el nivel de granos dentro del tostador es el adecuado, se cierra la válvula de ingreso de granos (9) y se acciona la válvula de ingreso de aire (19). El flujo de aire pasa por el calentador (20) y por la plancha perforada (22). La plancha perforada evita que los granos se quemen por contacto directa con el calentador. La temperatura de tostado se regula con la termocupla tipo k (21). Para una mejor visualización de los granos tostados, una parte de la cámara de tostado es vidrio transparente (23). Luego de un tiempo determinado, los granos son transportados hacia el sistema de enfriamiento (2) por otro tiempo adicional. Finalmente, los granos son transportados hacia el depósito de granos tostados (8). En la base de la máquina se ubican planchas de soporte (7) para un juego de 4 garruchas (15) que permite fácil transporte del equipo. Si en algún momento del proceso, el operario detecta un mal funcionamiento, puede presionar el botón de parada de emergencia (12) presente en el panel de operación. Para mayor detalle ver Figura 3-6 hasta Figura 3-11 en el Anexo 3.

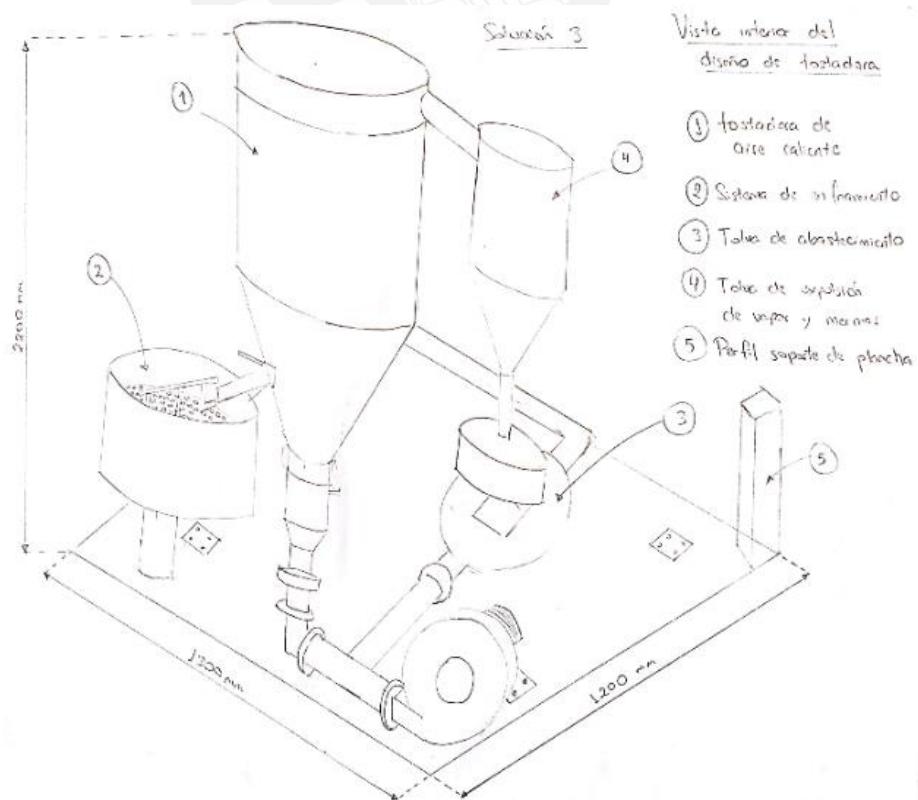


Figura 2- 5. Concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

2.5 EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA

Se realiza una evaluación de carácter técnico y económico a cada uno de los 3 conceptos de solución planteados. A cada solución se le asigna un puntaje entre 1 y 3, además, cada puntaje es multiplicado por un peso asignado según el criterio de evaluación, el cual es determinado por el diseñador. En la Tabla 2- 2 se detallan los puntajes asignados y se muestran los promedios de cada solución con respecto al puntaje ideal.

Tabla 2- 2. Evavaluación técnica-económica. Fuente: Elaboración propia.

TÉCNICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Uso de energía	1	1	1	2	2	3	3	4	4
2	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Rapidez	4	3	12	3	12	3	12	4	16
4	Confiabilidad	3	2	6	3	9	3	9	4	12
5	Facilidad de manejo	4	1	4	2	8	2	8	4	16
6	Transportabilidad	2	2	4	2	4	3	6	4	8
7	Complejidad	2	3	6	3	6	2	4	4	8
8	Lista de exigencias	4	2	8	2	8	3	12	4	16
9	Uso de fuerza	2	1	2	2	4	3	6	4	8
Suma			18	52	22	62	25	69	36	100
Promedio			0.50	0.52	0.61	0.62	0.69	0.69	0.90	0.89
ECONÓMICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Número de piezas	2	2	4	3	6	2	4	4	8
2	Fácil adquisición	3	2	6	2	6	3	9	4	12
3	Fácil montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12
4	Fácil mantenimiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
5	Productividad	4	2	8	2	8	3	12	4	16
6	Costo de la tecnología	3	3	9	1	3	2	6	4	12
Suma			14	42	12	35	15	46	24	72
Promedio			0.58	0.58	0.50	0.49	0.63	0.64	1.00	1.00

Los promedios son plasmados en un gráfico de dispersión presentado en la Figura 2- 6. Se observa que la solución 3 está ligeramente por encima de la línea de equivalencia de ponderación entre los aspectos técnicos y económicos. Además, al ubicarse en la parte derecha superior, se evidencia la obtención de un mayor promedio en la evaluación económica.

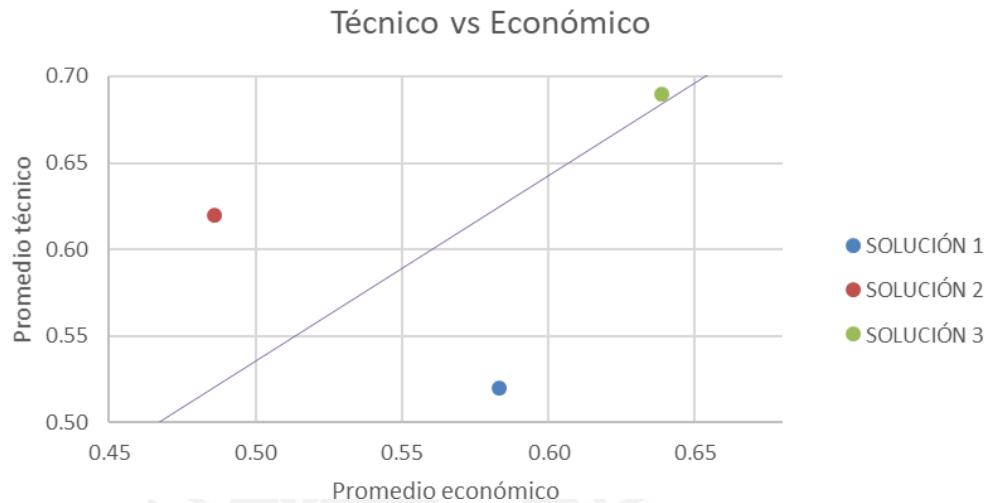


Figura 2- 6. Gráfico técnico-económico entre las soluciones. Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo 2 se desarrolló el diseño preliminar a partir de la búsqueda de soluciones en base a exigencias definidas previamente. La solución óptima obtenida será utilizada como base en el capítulo siguiente para realizar mejoras en el diseño a fin de obtener el diseño final.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

Este capítulo contiene información sobre el diseño mecatrónico del sistema. En primer lugar, se muestra el diseño integrado, así como un diagrama de procesos. A continuación, se divide el diseño por subsistemas (subsistemas de carga, de tostado, de soporte, de enfriado, soplador de aire, panel de control y de descarga) y se seleccionan los materiales de fabricación. Se realiza el diagrama de flujo general y subprogramas, luego se definen las estrategias de control de acuerdo al tipo de variable para seleccionar el controlador. Con el protocolo de comunicación adecuado se selecciona la interfaz de usuario y se diseña la vista general. Por cada subsistema se realizan cálculos mecánicos y/o electrónicos de las principales piezas para la selección de cada componente. Finalmente se presentan las listas de planos y esquemáticos.

3.1 DISEÑO INTEGRADO

El diseño de la tostadora para granos de quinua mediante aire caliente con medidas generales 1.3 m x 1.5 m x 2 m contempla una estructura resistente a la corrosión y altas temperaturas. Además, al contar con garruchas en la parte inferior y fácil acceso al interior de la máquina, el usuario cuenta con fácil acceso al interior para un fácil mantenimiento. La alimentación eléctrica es 220 VAC monofásica y se requiere un lugar ventilado con una buena circulación de aire. En el panel de operación ubicado a una altura conveniente para personas entre 1.52 a 1.65 m, (promedio de estatura de mujer y varón respectivamente, extraído de [6]) se ubican los interruptores de inicio y parada de emergencia, así como una pantalla táctil para el ingreso de datos.

En el ciclo manual, el operario ingresa como máximo 100 kg de granos de quinua de forma manual a un recipiente de carga (tolva de abastecimiento) y en el panel de operación se elige entre realizar un ciclo manual o automático. El ingreso de granos desde el recipiente de carga hacia la cámara de tostado es automático mediante transporte neumático debido a un soplador de aire, el mismo que genera el flujo de aire para ser calentado y así permitir el tostado de granos. El accionamiento de ingreso o tostado de granos se decide con la abertura/cierre de 2 válvulas solenoides ubicados estratégicamente para cada propósito. El enfriador cumple la función de evitar el sobre calentamiento debido al contacto entre los mismos granos; por ello, se

busca alcanzar una temperatura menor a 80° C, manteniéndolos en constante movimiento por medio de unas paletas giratorias acoplados al eje de un motor de ¼ HP a una velocidad de 30 rpm.

En el ciclo automático se realiza procesos de tostado cada 10 kg hasta completar el número de ciclos ingresados. Las válvulas, pistones, motores y calentador; son accionados por el controlador previa lectura de los sensores de temperatura y velocidad de flujo de aire. Los tiempos de los procesos de tostado y enfriado son determinados por el controlador. El ciclo manual realiza un único proceso donde el operario puede modificar manualmente las variables del proceso como temperatura de tostado, tiempo de tostado y tiempo de enfriado. Al finalizar el proceso de enfriado, los granos son trasportados a un recipiente para la descarga de granos (tolva de descarga) con una capacidad máxima de 100 kg, cuando se alcance el tope máximo, se le indica al usuario que debe descargar manualmente los granos.

En la Figura 3- 1 se presenta una vista principal del sistema en la que se muestra el subsistema de carga (subcapítulo 3.4), donde el operario ingresa manualmente los granos de quinua hasta una capacidad de 100 kg; el subsistema de tostado (subcapítulo 3.5), en el cual se produce el tostado de 10 kg de granos de quinua por ciclo, la extracción de aire caliente y las mermas de producción; y el subsistema de soporte (subcapítulo 3.6), el cual consta de una estructura de perfiles cuadrados y planchas laterales.

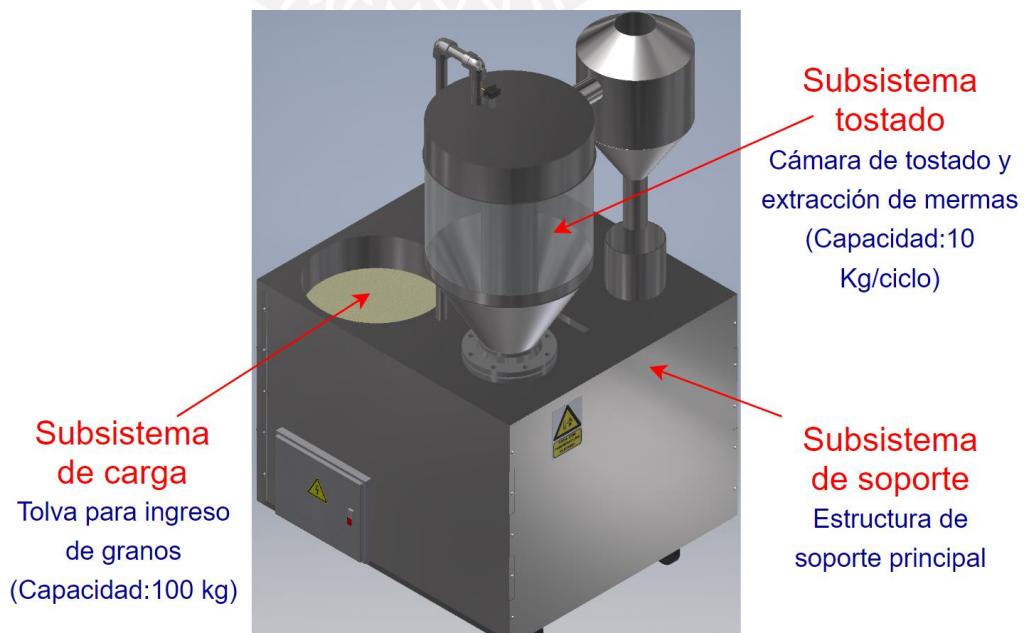


Figura 3- 1. Vista isométrica 1. Fuente: Elaboración propia.

En la vista isométrica 2 de la Figura 3- 2 se presenta el subsistema soplador de aire (subcapítulo 3.7) donde se acondiciona neumáticamente el ingreso de aire o el ingreso de granos de quinua al subsistema de tostado; el subsistema de enfriado (subcapítulo 3.8), compuesto por paletas que giran para disminuir la temperatura de los granos; el subsistema de panel de control (subcapítulo 3.9), compuesto por una plancha de soporte, la interfaz y botones de operación; el subsistema de descarga (subcapítulo 3.10), donde los granos se almacenan después de ser enfriados, tiene una capacidad máxima de almacenaje de 100 kg y la descarga es manual.

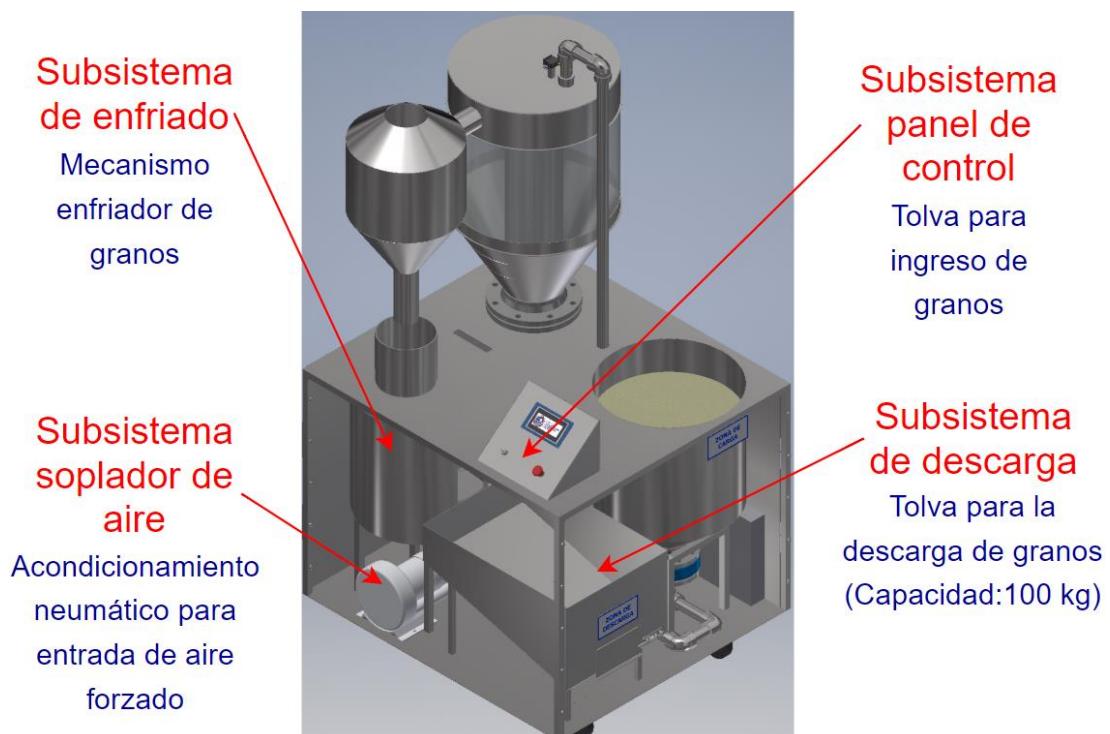


Figura 3- 2. Vista isométrica 2.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3- 3 se muestra un diagrama de operaciones indicando los procesos más importantes que el operario realiza en el sistema. Se inicia con la energización eléctrica de la máquina y el ingreso de los granos de quinua en la tolva de carga. Además, en algunas operaciones también es posible variar su duración, dependiendo del modo de tostado que se seleccione.

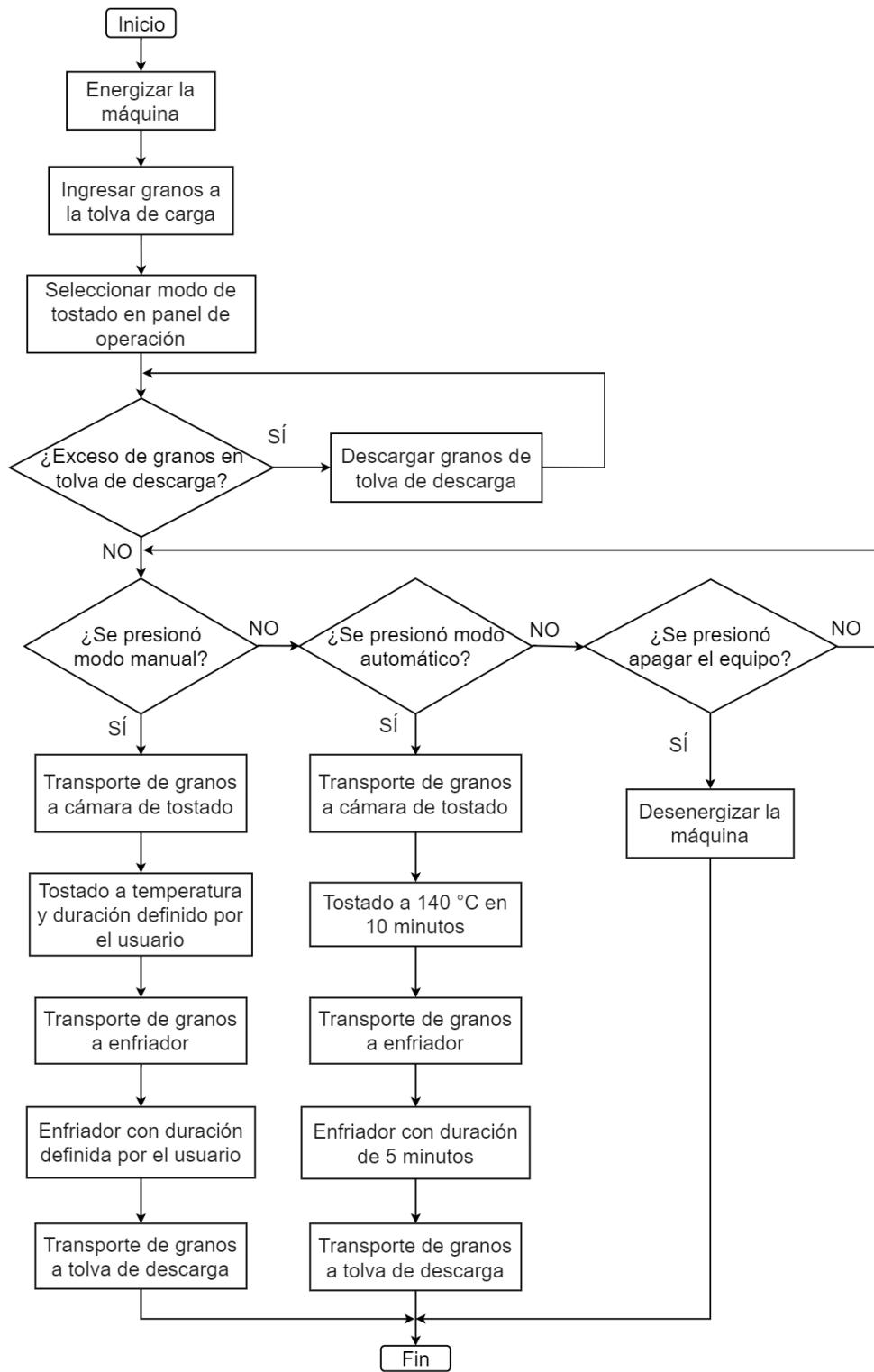


Figura 3- 3. Diagrama de operaciones. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Diagrama de bloques del sistema

En el diagrama de bloques de la Figura 3- 4 se muestran las distintas entradas de energía como bloques asociados a los drivers, sensores, actuadores, interfaz y controlador del sistema. Adicionalmente se muestra una leyenda indicando el significado de cada tipo de línea presente.

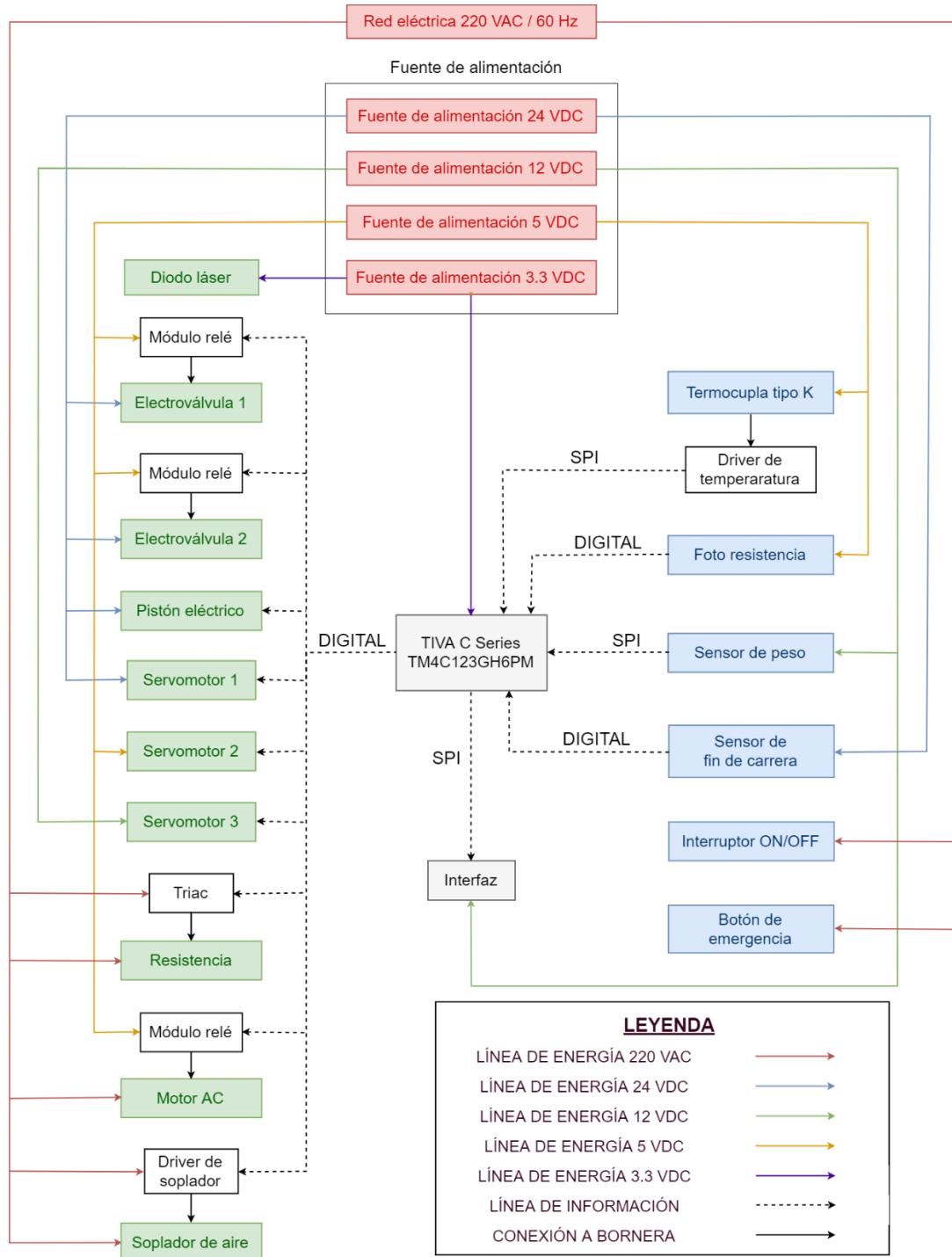


Figura 3- 4. Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Selección de materiales de fabricación

Debido a que el sistema trabaja con granos de quinua, los materiales de fabricación utilizados no deben alterar el contenido alimenticio de los granos. Según la norma ISO 22000, se debe asegurar la protección del consumidor y reforzar la seguridad alimentaria. Es por esta razón que se utilizará acero inoxidable para planchas, tubos,

perfiles y elementos de sujeción. A continuación, se presenta una tabla con la comparación entre los aceros inoxidables más utilizados. Se selecciona el acero inoxidable 304 debido a que su precio es menor, además de su fácil adquisición en el mercado nacional; por otro lado, la resistencia a la corrosión es un valor aceptado de acuerdo a la norma OHSAS 18001.

Tabla 3- 1. Tabla comparativa entre aceros inoxidables. Fuente: Elaboración propia.

		Tipos de material de fabricación	
		Acero inoxidable 304	Acero inoxidable 316
CARACTERÍSTICAS	Resistencia a la corrosión	Alto	Muy alto
	Existencia en el mercado nacional	Alto	Medio
	Precio	Bajo	Medio

Para la visualización de los granos en la cámara de tostado, se utiliza material transparente de manera que no afecte el grado alimenticio de los granos. En la Tabla 3- 2 se presenta una comparativa entre vidrio y polímero, debido a que en la cámara de tostado el aire fluye a temperaturas elevadas, se utiliza vidrio de borosilicato más conocido como vidrio Pyrex o Duran.

Tabla 3- 2. Tabla comparativa entre materiales transparentes. Fuente: Elaboración propia.

		Tipos de vidrio transparente	
		PMMA transparente	Vidrio de borosilicato
CARACTERÍSTICAS	Resistencia a la corrosión	Alto	Muy alto
	Existencia en el mercado nacional	Alto	Medio
	Precio	Bajo	Alto
	Temperatura máxima (°C)	90	500

3.2 DISEÑO DE CONTROL

En este subcapítulo se realizará la selección de controlador a partir de la selección de la estrategia de control para las distintas variables del sistema como velocidad de flujo de aire caliente y temperatura. A diferencia del diagrama de operaciones, donde cada acción es realizada por el operario, en los diagramas de flujo se elabora un algoritmo que el controlador debe ejecutar para realizar el proceso que se requiere.

3.2.1 Diagrama de flujo

En la Figura 3- 5 se presenta el diagrama de flujo del programa principal. En primer lugar, se inicializan los actuadores y variables auxiliares; luego, en la interfaz de usuario, se muestran botones y configuraciones para que el operario pueda decidir entre un proceso automático, manual o apagar el sistema. En el modo manual el proceso se realiza solo una vez, en el modo automático se realizan 'n' iteraciones de proceso de acuerdo a un valor ingresado por el operario (menor o igual a 10). Finalmente, el operario puede optar por apagar el sistema.

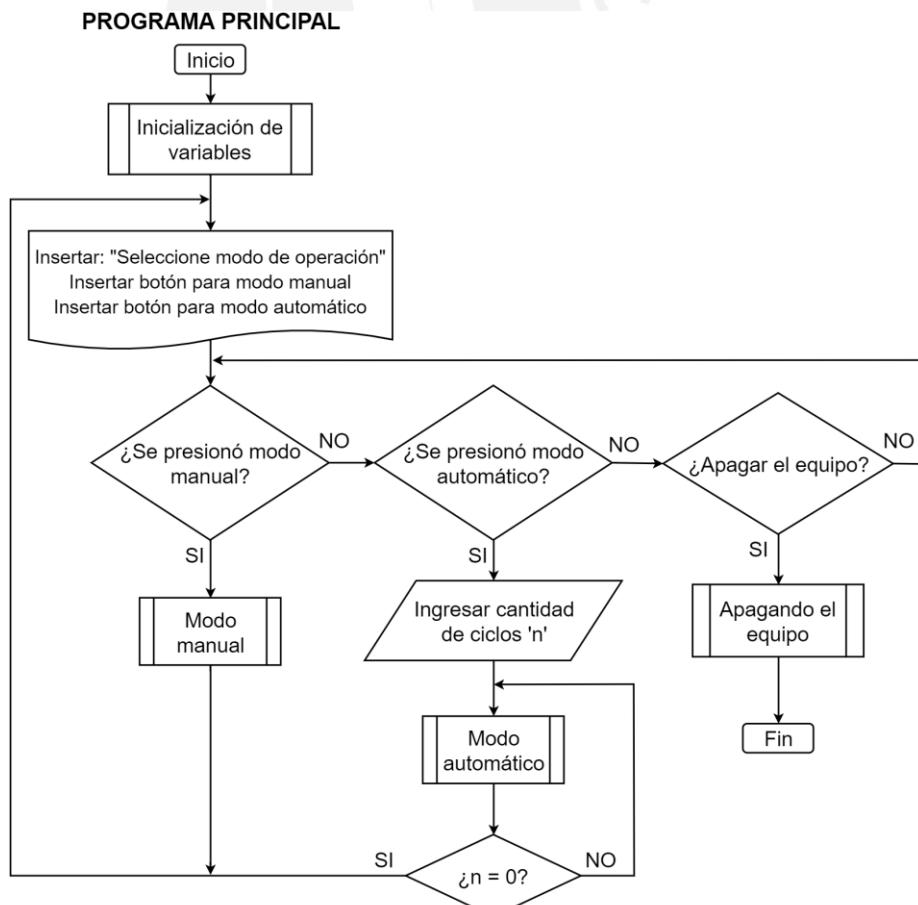


Figura 3- 5. Diagrama de flujo de programa principal. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Tostar manual” (Figura 3- 6) realiza el proceso una sola vez, para esto se debe habilitar la válvula que permite el paso flujo de aire desde el soplador hasta la cámara de tostado. A continuación, en la interfaz de usuario, se muestran elementos de configuración para que el operario pueda modificar la velocidad del flujo de aire, la temperatura y el tiempo de tostado. La modificación de los parámetros del soplador de aire y la resistencia las define el operario de acuerdo a su experiencia. Los subprocesos “Control de velocidad de flujo de aire caliente” y “Control de temperatura” son algoritmos de control definidos en los subcapítulos 3.2.2 y 3.2.4, respectivamente.

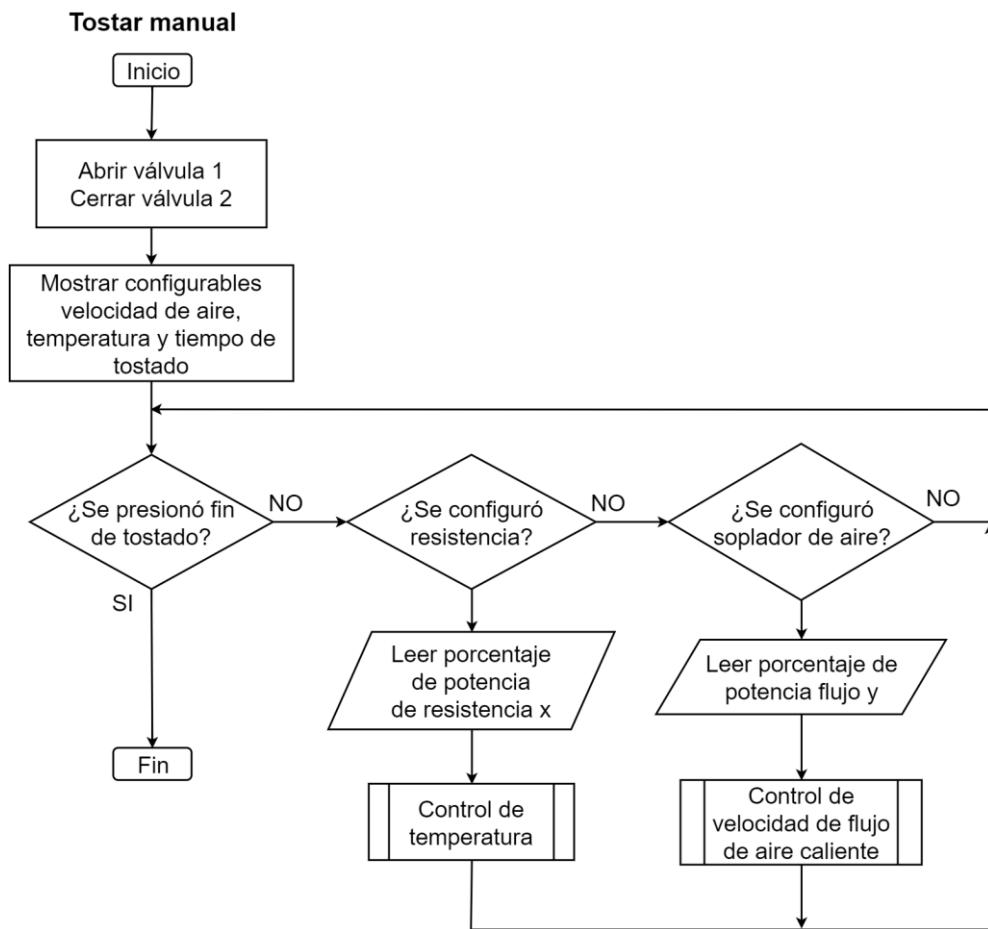


Figura 3- 6. Subprograma “Tostar manual”. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Tostar automático” mostrado en la Figura 3- 7 es un procedimiento que se repite ‘n’ veces de acuerdo al número ingreso por el operario. Se inicia con la activación de la válvula que permite el paso de flujo de aire desde el soplador hasta la cámara de tostado, a continuación, se establece el control de temperatura (subcapítulo 3.2.4) donde el valor de entrada o SET POINT es una temperatura de 140 °C. El control se repite por un tiempo de 10 minutos para concluir con el traslado de los granos hacia el enfriador.

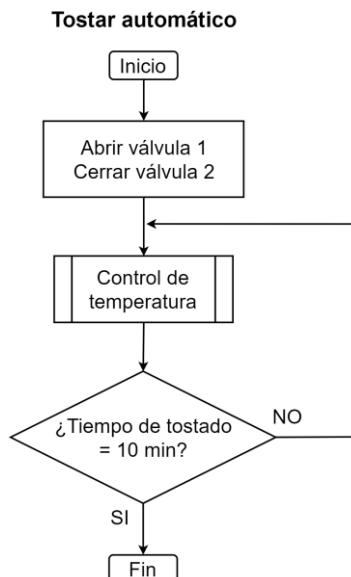


Figura 3- 7. Subprograma “Tostar automático”. Fuente: Elaboración propia.

El resto de subprogramas están documentados en la sección de Anexos 5.

3.2.2 Control de velocidad de flujo de aire caliente

El control de la velocidad del flujo de aire caliente es de tipo lazo abierto debido a que se cuenta con un controlador incorporado al soplador de aire caliente (variador de frecuencia) para modificar el valor del flujo generado, pero no un encoder que sense la velocidad del soplador. Por lo anterior explicado, el control es ON/OFF y se configura la velocidad deseada a través del controlador, siendo el porcentaje de energía suministrada la variable de entrada. En la Figura 3- 8 se muestra el lazo de control para la velocidad de flujo de aire caliente, emitida por el soplador de aire.



Figura 3- 8. Diagrama de control de soplador de aire. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Control de velocidad de enfriador

El control de velocidad del motor que girará las paletas del enfriador será de lazo abierto y de lógica ON/OFF debido a que no se cuenta con un encoder para el motorreductor. El tipo de control se justifica en que no es necesario controlar la velocidad, sino mantenerlo constante por un tiempo determinado por la programación (5 minutos). Por tanto, la variable de entrada para este control sería el porcentaje de

energía suministrada siendo totalmente apagado (sin velocidad) o totalmente encendido (velocidad máxima). En la Figura 3- 9 se muestra el lazo de control abierto del motorreductor en el enfriador.

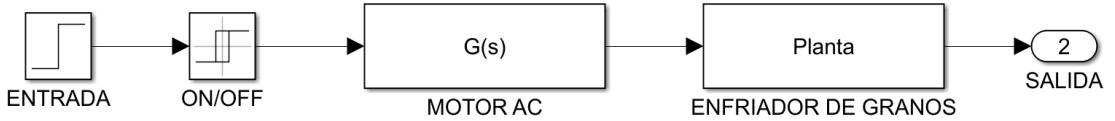


Figura 3- 9. Diagrama de control de motor en enfriador.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Control de temperatura

Para controlar la temperatura de tostado se utiliza una termocupla en la cámara de tostado, el control será de lazo cerrado y el algoritmo PID clásico. El control PID es utilizado en la mayoría de aplicaciones que requieren un control de temperatura [47] y es posible sintonizar los parámetros (ganancia proporcional, integral y derivativa) a través de pruebas experimentales. Entre los actuadores no indicados están presentes, el soplador de aire y la resistencia eléctrica que actúan sobre la planta (cámara de tostado). El diagrama que describe control se ilustra en la Figura 3- 10.

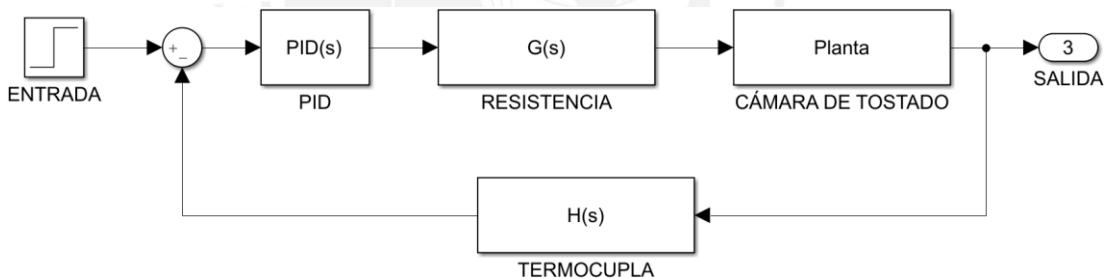


Figura 3- 10. Diagrama de control de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Selección de controlador

De acuerdo a la comparación de características generales realizada en la Tabla 3-3, se elige el microcontrolador Tiva C Series TM4C123GH6PM de TEXAS INSTRUMETS (más información en el Anexo 6.1) debido a que cuenta con los pines necesarios (18 pines entre digitales, analógicos y spi) para las variables que se controlan, además de que es posible realizar control digital, de lógica y PID. El precio es bajo respecto al RASPBERRY PI 3 y la alimentación es de corriente directa. El componente seleccionado se encuentra relleno de color azul.

Tabla 3- 3. Tabla comparativa entre microcontroladores. Fuente: Elaboración propia.

MICROCONTROLADORES				
		RASPBERRY PI 3 – MODELO B		ARDUINO MEGA 2560 R3
CARACTERÍSTICAS	Fabricante	TEXAS INSTRUMENTS	RASPBERRY PI	ARDUINO
	Alimentación (VDC)	3.3 VDC	5 VDC / 2.5 A	5 VDC
	CPU	80 Mhz 32 bit – ARM Cortex – M4	1.2 Ghz Quad Cortex A53	16 Mhz ATMega16U2
	RAM	256 Kb	1 Gb	256 Kb
	GPIO (pines)	40	40	70
	Protocolos de comunicación	UART, SPI y I2C	UART, SPI y I2C	UART, SPI y I2C
	Tamaño	80x65x20 mm	85x56x17 mm	100x70x20 mm
	Precio (S.)	80	200	70

De acuerdo al diagrama de bloques mostrado en Figura 3- 4, el controlador tendrá 18 salidas a través de sus puertos. Y según la hoja técnica mostrada en el Anexo 6.1, la corriente máxima de cada puerto es de 25 mA. Por tanto, se calcula la corriente total que consumiría este componente.

$$I_{Controlador} = 18 * 25 = 450 \text{ mA}.$$

Con la alimentación de 3.3 V y la corriente calculada previamente se calcula la potencia de este componente.

$$P_{Controlador} = 1.485 \text{ W}.$$

3.3 DISEÑO DE INTERFAZ DE USUARIO

En el presente subcapítulo se seleccionará la interfaz de usuario (Pantalla TFT) con la que el operario interactuará con la máquina. La tecnología debe ser compatible con los protocolos de comunicación del controlador seleccionado previamente en el acápite 3.2.5. Finalmente, se presenta una visualización general de la interfaz.

3.3.1 Selección de interfaz

En la Tabla 3- 4 se muestra la selección de la interfaz de usuario compatible con los protocolos de comunicación UART, SPI e I2C o con los que cuenta el controlador seleccionado previamente para la comunicación controlador – interfaz. Se selecciona la interfaz MIKROE-2289 (más información en el Anexo 6.2) debido a que tiene un tamaño adecuado (7") para la máquina diseñada y está diseñada exclusivamente para el controlador TM4C123GH6PM. El componente seleccionado se encuentra relleno de color azul.

Tabla 3- 4. Tabla comparativa entre visualizadores. Fuente: Elaboración propia.

MICROCONTROLADORES				
CARACTERÍSTICAS	MIKROE-2289	RASPBERRY PI 7" TOUCHSCREEN	TFT LCD Shield	
	Fabricante	MIKROELEKTRONIKA	Raspberry PI	UNITUTORES
	Alimentación (VDC)	3.3 - 5	5	3.3 - 5
	Corriente (A)	-	2A	300 mA
	Resolución	800x480 RGB	800x480 RGB	800x480 RGB
	Interfaz	CAN, I2C, SPI y UART	Driver para Raspberry PI	Driver para Arduino
	Parlantes	Incluye	No incluye	No incluye
	Tamaño	7"	7"	7"
	Precio (S/.)	554	350	250

3.3.2 Visualización de interfaz

En la Figura 3- 11 se muestra la visualización de la pantalla principal de la interfaz de usuario, siguiendo la lógica del diagrama de procesos mostrado en la Figura 3- 3 el operario puede elegir entre realizar un tostado manual o automático, o en su defecto, apagar la máquina. La misma lógica se aprecia en el programa principal del diagrama de flujo mostrado en la Figura 3- 5.



Figura 3- 11. Ventana principal de interfaz de usuario. Fuente: Elaboración propia.

3.4 SUBSISTEMA DE CARGA

El subsistema de carga (Figura 3- 12) está diseñado para una capacidad máxima de 100 kg de granos de quinua. Está compuesto por una tolva de abastecimiento formado por un cilindro y un cono en la parte inferior, una válvula de mariposa controlado por un servomotor (servomotor 1) para regular el flujo de granos de quinua que será ingresado, una estructura de soporte conformado por 4 perfiles cuadrados para soportar el peso y además que cuenta con un sensor de peso a fin de obtener el peso ingreso y el peso transportado neumáticamente hacia el subsistema de tostado. Los granos de quinua son ingresados manualmente.



Figura 3- 12. Subsistema de carga. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Cálculo de resistencia para perfil de soporte

En la Figura 3- 13 se muestra uno de los 4 perfiles que soportan la tolva de carga (abastecimiento). Cada perfil es un tubo de sección cuadrada de de 1" (25.4 mm) de lado, 1.5 mm de espesor y 580 mm de longitud. En primer lugar, se verificará que no falle por estabilidad (pandeo) considerando que es de tipo articulado – articulado tal

como se observa en el esquema de la Figura 3-14. Para ello primero se calculan los datos de Área (A) e Inercia (I).



Figura 3- 13. Perfil de soporte en subsistema de carga. Fuente: Elaboración propia.

$$A = 25.4^2 - (25.4 - 1.5 * 2)^2 = 143.4 \text{ mm}^2.$$

$$I = \frac{25.4^4 - (25.4 - 1.5 * 2)^4}{12} = 13705.7 \text{ mm}^4.$$

Se halla el grado de esbeltez (λ) de la columna mediante la siguiente expresión. Siendo L_p la longitud efectiva un valor de la longitud máxima (580 mm) por ser de tipo articulada – articulada.

$$\lambda = \frac{L_p}{\sqrt{I/A}} = 59.3.$$

Aplicando el método europeo, como el valor del grado de esbeltez es menor a 60, se concluye que no falla por estabilidad. Luego, se analiza si la columna falla por resistencia mecánica (fluencia). Para la carga se asumirá que el peso total se distribuye uniformemente en las 4 columnas. El peso de la tolva de carga es de 14.635 kg, el peso de las bridas es 9.09 kg, el cono pesa 3.529 kg, la válvula mariposa pesa 10.3 kg y los granos de quinua tendrán un peso de 100 kg. En total cada perfil soporta un peso de 343.6 N y el peso propio es 6.52 N, el DCL con las cargas correspondientes se muestran en la Figura 3- 14.

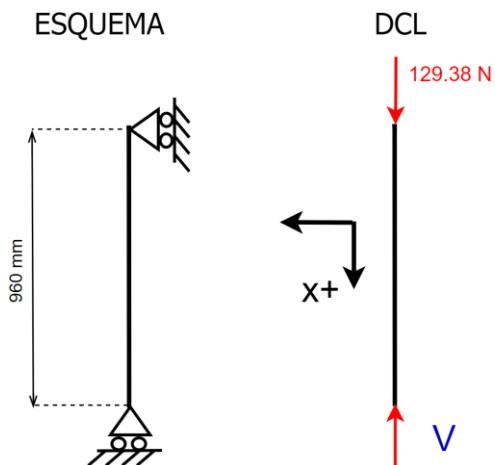


Figura 3- 14. Esquema y DCL de perfil de soporte. Fuente: Elaboración propia.

Con la 1ra y 2da condición de equilibrio respecto al centro de la viga, se calcula la reacción V para obtener el diagrama de fuerza normal (Figura 3- 15).

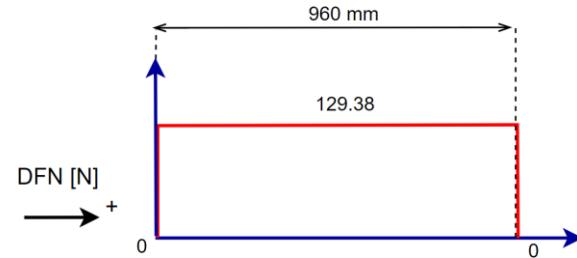


Figura 3- 15. Diagrama de fuerzas para perfil de soporte.

Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el esfuerzo equivalente según Von Mises con el esfuerzo máximo 2 N/mm^2 y el esfuerzo mínimo 0. Y se comparará con el esfuerzo de fluencia del acero (205 N/mm^2). Como se aprecia en los cálculos, el esfuerzo equivalente tiene un valor bajo debido a que solo es a consecuencia de una fuerza axial de compresión. Esto hace evidentemente no falle por resistencia, tal como se muestra a continuación:

$$\sigma_f = 205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq \sigma_{eq} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

3.4.2 Selección de válvula mariposa (Accionar ingreso de granos)

Se plantea calcular el torque necesario que deberá mover el eje del servomotor (servomotor 1) aún ante presencia del peso de los granos al interior de la tolva de abastecimiento. Para el cálculo se asumirá el caso crítico, donde la tolva de abastecimiento es ocupada en su totalidad por los granos de quinua (100 kg). La Figura 3- 16 ilustra las dimensiones de la tolva cilíndrica y volumen que ocupa la columna de granos.

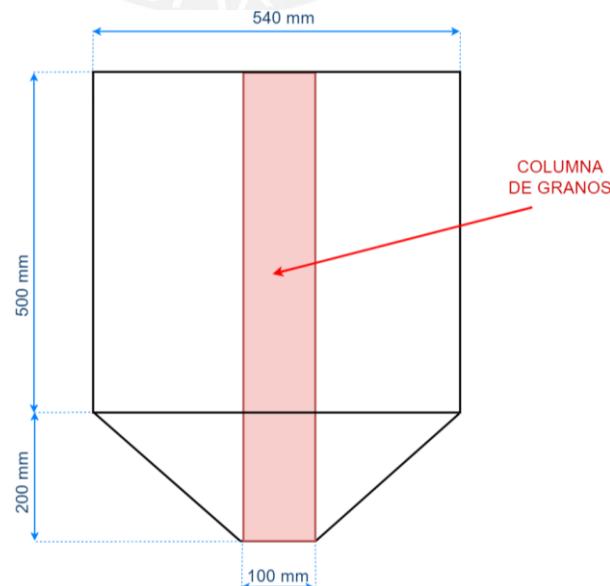


Figura 3- 16. Tolva de abastecimiento con granos de quinua. Fuente: Elaboración propia.

El volumen de los granos se aproxima a un cilindro de diámetro 100 mm y altura 700 mm, donde se obtiene el siguiente volumen:

$$V_{\text{quinua}} = 5494.78 \text{ cm}^3.$$

Con la fórmula que relaciona volumen y peso hallado en el Anexo 4 se calcula el peso de la columna de granos que soporta una plancha al inferior de la tolva.

$$W_{\text{quinua/abastecimiento}} = 4.63 \text{ kgf}.$$

Para el transporte de los granos desde la tolva de abastecimiento a través del aire forzado hasta la cámara de tostado se requiere del actuador para permitir solo el paso de 10 kg de quinua. Se elige la válvula de VAMEIN (más información en el Anexo 6.5) debido a que es de procedencia europea y ofrece mayor variedad en la elección en cuanto a dimensiones, temperatura y alimentación eléctrica. De acuerdo al cálculo presentado en esta sección, el peso de los granos a una distancia de 355 mm (extraído de la hoja técnica de la válvula) es menor al par entregado por el servomotor de la válvula, la selección se muestra en la Tabla 3- 5.

Tabla 3- 5. Tabla comparativa entre válvulas. Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS	Válvulas		
	Válvula motorizada	Válvula serie Quantum	Serie 200 tipo Bridas
Fabricante	Tianjin bell automatic	Vortex global	VAMEIN
Alimentación (VAC)	220	220	240
Material	AISI 304	AISI 304	AISI 304
Diámetro (mm)	15 - 600	50 - 400	100 - 1200
Tipo de conexión	Brida	Brida	Brida
Par entregado (Nm)	40 - 550	20 - 200	20 - 300
Temperatura (°C)	680	204	-45 a 200
Precio (S/.)	330	1200	800

3.5 SUBSISTEMA DE TOSTADO

El subsistema de tostado (Figura 3- 17) está diseñado para procesos de 10 kg de quinua por ciclo (10 minutos). Integra la cámara de tostado donde los granos de quinua estarán suspendidos debido al aire caliente que ingresa por la parte inferior, un vidrio cilíndrico para que el operario pueda visualizar el tostado continuamente; el servomotor 2 que gira una paleta circular para permitir el ingreso de granos o para evitar la salida de aire caliente; un cilindro calentador de aire que contiene una resistencia tubular aletada para incrementar la temperatura del aire; finalmente una tolva de expulsión para la salida de aire y las mermas de producción. Este subsistema es soportado por el subsistema de soporte (subcapítulo 3.6) mediante sujeción atornillada a través de la brida ubicada entre la cámara de tostado y el cilindro calentador de aire.

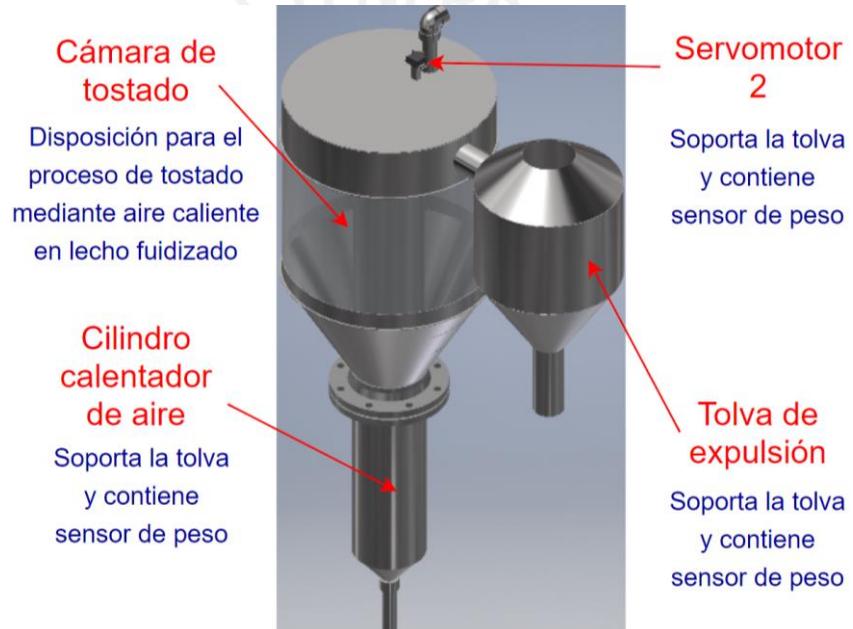


Figura 3- 17. Subsistema de tostado. Fuente: Elaboración propia.

3.5.1 Selección de celda de carga (Sensar cantidad de granos ingresados)

En la Tabla 3- 6 se presenta 3 tipos de celda de carga para sensar indirectamente la cantidad de granos ingresados a la cámara de tostado. Se elige la celda de carga LCM1001-10K (más información en el Anexo 6.8) pues tiene una capacidad suficiente para los 100 kg de granos de quinua además de poder leer cargas fluctuantes, por si el operario por error ingresa granos mientras se está sensando el peso. Además, también cuenta con planchas superior e inferior para el ensamblaje con un perfil.

Tabla 3- 6. Tabla comparativa entre celdas de carga. Fuente: Elaboración propia.

Celdas de carga				
CARACTERÍSTICAS	WLC-SB	LCM1001-10K	CBX 30000	
	Fabricante	WIM - Systems	OMEGA	PT Ltd
	Capacidad (kg)	4.5 - 2268	Hasta 10000	Hasta 30000
	Alimentación (VDC)	10 - 12	10 - 15	< 15
	Salida (mV/V)	3	2	2
	Aplicaciones	Tanques, básculas	Básculas, tanques y tolvas	Básculas pequeñas
	Temperatura máxima (°C)	120	100	70

3.5.2 Selección de celda de carga (Sensar presencia de granos)

La solución óptima ahorra el sensor de presencia de granos por el mostrado anteriormente, debido a que, con el sensor de cantidad de granos ingresados, también se puede sensar si hay granos disponibles para ser tostados. El peso mínimo que debe haber en la tolva de alimentación es de 10 kilos, caso contrario el sistema debe alertar al operario que no existe la cantidad adecuada de granos para ser tostados.

3.5.3 Selección de calentador tubular con aletas (Calentador de aire)

De acuerdo al soplador seleccionado en 3.7.1 el flujo de aire que ingresa es de 255 m³/h, se calcula la diferencia de temperatura entre 25 °C (Ambiental) y 140 °C (Máxima de tostado).

$$\Delta T = 140^\circ - 25^\circ = 115^\circ C.$$

Con la densidad de aire a una temperatura de 25°C obtenido de la Tabla 1- 3 y el flujo como dato del soplador de aire se calcula el flujo másico.

$$\dot{m} = 175 \frac{m^3}{h} * 1.184 \frac{kg}{m^3} = 207.2 \frac{kg}{h}.$$

Finalmente, la potencia del calentador se halla con la diferencia de temperatura, el flujo másico y el calor específico del aire a 25 °C obtenido de la Tabla 1- 3.

$$W = 115 \text{ °C} * 207.2 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} = 6.66 \text{ kW} \approx 7 \text{ kW} .$$

El calentador debe ofrecer una temperatura elevada debido a que los granos de quinua se tostarán alrededor de los 140 °C, debe ser alimentado con el voltaje de la red eléctrica a una frecuencia de 60 Hz. Se prefiere una conexión roscada en sus terminales. En la Tabla 3- 7 se elige la resistencia tubular de SITEC INGENIERÍA (más información en el Anexo 6.6) debido a que es de un proveedor local y realiza la fabricación del calentador a pedido.

Tabla 3- 7. Tabla comparativa entre calentadores aletados. Fuente: Elaboración propia.

Calentadores tubulares aletados				
CARACTERÍSTICAS	Resistencia tubular aletada	Resistencia para procesos	U005	
				
	Fabricante	ELETROTHERMO	SITEC INGENIERIA	ELECTRICFOR
	Alimentación (VAC) a 60 Hz	220	220	220
	Potencia	5 W/cm ²	0.5 A 100 KW	2 KW
	Longitud máxima (mm)	2000	A pedido	680
	Tipo de conexión	Tornillo	Tornillo / Roscado	RACOR
Temperatura máxima (°C)	300	350	40	

La corriente para este elemento se calcula con el voltaje de alimentación (220 V) y la potencia calculada P (7 kW)

$$I_{\text{Resistencia}} = 31.8 \text{ A} .$$

3.5.4 Selección de termocupla (Sensar temperatura)

Los granos de quinua se tuestan a una temperatura máxima de 140°C, la termocupla seleccionada en la Tabla 3- 8 debe sensar valores de temperatura superiores. Se selecciona la termocupla tipo K (más información en el Anexo 6.9) y terminal roscado debido a que es más común de adquirirlo en el mercado local, además el precio es menor comparado a las termocuplas con bayoneta y con cabezal. Además, la termocupla viene con un driver adicional para convertir la señal en mV a valores analógicos entre 0 y 1023 mediante protocolo SPI.

Tabla 3- 8. Tabla comparativa entre termocuplas. Fuente: Elaboración propia.

Termocuplas tipo K				
CARACTERÍSTICAS	TC47-FB	SEN-TCP-K	OPTITEMP TCA-M30	
	Fabricante	WIKA	NAYLAMP	
	Clase de protección	Depende del material	-	
	Tipo de conexión	Bayoneta	Rosca	
	Tolerancia IEC 60584-2	1 y 2	1	
	Temperatura máxima (°C)	1200	1300	
	Precio (S./.)	80	50	

Según el proveedor la corriente de trabajo de este componente es de 50 mA y el voltaje de operación es 5V, por tanto, se calculará la potencia consumida por el sensor de temperatura.

$$P_{\text{Sensor de temperatura}} = 0.05 \text{ A} * 5 \text{ V} = 0.25 \text{ W}.$$

3.5.5 Selección de servomotor 2

En la Figura 3- 18 se muestra la configuración de la plancha que evita que los granos fluidizados regresen a las tuberías. Está compuesto por un servomotor, una plancha circular y un eje tipo "D" , ambos de acero inoxidable. Para este cálculo se asumirá que el eje es una barra circular.

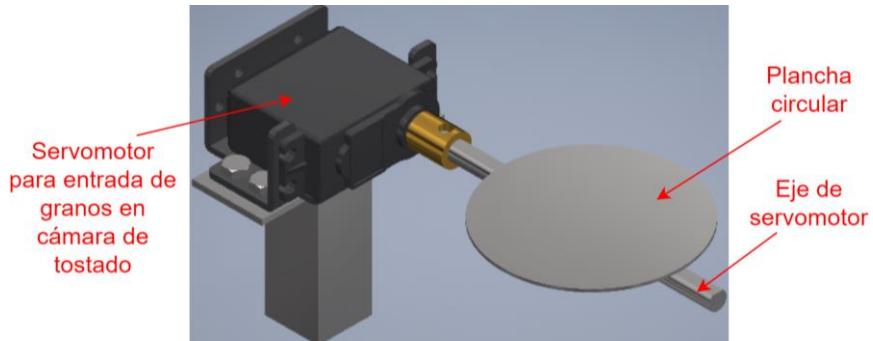


Figura 3- 18. Esquema de servomotor 2. Fuente: Elaboración propia.

El peso de la plancha circular es de 0.025 kg y el eje tiene un peso de 0.025 kg. Estas fuerzas se suman y se ubican en la mitad del eje que mide 93 mm, siendo esta la posición crítica. Además, en un extremo están ubicadas las reacciones del servomotor y el otro extremo es libre. El DCL con las cargas y reacciones mencionadas se ilustran en la Figura 3- 19.

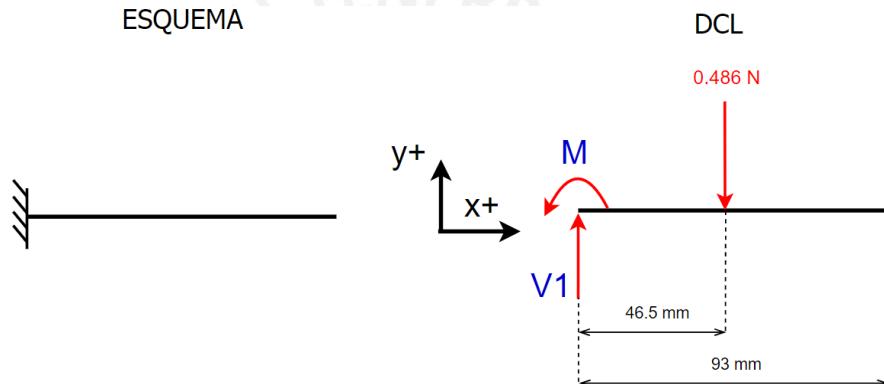


Figura 3- 19. Esquema y DCL de eje de servomotor 2. Fuente: Elaboración propia.

Con la 1ra y 2da condición de equilibrio respecto al centro de la viga, se calculan las reacciones M y V para obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector (Figura 3- 20).

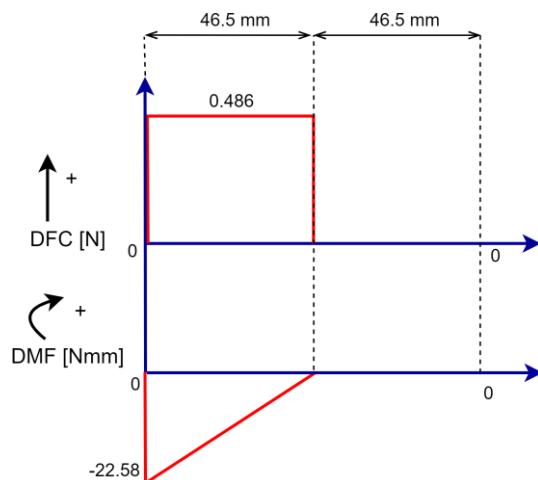


Figura 3- 20. Diagrama de fuerzas y momentos para eje de servomotor 2. Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el esfuerzo equivalente según Von Mises con el esfuerzo máximo 0.898 N/mm² y el esfuerzo mínimo 0. Y se comparará con el esfuerzo de fluencia del acero (205 N/mm²). Como se aprecia en los cálculos, el esfuerzo equivalente tiene un valor muy pequeño debido a la longitud de la viga y el valor de la fuerza que se ejerce en la mitad de la misma. Esto hace evidentemente no falle por resistencia, tal como se muestra a continuación:

$$\sigma_f = 205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq \sigma_{eq} = 0.898 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

El servomotor debe soportar el momento calculado previamente (22.58 Nmm), se selecciona el servomotor TowerPro MG995 en la Tabla 3- 9 ya que su precio no difiere mucho de los demás modelos, además tiene un torque elevado y una mayor velocidad de respuesta a 4.8 VDC.

Tabla 3- 9. Tabla comparativa entre servomotores. Fuente: Elaboración propia.

Servomotores				
CARACTERÍSTICAS	Micro Servo SG90	TowerPro MG995 Servo	MG996R	
				
	Fabricante	ELECTRONILAB	ELECTROTEC	Oddwires
	Alimentación (VDC)	3 – 7.2	4.8 – 7.2	4.8 – 7.2
	Velocidad (4.8 V)	0.1 s / 60°	0.2 s / 60°	0.17 s / 60°
	Torque (Nmm)	176.5	1078.7	882.6
	Temperatura máxima (°C)	0 - 55	0 - 55	0 - 55
	Precio (S.)	12	35	20

La corriente nominal de este componente es de 100 mA a un voltaje de 5 V, entonces la potencia de este componente es el siguiente.

$$P_{\text{Servomotor 2}} = 0.1 \text{ A} * 5 \text{ V} = 0.5 \text{ W}.$$

3.6 SUBSISTEMA DE SOPORTE

El subsistema de soporte (Figura 3- 21) está compuesta por perfiles cuadrados y planchas laterales, su función es soportar todos los elementos que se ubican sobre él y también cubrir externamente los componentes internos. Las planchas laterales están diseñadas de tal manera que su desmontaje sea sencillo para realizar mantenimiento al interior de la máquina.

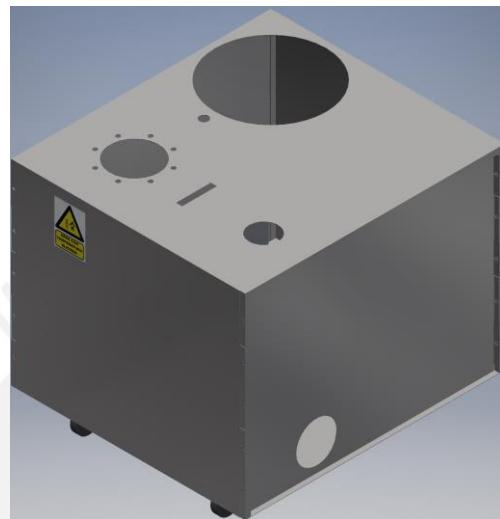


Figura 3- 21. Esquema de estructura de soporte. Fuente: Elaboración propia.

3.6.1 Cálculo de resistencia para viga de soporte

En la Figura 3- 22 se muestra la estructura de soporte compuesta por perfiles cuadrados de 1" de lado y unidas mediante soldadura. Se analiza la resistencia mecánica de una de las 4 columnas, las cuales son idénticas y tienen una longitud de 960 mm.

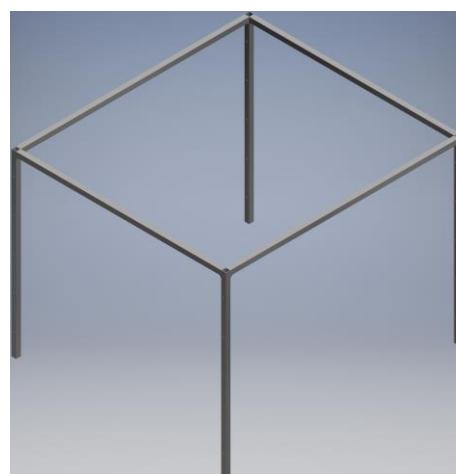


Figura 3- 22. Esquema de estructura de soporte. Fuente: Elaboración propia.

Para la carga se asumirá que el peso total se distribuye uniformemente en las 4 columnas. El peso de la cámara de tostado es de 75.176 kg, el peso de la plancha superior es 18.569 kg, el recipiente para mermas pesa 5.048 Kg, el panel de control pesa 4.485 kg y los granos de quinua tendrán un peso de 10 Kg. En total cada viga soporta un peso de 277.81 N y el peso propio es 10.742 N, el DCL con las cargas correspondientes se muestran en la Figura 3- 23.

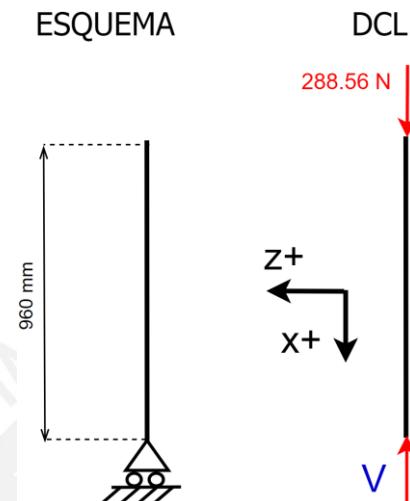


Figura 3- 23. DCL de viga de soporte. Fuente: Elaboración propia.

Con la 1ra y 2da condición de equilibrio respecto al centro de la viga, se calcula la reacción V para obtener el diagrama de fuerza normal (Figura 3- 24).

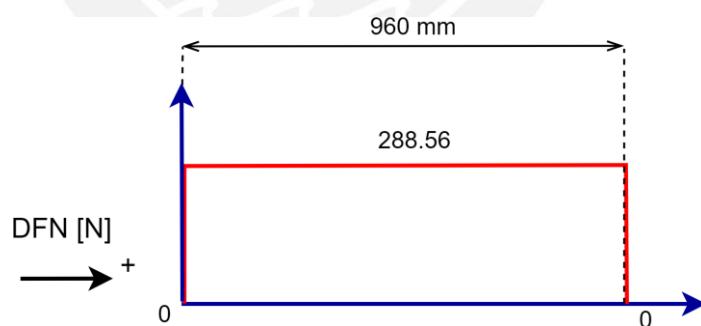


Figura 3- 24. Diagrama de fuerza normal para viga de soporte. Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el esfuerzo equivalente según Von Mises con el esfuerzo máximo 2 N/mm² y el esfuerzo mínimo 0. Y se comparará con el esfuerzo de fluencia del acero (205 N/mm²). Como se aprecia en los cálculos, el esfuerzo equivalente tiene un valor bajo debido a que solo es consecuencia de una fuerza axial de compresión. Esto hace evidentemente no falle por resistencia, tal como se muestra a continuación:

$$\sigma_f = 205 \frac{N}{mm^2} \geq \sigma_{eq} = 2 \frac{N}{mm^2}.$$

3.7 SUBSISTEMA SOPLADOR DE AIRE

En el esquema de conexión neumática (Figura 3- 25) se muestran los elementos necesarios para el ingreso de granos o de aire caliente. Para el ingreso de aire caliente se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2; por tanto, el aire ingresa al Subsistema de tostado. Caso contrario, si el aire será utilizado para ingresar los granos, se abre la válvula 1 y se cierra la válvula 2. Adicionalmente, los granos ingresan desde el subsistema de carga para ser transportados neumáticamente.

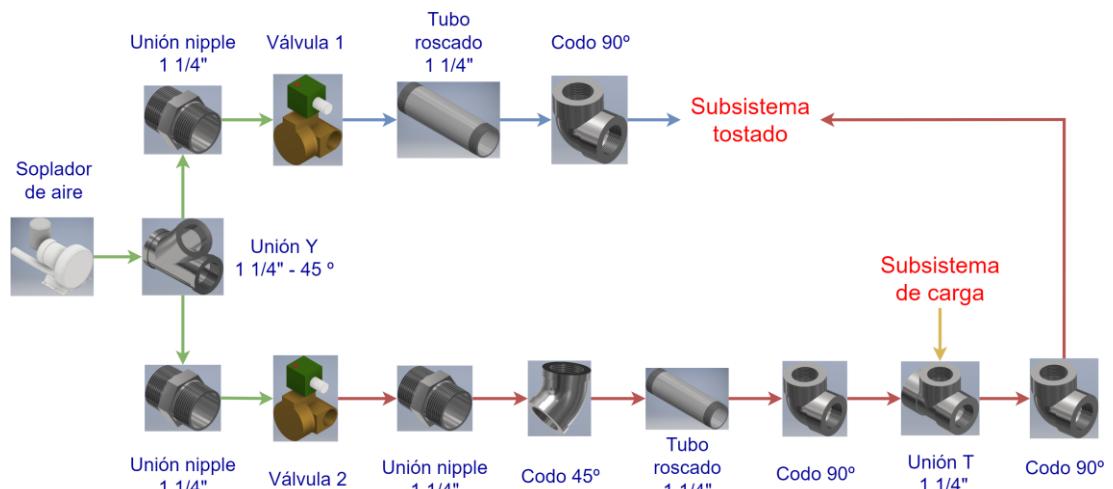


Figura 3- 25. Esquema de conexión neumática. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3- 26 se muestra el modelo CAD de los elementos más importantes en base al esquema mostrado en la Figura 3-25, los codos se integran al subsistema de carga y al subsistema de tostado mediante unión roscada a otros tubos con la misma terminación.

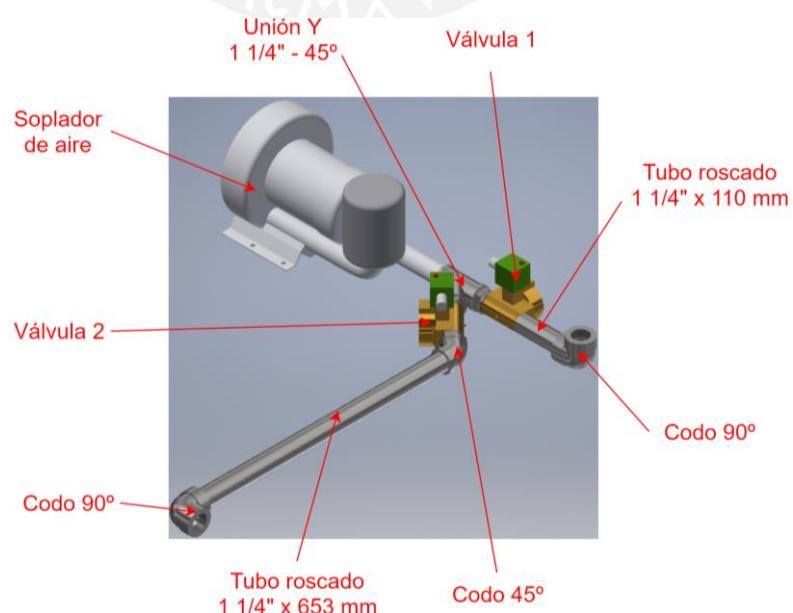


Figura 3- 26. Subsistema soplador de aire. Fuente: Elaboración propia.

3.7.1 Selección de soplador de vórtice (Ingresar aire)

En esta sección se calculan el diámetro de las tuberías por donde los granos de quinua son transportados neumáticamente y con los datos obtenidos se selecciona el soplador de aire. El cálculo fue iterativo con distintos diámetros y flujos de aire, por tanto, se realizará el cálculo final con el diámetro nominal hallado de 2" cédula 10 con un diámetro interior de 54.787 mm. El flujo de quinua transportado será de 10 kg por minuto y los datos de las propiedades de los granos de quinua como diámetro medio 'x' y densidad ' δ_p ', así como la densidad del aire ' δ_f ' y la viscosidad dinámica ' μ ' son extraídos de las Tablas 1-3 y 1-4. Adicionalmente, la longitud de tuberías para el transporte horizontal es de 1.104 m, mientras que para el tramo vertical es 2.013 m. Finalmente, el diseño contempla 6 codos.

El cálculo inicia hallando la velocidad de sedimentación del aire. Se realiza con el flujo de granos m_p (0.167 kg/s), el diámetro medio x (0.002 m), el diámetro de tubería D (54.787 mm), el área transversal A para dicho diámetro (0.0024 m²), la densidad del fluido δ_f (1.1839 kg/m³), la constante de gravedad g (9.81 m/s²) y un factor de seguridad FS de 1.5.

$$u_f = FS * \left(\frac{m_p * 10^{1440*x+1.96} * \sqrt{g * D}^{100*x+2.5}}{\delta_f * A} \right)^{1100*x+3.5} = 16.83 \frac{m}{s}$$

A continuación, se realizan los cálculos de caída de presión para el tramo horizontal.

$$\Delta P_H = tH_1 + tH_2 + tH_3 + tH_4 .$$

Se realiza el cálculo de la velocidad de los granos de quinua con datos de velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s), diámetro D (54.787 mm) y densidad de granos de quinua δ_p (1380 kg/m³).

$$u_{pi} = u_f * \left(1 - 0.0638 * D^{0.3} * \delta_p^{0.5} \right) = 10.63 \frac{m}{s}$$

Se halla la porosidad de los granos de quinua en el tramo horizontal con el flujo de granos de quinua transportado m_p (0.167 kg/s), el área transversal A (0.0024 m²), la velocidad de las partículas en el tramo horizontal u_{pi} (10.63 m/s) y la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³).

$$e_h = 1 - \left(\frac{m_p}{A * u_{pi} * \delta_p} \right) = 0.995 .$$

Adicionalmente se calcula la velocidad del flujo de aire con los datos de velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s) y la porosidad en el tramo horizontal e_h (0.995).

$$u_{fi} = \frac{u_f}{e_h} = 16.91 \frac{m}{s} .$$

Para el cálculo del término 3, inicialmente se calcula el número de Reynolds del fluido con los datos de densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m3), y la velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s), así como el diámetro de tubería D (54.787 mm) y la viscosidad dinámica μ (1.849x10⁻⁵ Pa.s).

$$Re_D = \frac{\delta_f * u_f * D}{\mu} = 59043.33 .$$

Debido a que el número de Reynolds es mayor a 20000, el factor de fricción del aire se calcula con la siguiente expresión.

$$f_g = 0.046 * Re_D^{-0.2} = 0.005 .$$

Por tanto, el término 3 se calcula con el factor de fricción f_g (0.005), la densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m3), velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s), la longitud del tramo horizontal L_H (1.104 m) y el diámetro de tubería D (54.787 mm).

$$tH_3 = \frac{2 * f_g * \delta_f * u_f^2 * L_H}{D} = 69.13 \text{ Pa} .$$

Para el cálculo del término 4, inicialmente se calcula el número de Reynolds de los granos con los datos de densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m3), la velocidad del flujo de aire u_{fi} (16.91 m/s), la velocidad de los granos u_{pi} (10.63 m/s), el diámetro medio de las partículas x (0.002 m) y la viscosidad dinámica μ (1.849x10⁻⁵ Pa.s).

$$Re_p = \frac{\delta_f * (u_{fi} - u_{pi}) * x}{\mu} = 812.61 .$$

Con este valor, el coeficiente de arrastre C_D tiene un valor estándar de 0.44 y se calcula el factor f_p de las partículas con la densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m³), el diámetro de tubería D (54.787 mm), la velocidad del flujo de aire u_{fi} (16.91 m/s), la velocidad de los granos u_{pi} (10.63 m/s), la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³) y el diámetro medio de las partículas x (0.002 m).

$$f_p = \frac{3 * \delta_f * D * C_D * (u_{fi} - u_{pi})^2}{8 * \delta_p * x * u_{pi}^2} = 0.0013 .$$

Así, el término 4 se calcula con el factor f_p (0.0013), la porosidad en el tramo horizontal e_h (0.995), la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³), la velocidad de los granos u_{pi} (10.63 m/s), la longitud del tramo horizontal L_H (1.104 m) y el diámetro de tubería D (54.787 mm).

$$tH_4 = \frac{2 * f_p * (1 - e_h) * \delta_p * u_{pi}^2 * L_H}{D} = 1103.82 \text{ Pa} .$$

El término 1, referente al fluido, se calcula con la porosidad en el tramo horizontal e_h (0.995), la densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m³) y la velocidad del flujo de aire u_{fi} (16.91 m/s).

$$tH_1 = 0.5 * e_h * \delta_f * u_{fi}^2 = 168.5 \text{ Pa} .$$

El término 2, referente a los granos de quinua, se calcula con la porosidad en el tramo horizontal e_h (0.995), la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³) y velocidad de los granos u_{pi} (10.63 m/s).

$$tH_2 = 0.5 * (1 - e_h) * \delta_p * u_{pi}^2 = 375.75 \text{ Pa} .$$

Por tanto, la caída total de presión en el tramo horizontal ΔP_H es la suma de los 4 términos calculados anteriormente.

$$\Delta P_H = 1717.21 \text{ Pa} .$$

Para el cálculo de la caída de presión en el tramo vertical se calculan otros 4 términos.

$$\Delta P_V = tV_1 + tV_2 + tV_3 + tV_4 .$$

El término 1 del tramo vertical se calcula con el término 3 del tramo horizontal tH_3 (69.13 Pa) dividido entre 3.

$$tV_1 = \frac{tH_3}{3} = 23.04 \text{ Pa} .$$

El término vertical 2 se calcula con el flujo de granos de quinua transportado m_p (0.167 kg/s), el área transversal A (0.0024 m²), la longitud del tramo vertical L_V (2.103 m), la constante de gravedad g (9.81 m/s²) y el diámetro de tubería D (54.787 mm).

$$tV_2 = 0.057 * \frac{m_p}{A} * L_V * \sqrt{\frac{g}{D}} = 108.52 \text{ Pa} .$$

El término vertical 3 se calcula mediante método iterativo variando el valor de la velocidad terminal en el tramo vertical, los términos calculados internamente son el número de Reynolds de la partícula Re_p , el coeficiente de arrastre C_D y así se halla un nuevo valor de velocidad terminal. Cuando ambas velocidades son iguales, se toma este valor para calcular la porosidad en el tramo vertical. El valor calculado fue de 8.3627 m/s. A continuación, se muestran la expresión para el cálculo de la porosidad e_v en función del área transversal A (0.0024 m²), la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³), la velocidad terminal u_t (8.3627 m/s), el flujo de granos de quinua transportado m_p (0.167 kg/s) y la velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s).

$$e_v^2 (A * \delta_p * u_t) + e_v (-A * \delta_p * u_f - A * \delta_p * u_t - m_p) + A * \delta_p * u_f = 0 .$$

$$e_v = 0.994 .$$

Así, el término 3 resulta de la siguiente expresión con los términos de porosidad en el tramo vertical e_v (0.994), la longitud del tramo vertical L_V (2.103 m), la densidad de los granos de quinua δ_p (1380 kg/m³) y la constante de gravedad g (9.81 m/s²).

$$tV_3 = (1 - e_v) * L_V * \delta_p * g = 162.88 \text{ Pa} .$$

El término vertical 4 se calcula con los valores de porosidad en el tramo vertical e_v (0.994), la longitud del tramo vertical L_v (2.103 m), la densidad del aire δ_f (1.1839 kg/m³) y la constante de gravedad g (9.81 m/s²).

$$tV_4 = 115.446 \text{ Pa} .$$

La caída de presión en el tramo vertical es la suma de los 4 términos verticales calculados previamente.

$$\Delta P_v = 409.9 \text{ Pa} .$$

Asimismo, la caída de presión en los codos se calcula con el número de codos N_{Codos} (6), caída de presión en tramo vertical ΔP_v (409.9 Pa) y la longitud del tramo vertical L_v (2.103 m).

$$\Delta P_{\text{Codos}} = \frac{N_{\text{Codos}} * 7.5 * \Delta P_v}{L_v} = 9164.9 \text{ Pa} .$$

La caída de presión total es la suma de la caída de presión en los tramos vertical y horizontal, además de la pérdida de presión en los codos.

$$\Delta P_{\text{Total}} = 11292 \text{ Pa} = 112.9 \text{ mbar} .$$

Finalmente, el cálculo del flujo de aire se realiza con el área transversal A (0.0024 m²) y la velocidad de sedimentación u_f (16.83 m/s).

$$Q_f = A * u_f = 142.84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} .$$

El soplador de aire según cálculos debe tener una presión de 112.9 mbar como mínimo para poder mantener los granos en suspensión dentro de la cámara de tostado y poder transportar los granos neumáticamente. Una de las características importantes es que el soplador no demande mucha potencia eléctrica y que sea de tamaño lo más reducido posible. En la tabla 3-10 se elige el soplador HRC 301 (más información en el Anexo 6.3) de REPUBLIC MANUFACTURING debido a que supera la presión requerida además de tener ser de una marca reconocida y líder en sopladores de aire.

Tabla 3- 10. Tabla comparativa entre sopladores de vórtice. Fuente: Elaboración propia.

Sopladores de aire				
CARACTERÍSTICAS	HRC 201	JQT 750C	K05 - MS	
	Fabricante REPUBLIC MANUFACTURING	ACOUA TECNOLOGIA	FPZ	
	Alimentación (VAC) 230	220	208-230	
	Frecuencia (Hz) 60	60	60	
	Potencia (kW) 0.9	0.83	1.5	
	Flujo (m ³ /h) 175	240	220	
	Presión (mbar) 130	190	129	
	Peso (Kg) 15	14	25.7	
	Precio (S/.) 4260	5000	3999	

Se calcula la corriente que consume el soplador de aire con los datos de la hoja técnica con voltaje de alimentación 220 VAC y potencia consumida 0.9 kW.

$$I_{\text{Soplador de aire}} = 4 \text{ A}.$$

3.7.2 Selección de válvula solenoide (Accionar ingreso de granos)

El soplador seleccionado en 3.7.1 tiene una rosca hembra de 1 ¼ NPT, por lo tanto, la válvula solenoide debe ser también de una rosca de diámetro similar. En la Tabla 3- 11 se elige la válvula solenoide 8220G027 (más información en el Anexo 6.4) de ASCO debido a que tiene una temperatura máxima superior y consume menos potencia eléctrica que las demás válvulas.

Tabla 3- 11. Tabla comparativa entre válvulas solenoides. Fuente: Elaboración propia.

Válvulas solenoides				
	21IN7K1V350-IH	8220G027	032U6535	
				
CARACTERÍSTICAS	Fabricante	ODE	ASCO	DANFOSS
	Alimentación (VDC)	24	24	220
	Potencia (W)	14	10.1	17.5
	Flujo (m ³ /h)	100	80	60
	Presión (MPa)	0 – 1.4	1	1
	Temperatura máxima (°C)	180	353	120
	Precio	189	250	310

Se calcula la corriente que consume la válvula con los datos de la hoja técnica con voltaje de alimentación 24 VDC y potencia consumida 14 W.

$$I_{\text{Electroválvula 1}} = 0.583 \text{ A.}$$

3.7.3 Selección de válvula solenoide (Accionar ingreso de aire caliente)

Debido a que el soplador se utilizará para ambos flujos (ingreso de granos e ingreso de aire caliente) se elige la misma válvula seleccionada anteriormente. El funcionamiento radica en que si se quiere accionar el ingreso de aire caliente se debe abrir la válvula para este fin y cerrar la válvula que acciona el ingreso de granos. Por el contrario, si se quiere accionar el ingreso de los granos de quinua, la secuencia de encendido de válvulas es opuesta.

De igual manera, se calcula la corriente que consume la válvula con los datos de la hoja técnica con voltaje de alimentación 24 VDC y potencia consumida 14 W.

$$I_{\text{Electroválvula 2}} = 0.583 \text{ A.}$$

3.8 SUBSISTEMA DE ENFRIADO

Este subsistema tiene como finalidad disminuir la temperatura de los granos luego de que hayan sido tostados. La temperatura de salida de los granos debe ser menor a 100 °C para evitar las quemaduras por contacto entre ellos. Además, el tiempo enfriado debe ser menor a 5 minutos en el modo automático o variable en modo manual. En la Figura 3- 27 se muestra una imagen CAD de este subsistema, el cual consta de un eje ensamblado para el acople con el eje principal y cumple la función de aislar el material lubricante de la transmisión de potencia. El motorreductor está sujetado por tornillos en la base del enfriador, la estructura de soporte está soldado por la parte inferior a la base. La plancha de descarga gira por medio de una bisagra para permitir el transporte de los granos desde el enfriador hacia la tolva de descarga.

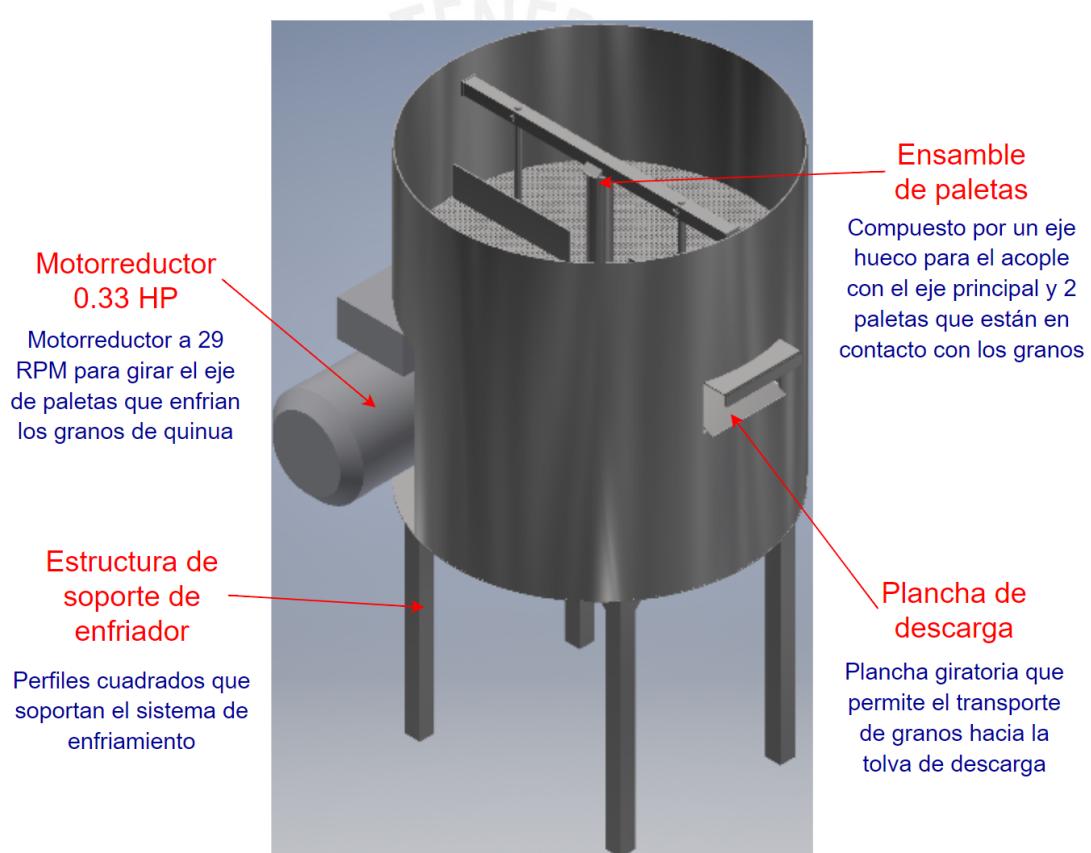


Figura 3- 27. Subsistema soplador de aire. Fuente: Elaboración propia.

3.8.1 Selección de motor AC (Accionar sistema de enfriamiento)

Se plantea hallar el cálculo de la potencia del motor para el enfriador. El eje del motor irá cubierto de un tubo para evitar contaminar los granos de quinua. En la Figura 3-28 se observan las paletas que moverán los granos, las barras de soporte, la cubierta

de eje y el tubo cuadrado que soportará las paletas. Para este cálculo se considerará que cada paleta moverá la mitad de la cantidad de granos total (5 kg-f). Además, se considerará una velocidad de giro de 30 RPM para las paletas y una relación de velocidad de 1:1 respecto al eje del motor; es decir, será de acople directo (sin etapa de reducción).

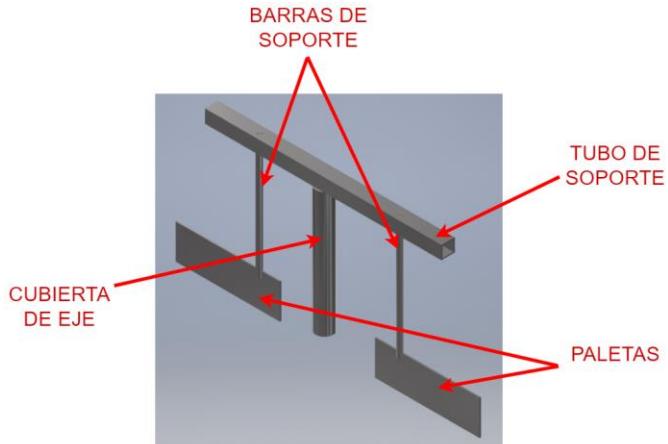


Figura 3- 28. Paletas de enfriador. Fuente: Elaboración propia.

El diámetro del enfriador es de 500 mm, por tanto, se considerará como caso crítico que para cada paleta el punto de acción de las fuerzas se origina en cada extremo. En la Figura 3- 29 se muestra la acción de la fuerza de rozamiento que se opone al movimiento de las paletas. La velocidad de rotación 'w' es de 30 rpm.

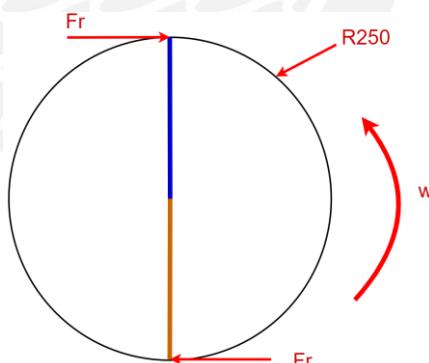


Figura 3- 29. Esquema de fuerza de fricción en enfriador. Fuente: Elaboración propia.

El torque total es la suma del torque generado por las 2 fuerzas de fricción con distancia al centro rotación del radio del enfriador d (250 mm). El coeficiente de fricción de los granos sobre una superficie de acero μ es de 0,38. La fuerza normal para cada paleta es la mitad del peso total de los granos M (5 kg), la constante de aceleración de la gravedad g es de 9.81 m/s^2 , además se considera un factor de seguridad FS de 4.

$$T_{\text{paleta}} = FS * 2 * \mu * M * g * d = 37.28 \text{ Nm}.$$

Para calcular la potencia se hace uso del torque de cada paleta T_{paleta} calculado anteriormente y la velocidad de giro de las paletas w (30 RPM). Se muestra el valor en 2 unidades distintas (W y HP) debido a que este dato varía de acuerdo a cada proveedor.

$$P_{paleta} = T_{paleta} * w = 117.1 \text{ W} = 0.157 \text{ HP}.$$

De acuerdo al cálculo realizado en esta sección, el par mínimo que debe soportar el motor es de 37.28 N.m mientras que la potencia debe ser mayor a 0.157 HP, además un requerimiento es que el voltaje del motor sea monofásico. Entonces, el motor seleccionado en la Figura 3- 12 es el de la marca KRAFTMANN que tiene proveedores locales (más información en el Anexo 6.7) además de ser el más económico y cumplir las exigencias de torque, potencia y velocidad angular. El precio indicado contempla también los accesorios para la reducción de velocidad como la brida de acople y la caja reductora, de manera que la velocidad de salida es de 28 RPM.

Tabla 3- 12. Tabla comparativa entre motores AC. Fuente: Elaboración propia.

Motores AC				
CARACTERÍSTICAS	5K939	MOT2	JS-MV-003-712	
	Fabricante	DAYTON	KRAFTMANN	ELECTRICFOR
	Alimentación	220 VAC	220 VAC	3x220
	Frecuencia (Hz)	60	60	60
	Potencia	1/4 HP	0.33 HP	0.37 KW
	Velocidad (RPM)	30	28	30
	Par máximo (Nm)	40	131.06	106
	Corriente (A)	1.4	1.42	-
	Precio (S/.)	2362.8	839	1254

Se calcula la corriente que consume el motorreductor con los datos de la hoja técnica a un voltaje de alimentación 220 VAC y potencia consumida 0.33 HP.

$$I_{Motorreductor} = 1.185 \text{ A}.$$

3.8.2 Selección de pistón eléctrico (Transportar granos de enfriador a tolva de descarga)

El pistón eléctrico seleccionado debe tener una carrera mínima de 15 cm y una fuerza de máximo 10 kg (98 N) para soportar el peso de los granos de quinua. Bajo estas condiciones, en la Tabla 3- 13, se selecciona el actuador lineal eléctrico M9 (más información en el Anexo 6.10) de RK ROSE-KRIEGER, además de contar con una alimentación de 24 VDC y tener una carrera corta que se acople a las dimensiones del enfriador.

Tabla 3- 13. Tabla comparativa entre pistones eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Pistones eléctricos				
CARACTERÍSTICAS	Cilindro eléctrico M9	LA22	Actuador Lineal Matusy	
	RK ROSE+KRIEGER	LINAK	KRAMBAL	
	12/24	12/24	12	
	2	2.1	2	
	50 mm	200 mm	-	
	300 N	400 N	-	
	14	37	5.7	
	850	982	560	

La potencia del actuador eléctrico se calcula con el voltaje de alimentación 24 VDC y una corriente de 2 A.

$$P_{\text{Pistón}} = 2 \text{ A} * 24 \text{ V} = 48 \text{ W}.$$

3.9 SUBSISTEMA PANEL DE CONTROL

El subsistema panel de control está situado en la parte superior del subsistema de soporte a una altura conveniente para personas entre 1.52 a 1.65 m, (promedio de estatura de mujer y varón respectivamente, extraído de [6]). También se ubican los interruptores de inicio y parada de emergencia, así como una pantalla táctil para el ingreso de datos. La Figura 3- 30 muestra una imagen CAD con los elementos descritos y con la pantalla principal diseñada en 0.

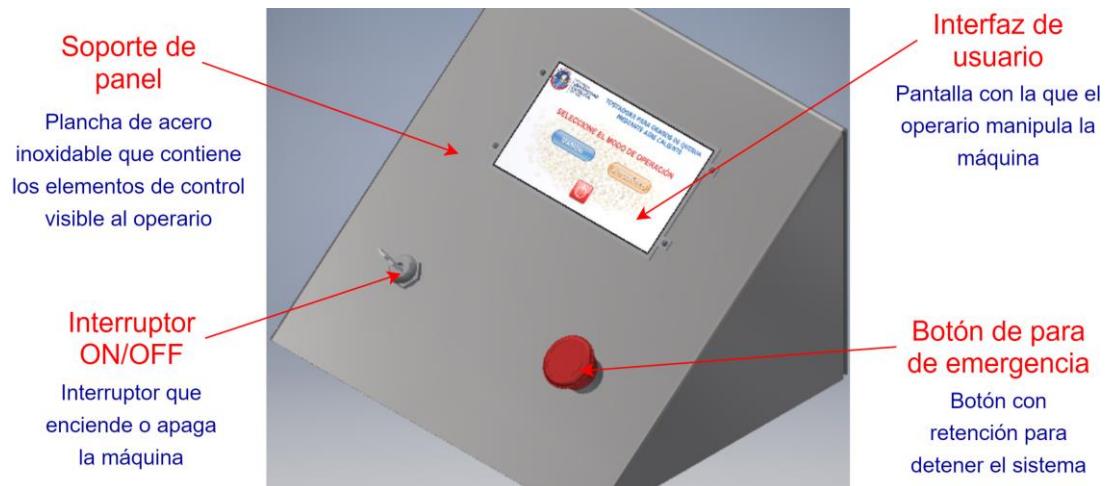


Figura 3- 30. Subsistema panel de control. Fuente: Elaboración propia.

El interruptor eléctrico tiene accionamiento mecánico mediante una llave que conmuta el voltaje generado entre sus terminales. Es de marca CHINT por ser de uso extendido en el mercado local. Funciona con múltiples rangos de voltaje en alterna o continua, entre las que destacan 220 VAC y 12 VDC por ser fuentes de voltaje comunes.

$$P_{\text{Interruptor ON/OFF}} = 4.4 \text{ W}.$$

El interruptor de parada de emergencia tiene accionamiento mecánico tipo pulsador con retención y se desactiva mediante giro. Al igual que el interruptor ON/OFF, también este interruptor es de marca CHINT. Funciona a 220 VAC o 5-24 VDC. La corriente máxima que consume según su hoja técnica es 20 mA, entonces la potencia total consumida por ambos pulsadores se muestra a continuación.

$$P_{\text{Botón emergencia}} = 4.4 \text{ W}.$$

3.10 SUBSISTEMA DE DESCARGA

Al finalizar el proceso de enfriado, los granos son trasportados a un recipiente para la descarga de granos (Tolva de descarga) con una capacidad máxima de 100 kg, cuando se alcance el tope máximo, se le indica al usuario que debe descargar manualmente los granos. El medio de verificación de que no se dispone de granos en la tolva es un sensor de barrera compuesto por un diodo láser y una fotoresistencia mostrados en la Figura 3- 31.

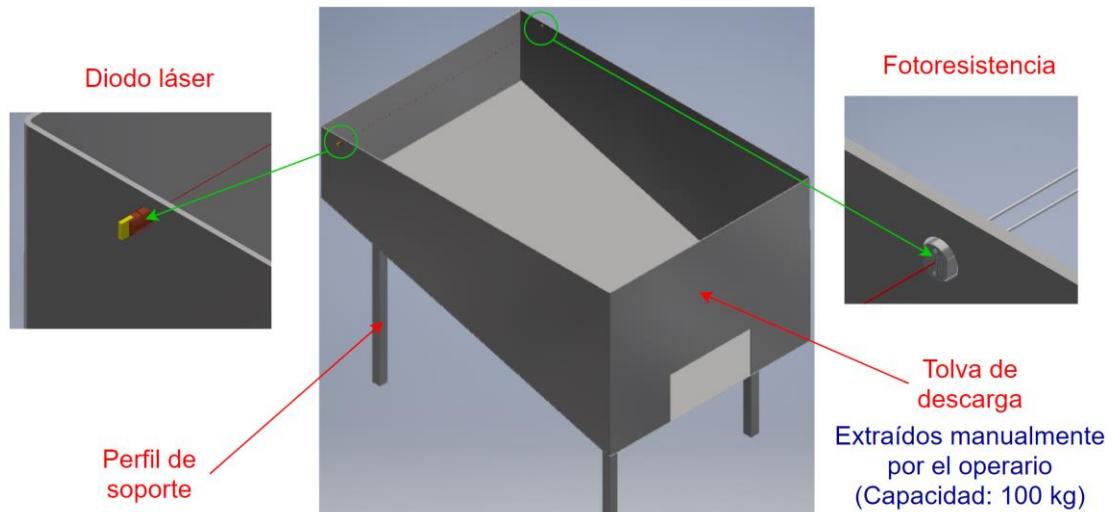


Figura 3- 31. Subsistema de descarga. Fuente: Elaboración propia.

3.11 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En la Tabla 3- 14 se considera la corriente y voltaje de alimentación de todos los componentes para determinar la fuente que entregará energía para los distintos voltajes que requieran cada componente. También se calcula la corriente total para cada valor de voltaje (220 VAC, 24 VDC, 12 VDC, 5 VDC y 3.3 VDC).

Tabla 3- 14. Tabla de cálculo de corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cantidad	Corriente unitaria	Voltaje de alimentación	Corriente total
TM4C123GH6PM	1	0.45 A	3.3 VDC	0.45 A
Resistencia tubular	1	31.8 A	220 VAC	31.8 A
Sensor de temperatura	1	0.05 A	5 VDC	0.05 A
Servomotor 2	1	0.1 A	220 VAC	0.1 A
Soplador de aire	1	4.1 A	220 VAC	4.1 A
Válvula solenoide	2	0.583 A	24 VDC	1.167 A
Motorreductor	1	1.12 A	220 VAC	1.12
Actuador lineal	1	2 A	24 VDC	2 A
Pulsadores	2	0.02 A	220 VAC	0.04 A
Corriente total para 220 VAC				45.8 A
Corriente total para 24 VDC				3.167 A
Corriente total para 5 VDC				0.75 A
Corriente total para 3.3 VDC				0.45 A

Debido a que las corrientes para los voltajes de 24 VDC, 5 VDC y 3.3 VDC son reducidas, se elige la fuente ATX-600W P8 debido a que cumple las características de potencia y tiene un menor costo en comparación a las otras opciones. La elección se encuentra con relleno azul en la Tabla 3- 15.

Tabla 3- 15. Tabla comparativa entre fuentes de poder. Fuente: Elaboración propia.

		Fuentes de poder		
CARACTERÍSTICAS	Fabricante	ATX-600W P8 	Teros ATX600W 	Corsair Vs600 
	Voltaje	220 / 60Hz	220 / 60Hz	220 / 60Hz
	Potencia (W)	600	600	600
	Corriente (A)	8	-	-
	Cooler	8 cm	8 cm	12 cm
	Precio (S.)	36.3	40	195

3.12 LISTA DE PLANOS

A continuación, en las Tabla 3- 16, 3- 17 y 3- 18 se presentan las listas de planos del sistema dividido en número de lámina, nombre del plano, tamaño de hoja y subsistema.

Tabla 3- 16. Lista de planos 1. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Tamaño	Subsistema
L1	PLANCHAS INFERIOR	A2	Subsistema de soporte
L2	PLANCHAS LATERAL 1	A2	
L3	PLANCHAS LATERAL 2	A2	
L4	PLANCHAS LATERAL 3	A2	
L5	PLANCHAS LATERAL 4	A2	
L6	PLANCHAS SUPERIOR	A2	
L7	PLANCHAS PARA GARRUCHA	A4	
L8	TAPA DE DESCARGA	A4	
L9	PERFIL CUADRADO DE SOPORTE	A3	
L10	ESTRUCTURA INFERIOR	A2	
L11	ENSAMBLE ESTRUCTURA INFERIOR	A1	
L12	CILINDRO DE ABASTECIMIENTO	A4	Subsistema de carga
L13	CONO DE ABASTECIMIENTO	A4	

Tabla 3- 17. Lista de planos 2. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Tamaño	Subsistema
L14	ENSAMBLE DE ABASTECIMIENTO	A2	Subsistema de enfriado
L15	BORDE DE ENFRIADOR	A3	
L16	BASE DE ENFRIADOR	A3	
L17	PLANCHA DE SOPORTE	A4	
L18	PLANCHA PERFORADA	A4	
L19	BASE DE DESCARGA	A3	
L20	SUB ENSAMBLE DESCARGA	A3	
L21	SUB ENSAMBLE BASE ENFRIADOR	A2	
L22	ESTRUCTURA INFERIOR DE ENFRIADOR	A3	
L23	TUBO PARA PALETAS	A3	
L24	EJE DE PALETAS	A3	
L25	SUB ENSAMBLE PALETA	A3	
L26	EJE HEMBRA	A3	
L27	SUB ENSAMBLE EJE HEMBRA	A3	
L28	ENSAMBLE EJE DE PALETAS	A2	
L29	ESTRUCTURA SOPORTE DE RODAMIENTOS	A3	
L30	PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO SUPERIOR	A4	
L31	PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO INFERIOR	A4	
L32	SUB ENSAMBLE SOPORTE RODAMIENTO	A2	
L33	EJE MACHO	A3	
L34	EJE PARA MOTOREDUCTOR	A3	
L35	ENSAMBLE ENFRIADOR	A1	
L36	CILINDRO DE CALENTADOR	A4	Subsistema de tostado
L37	CONO DE CALENTADOR	A4	
L38	SUB ENSAMBLE CALENTADOR DE AIRE	A3	
L39	CILINDRO DE EXPULSIÓN	A4	
L40	CONO SUPERIOR DE EXPULSIÓN	A4	
L41	CONO INFERIOR DE EXPULSIÓN	A4	
L42	SUB ENSAMBLE TOLVA DE EXPULSIÓN	A3	
L43	CILINDRO PARA LECHO	A4	
L44	PLANCHA SOPORTE DE CILINDRO PARA LECHO	A4	
L45	SUB ENSAMBLE CILINDRO PARA LECHO	A3	
L46	VIDRIO CILÍNDRICO	A4	
L47	ANILLO BASE PARA VIDRIO	A4	
L48	CILINDRO PARA BASE INFERIOR	A4	
L49	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO INFERIOR	A3	
L50	CILINDRO PARA BASE SUPERIOR	A4	

Tabla 3- 18. Lista de planos 3. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Tamaño	Subsistema
L51	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO SUPERIOR	A3	Subsistema de tostado
L52	PLANCHAS SOPORTE DE SERVO	A4	
L53	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR 2	A2	
L54	TAPA SUPERIOR	A4	
L55	CONO DE CÁMARA DE TOSTADO	A4	
L56	PLANCHAS PARA TRANSPORTE 1	A4	
L57	PLANCHAS PARA TRANSPORTE 2	A4	
L58	SUB ENSAMBLE TAPA PARA TRANSPORTE	A3	
L59	ENSAMBLE BISAGRA PARA TRANSPORTE	A3	
L60	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 1	A4	
L61	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 2	A4	
L62	PLANCHAS PARA BRACKET DE SERVO	A4	
L63	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR PARA TRANSPORTE	A2	
L64	PLANCHAS LATERAL PARA TRANSPORTE	A3	
L65	PLANCHAS SUPERIOR PARA TRANSPORTE	A4	
L66	PLANCHAS INCLINADA PARA TRANSPORTE	A4	
L67	PLANCHAS INFERIOR PARA TRANSPORTE	A3	
L68	SUB ENSAMBLE CUBIERTA DE TRANSPORTE	A3	
L69	SUB ENSAMBLE CÁMARA DE TOSTADO	A1	
L70	ENSAMBLE TOSTADORA	A2	
L71	ANILLO DE EXPULSIÓN	A4	
L72	SUB ENSAMBLE BANDEJA DE EXPULSIÓN	A3	
L73	SOPORTE PANEL DE CONTROL	A2	Subsistema panel de control
L74	ENSAMBLE PANEL DE CONTROL	A2	
L75	ENSAMBLE SOPLADOR DE AIRE	A1	Subsistema soplador de aire
L76	TOLVA DE DESCARGA	A3	Subsistema de descarga
L77	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 1	A4	
L78	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 2	A4	
L79	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 3	A4	
L80	ESTRUCTURA SOPORTE DE DESCARGA	A3	
L81	ENSAMBLE DE DESCARGA	A2	-
L82	PLANCHAS SOPORTE SOPLADOR	A4	
L83	ENSAMBLE TOSTADORA DE AIRE CALIENTE	A1	-

3.13 PROCESOS DE FABRICACIÓN

En las Tablas 3- 19, 3- 20, 3- 21 y 3-22 se presentan las listas de los procesos de fabricación que se deben realizar en cada plano, con el respectivo número de lámina, nombre y subsistema, para la implementación de la máquina.

Tabla 3- 19. Lista de procesos de fabricación 1. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Proceso	Subsistema
L1	PLANCHA INFERIOR	Corte y taladrado	Subsistema de soporte
L2	PLANCHA LATERAL 1	Corte y taladrado	
L3	PLANCHA LATERAL 2	Corte, taladrado y doblado	
L4	PLANCHA LATERAL 3	Corte y taladrado	
L5	PLANCHA LATERAL 4	Corte, taladrado y doblado	
L6	PLANCHA SUPERIOR	Corte y taladrado	
L7	PLANCHA PARA GARRUCHA	Corte y taladrado	
L8	TAPA DE DESCARGA	Corte y doblado	
L9	PERFIL CUADRADO DE SOPORTE	Corte y taladrado	
L10	ESTRUCTURA INFERIOR	Soldadura y ensamblado	
L11	ENSAMBLE ESTRUCTURA INFERIOR	Ensamblado	
L12	CILINDRO DE ABASTECIMIENTO	Corte, rolado y soldadura	Subsistema de carga
L13	CONO DE ABASTECIMIENTO	Corte, rolado y soldadura	
L14	ENSAMBLE DE ABASTECIMIENTO	Soldadura y ensamblado	
L15	BORDE DE ENFRIADOR	Corte, rolado y soldadura	Subsistema de enfriado
L16	BASE DE ENFRIADOR	Corte y taladrado	
L17	PLANCHA DE SOPORTE	Corte y taladrado	
L18	PLANCHA PERFORADA	Corte y taladrado	
L19	BASE DE DESCARGA	Corte, taladrado y doblado	
L20	SUB ENSAMBLE DESCARGA	Soldadura y ensamblado	
L21	SUB ENSAMBLE BASE ENFRIADOR	Soldadura y ensamblado	
L22	ESTRUCTURA INFERIOR DE ENFRIADOR	Soldadura y ensamblado	
L23	TUBO PARA PALETAS	Corte y taladrado	
L24	EJE DE PALETAS	Corte y taladrado	

Tabla 3- 20. Lista de procesos de fabricación 2. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Proceso	Subsistema
L25	SUB ENSAMBLE PALETA	Soldadura y ensamblado	Subsistema de enfriado
L26	EJE HEMBRA	Corte y taladrado	
L27	SUB ENSAMBLE EJE HEMBRA	Soldadura y ensamblado	
L28	ENSAMBLE EJE DE PALETAS	Soldadura y ensamblado	
L29	ESTRUCTURA SOPORTE DE RODAMIENTOS	Soldadura y ensamblado	
L30	PLANCHAS SOPORTE DE RODAMIENTO SUPERIOR	Corte y taladrado	
L31	PLANCHAS SOPORTE DE RODAMIENTO INFERIOR	Corte y taladrado	
L32	SUB ENSAMBLE SOPORTE RODAMIENTO	Soldadura y ensamblado	
L33	EJE MACHO	Corte y taladrado	
L34	EJE PARA MOTOREDUCTOR	Corte y taladrado	
L35	ENSAMBLE ENFRIADOR	Soldadura y ensamblado	Subsistema de tostado
L36	CILINDRO DE CALENTADOR	Corte, rolado y soldadura	
L37	CONO DE CALENTADOR	Corte, rolado y soldadura	
L38	SUB ENSAMBLE CALENTADOR DE AIRE	Soldadura y ensamblado	
L39	CILINDRO DE EXPULSIÓN	Corte, rolado y soldadura	
L40	CONO SUPERIOR DE EXPULSIÓN	Corte, rolado y soldadura	
L41	CONO INFERIOR DE EXPULSIÓN	Corte, rolado y soldadura	
L42	SUB ENSAMBLE TOLVA DE EXPULSIÓN	Soldadura y ensamblado	
L43	CILINDRO PARA LECHO	Corte, rolado y soldadura	
L44	PLANCHAS SOPORTE DE CILINDRO PARA LECHO	Corte	
L45	SUB ENSAMBLE CILINDRO PARA LECHO	Soldadura y ensamblado	
L46	VIDRIO CILÍNDRICO	Compra	
L47	ANILLO BASE PARA VIDRIO	Corte	
L48	CILINDRO PARA BASE INFERIOR	Corte, rolado y soldadura	

Tabla 3- 21. Lista de procesos de fabricación 3. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Proceso	Subsistema
L49	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO INFERIOR	Soldadura y ensamblado	Subsistema de tostado
L50	CILINDRO PARA BASE SUPERIOR	Corte, rolado y soldadura	
L51	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO SUPERIOR	Soldadura y ensamblado	
L52	PLANCHA SOPORTE DE SERVO	Corte y taladrado	
L53	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR 2	Soldadura y ensamblado	
L54	TAPA SUPERIOR	Corte y taladrado	
L55	CONO DE CÁMARA DE TOSTADO	Corte, rolado y soldadura	
L56	PLANCHA PARA TRANSPORTE 1	Corte y rolado	
L57	PLANCHA PARA TRANSPORTE 2	Corte y rolado	
L58	SUB ENSAMBLE TAPA PARA TRANSPORTE	Soldadura y ensamblado	
L59	ENSAMBLE BISAGRA PARA TRANSPORTE	Soldadura y ensamblado	
L60	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 1	Corte y fresado	
L61	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 2	Corte y fresado	
L62	PLANCHA PARA BRACKET DE SERVO	Corte y fresado	
L63	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR PARA TRANSPORTE	Soldadura y ensamblado	
L64	PLANCHA LATERAL PARA TRANSPORTE	Corte	
L65	PLANCHA SUPERIOR PARA TRANSPORTE	Corte	
L66	PLANCHA INCLINADA PARA TRANSPORTE	Corte	

Tabla 3- 22. Lista de procesos de fabricación 4. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Proceso	Subsistema
L67	PLANCHAS INFERIOR PARA TRANSPORTE	Corte	Subsistema de tostado
L68	SUB ENSAMBLE CUBIERTA DE TRANSPORTE	Soldadura y ensamblado	
L69	SUB ENSAMBLE CÁMARA DE TOSTADO	Soldadura y ensamblado	
L70	ENSAMBLE TOSTADORA	Soldadura y ensamblado	
L71	ANILLO DE EXPULSIÓN	Corte	
L72	SUB ENSAMBLE BANDEJA DE EXPULSIÓN	Soldadura y ensamblado	Subsistema de tostado
L73	SOPORTE PANEL DE CONTROL	Corte, taladrado y doblado	Subsistema panel de control
L74	ENSAMBLE PANEL DE CONTROL	Ensamblado	
L75	ENSAMBLE SOPLADOR DE AIRE	Ensamblado	Subsistema soplador de aire
L76	TOLVA DE DESCARGA	Corte y doblado	Subsistema de descarga
L77	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 1	Corte	
L78	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 2	Corte	
L79	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 3	Corte	
L80	ESTRUCTURA SOPORTE DE DESCARGA	Soldadura y ensamblado	
L81	ENSAMBLE DE DESCARGA	Soldadura y ensamblado	
L82	PLANCHAS SOPORTE SOPLADOR	Corte y taladrado	
L83	ENSAMBLE TOSTADORA DE AIRE CALIENTE	Soldadura y ensamblado	

3.14 ESQUEMÁTICOS

En el presente acápite se presentan los circuitos electrónicos que se deberán imprimir en tarjetas electrónicas (PCB's) para el ensamblado eléctrico entre los componentes. Se considera que cada componente posea su propia tarjeta para evitar errores en la fase de pruebas, ya que el costo es menor si solo se imprime una de menores dimensiones a una tarjeta que posea todos los elementos ya comprados y ensamblados. En la Figura 3-32 se muestra el diagrama esquemático principal del controlador TM4C123GH6PM el cual tiene su propia PCB conectado a borneras para facilitar la instalación, el cableado y las pruebas.

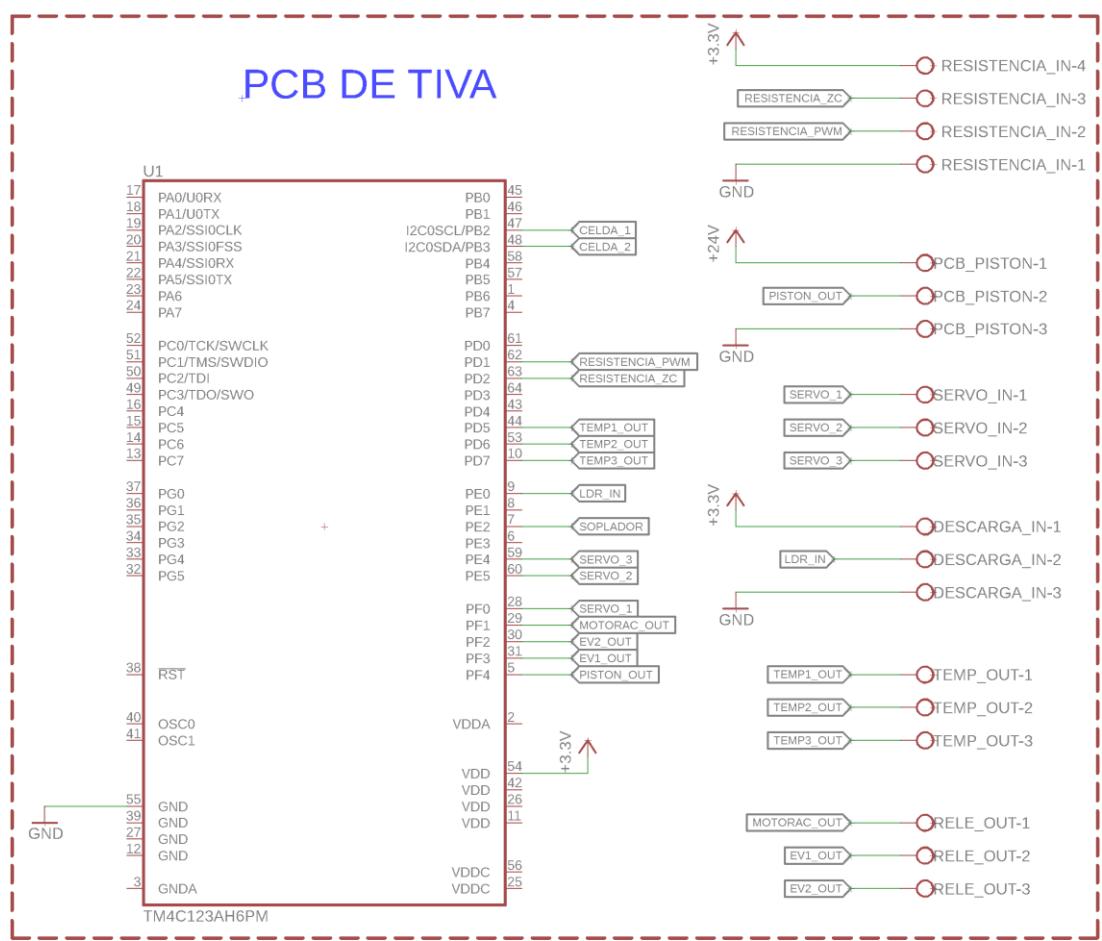


Figura 3- 32. Esquemático de controlador. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-33 se muestra la tarjeta electrónica para los componentes de potencia como las electroválvulas y el motorreductor del enfriador. Según los cálculos de los subcapítulos 3.7.2 y 3.8.1 la corriente es soportada por el módulo Relé de 4 canales y para la conversión de voltaje 3.3 V a 5 V (TTL).

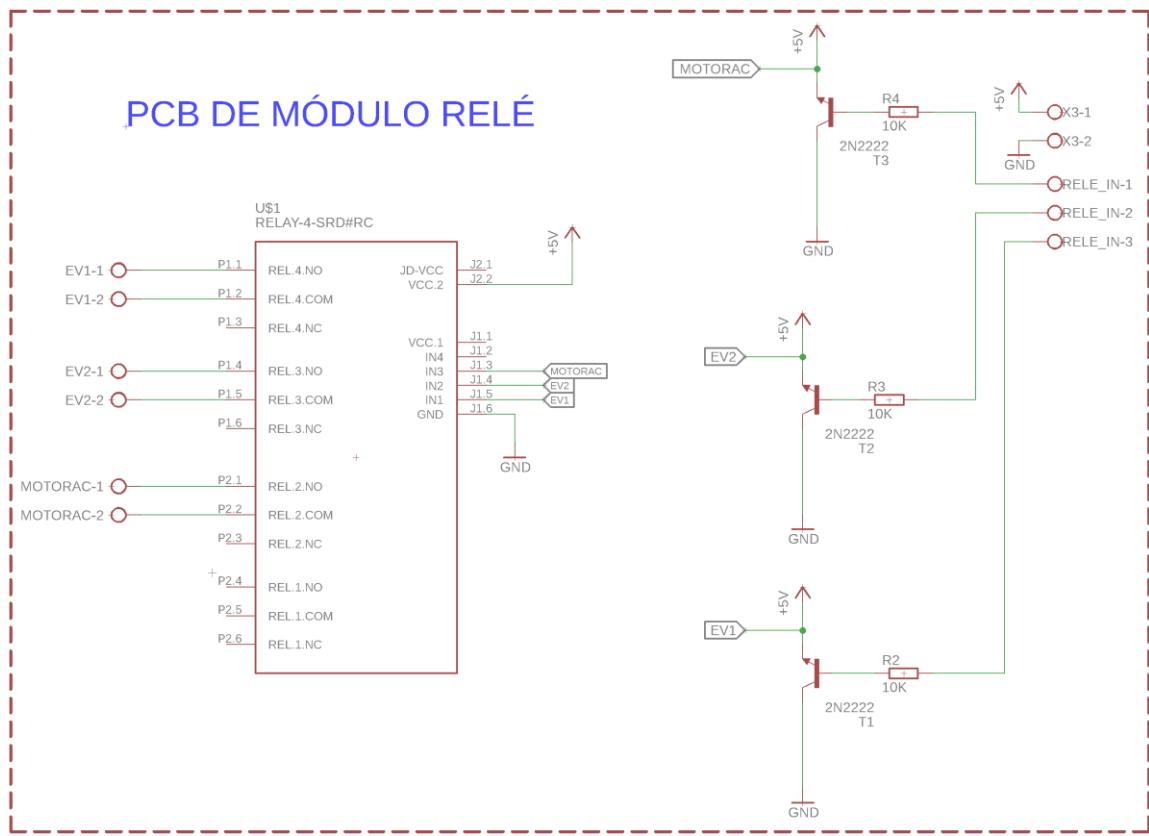


Figura 3- 33. Esquemático de módulo relé. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-34 se muestra la PCB para el control ON/OFF del pistón eléctrico, como entrada los voltajes 24 VDC y GND, además de la activación a nivel de 3.3 VDC. A través de la saturación del transistor se activa la bobina del pistón expandiéndolo.

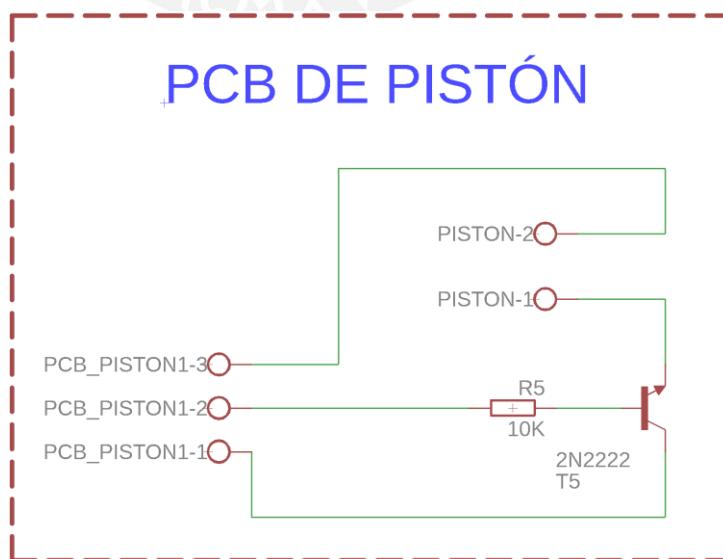


Figura 3- 34. Esquemático de pistón. Fuente: Elaboración propia.

Para el control de los servomotores se realiza una placa integrada (Figura 3-35) con borneras para conexión directa, como entrada los voltajes para cada servo y la señal de activación. Mientras que como salida la señal de alimentación y entrada de señal. Las masas de los servos se unen para referenciar los voltajes.

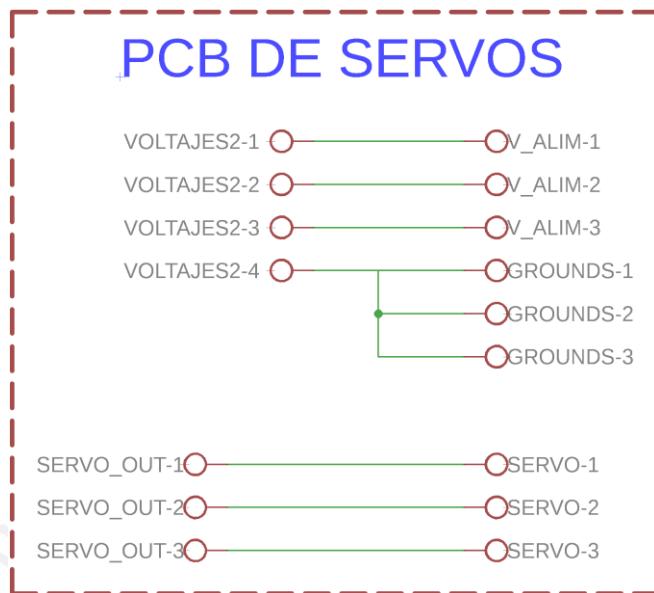


Figura 3- 35. Esquemático de servomotores.

Fuente: Elaboración propia.

Para el esquemático del control de temperatura (Figura 3-36) se hace uso del driver de temperatura MAX 6675 para convertir la temperatura leída a valores analógicos mediante comunicación SPI. Las borneras de la izquierda son para conectar la termocupla al driver mientras que las borneras de la derecha son para la conexión con el controlador.

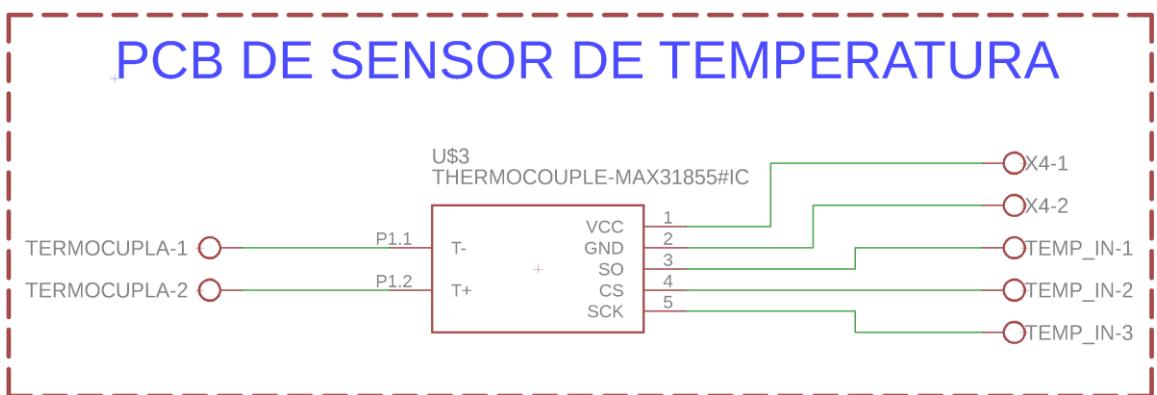


Figura 3- 36. Esquemático de sensor de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3-37 se presenta la placa electrónica para el control de potencia de la resistencia tubular aletada. Se hace uso de un dimmer para control de hasta 10kW de potencia. Como entrada se requiere el voltaje de alimentación de 5V y el pin para la señal de cruce por cero (zero crossing) y para la señal PWM. Mientras que las demás borneras son para la alimentación a 220 VAC monofásico y la resistencia.

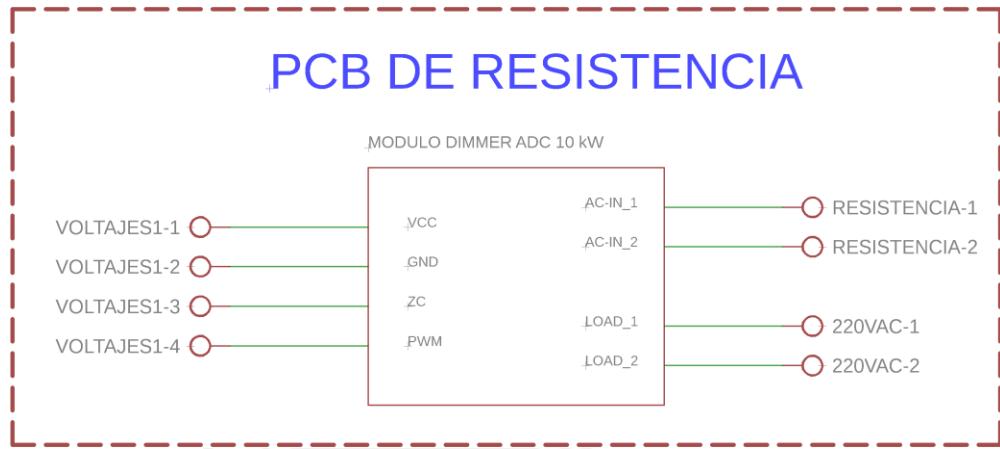


Figura 3- 37. Esquemático de sensor de resistencia. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el sensado de los granos en la tolva de descarga se diseña una PCB (Figura 3-38) con una resistencia en pull down junto al LDR para obtener la señal de existencia o no de granos. Además, se alimenta al diodo láser con el mismo voltaje (3.3 VDC).

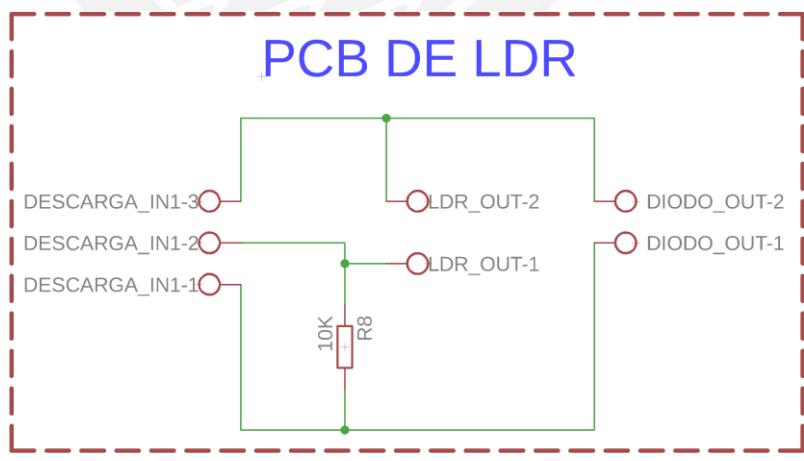


Figura 3- 38. Esquemático del LDR. Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo se realizó el diseño final del presente trabajo, se dividió la máquina en subsistemas para una mejor presentación. En cada subsistema se realizaron diversos cálculos para validar la selección de cada componente mecánico, eléctrico o electromecánico. Con los elementos ya definidos se procederá a plantear el costo total que involucra cada aspecto de la máquina.

CAPITULO 4

COSTOS DEL SISTEMA

En el capítulo anterior se definieron todos los componentes necesarios para el diseño de la máquina, con esa información, en el presente capítulo, se abordará todo lo relacionado a los costos del sistema. Se dividen los costos generales en costos por componentes, costos de programación y costos de diseño. En la Tabla 4-1 se muestra un resumen de los costos considerados divididos por aspectos y el costo total de la máquina.

Tabla 4- 1. Tabla de costos de componentes. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto	Costo
Componentes	S/11,677.30
Fabricación	S/8,024.00
Programación	S/600.00
Diseño	S/3,600.00
Total (Incluye IGV)	S/15,467.30

4.1 COSTO POR COMPONENTES

En las Tablas 4- 2 y 4- 3 se muestran todos los componentes del diseño con su respectivo precio y proveedor. Los precios totales están en moneda local (nuevos soles) incluyen gastos de envío e IGV.

Tabla 4- 2. Tabla de costos de componentes 1. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Proveedor	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Metro de tubo roscado 1 $\frac{1}{4}$ " SCH 40	Aceros Gominox	2	S/60.00	S/120.00
Metro de tubo roscado 2 $\frac{1}{2}$ " SCH 40		4	S/140.00	S/560.00
Codo 1 $\frac{1}{4}$ " x 90		2	S/15.00	S/30.00
Codo 2 $\frac{1}{2}$ " x 90		2	S/45.00	S/90.00
Yee 2 $\frac{1}{2}$ "		1	S/60.00	S/60.00
Tee 2 $\frac{1}{2}$ " x 90		1	S/65.00	S/65.00
Reducción 2 $\frac{1}{2}$ " a 1"		4	S/40.00	S/160.00
Reducción 1 $\frac{1}{4}$ " a 1"		4	S/18.00	S/72.00
Reducción 2" a 2 $\frac{1}{2}$ "		1	S/32.00	S/32.00
Metro de perfil Cuadrado 1" x 1.5 mm	GUIBAL	8	S/40.00	S/320.00

Tabla 4- 3. Tabla de costos de componentes 2. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Proveedor	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Chumacera de pared SKF 20 TF	-	2	S/70.00	S/140.00
Diodo láser 3.3 V	Naylamp	1	S/2.00	S/2.00
LDR	Electrónica YControl	1	S/2.00	S/2.00
Botón de parada de emergencia		1	S/10.00	S/10.00
Interruptor ON/OFF	-	1	S/10.00	S/10.00
Caja de control 0.4 m x 0.2 m x 0.1 m	-	1	S/200.00	S/200.00
Vidrio de borosilicato	Furukawa	1	S/500.00	S/500.00
MOTOR MON 4P CE 0.33HP IEC AL ML 711-4 IP56 KRAFTMANN	MOTOREX	1	S/66.00	S/66.00
BRIDA 71 AL SERIE-ML B5 KRAFTMANN		1	S/34.00	S/34.00
REDUCTOR SINFIN NMRV63-71B5 1/60 (0.5HP, 1.7) KRAFTMANN		1	S/157.00	S/157.00
Resistencia tubular 20 kW	B.J.V. RESISTEN CIAS ELÉCTRIC AS	1	S/400.00	S/400.00
Válvula ASCO 8220G027	Repuestos Industriales DENNIS	2	S/250.00	S/500.00
Termocupla tipo K	NAYLAMP	1	S/50.00	S/50.00
Módulo relé 4 canales	LINAK	1	S/20.00	S/20.00
Pistón LA22		1	S/200.00	S/200.00
HRC 301	REPUBLIC MANUFAC TURING	1	S/3,517.00	S/3,517.00
LCM1011-250	OMEGA	1	S/3,330.00	S/3,330.00
LCM1000-BP4		1	S/180.00	S/180.00
LCM1000-TP4		1	S/180.00	S/180.00
MIKROE-2289	MOUSER	1	S/554.00	S/554.00
Tiva C Series TM4C123GH6PM	PANDA PI	1	S/80.00	S/80.00
Fuente conmutada	CYCCOMP UTER	1	S/36.30	S/36.30
TOTAL (incluye IGV)			S/11,677.30	

4.2 COSTO DE FABRICACIÓN

A continuación, en las Tablas 4-4, 4-5, 4-6 y 4-7 se detallan los costos asociados a los procesos de fabricación por pieza o ensamble, se detalla el número de lámina, el nombre del plano y el costo. Adicionalmente, en el Anexo 6.11 se puede apreciar la proforma escaneada.

Tabla 4- 4. Lista de costos de fabricación 1. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Cantidad	Costo unitario	Costo total
L1	PLANCHA INFERIOR	1	S/80.00	S/80.00
L2	PLANCHA LATERAL 1	1	S/60.00	S/60.00
L3	PLANCHA LATERAL 2	1	S/70.00	S/70.00
L4	PLANCHA LATERAL 3	1	S/50.00	S/50.00
L5	PLANCHA LATERAL 4	1	S/60.00	S/60.00
L6	PLANCHA SUPERIOR	1	S/100.00	S/100.00
L7	PLANCHA PARA GARRUCHA	4	S/15.00	S/60.00
L8	TAPA DE DESCARGA	1	S/25.00	S/25.00
L9	PERFIL CUADRADO DE SOPORTE	4	S/30.00	S/120.00
L10	ESTRUCTURA INFERIOR	1	S/120.00	S/120.00
L11	ENSAMBLE ESTRUCTURA INFERIOR	1	S/120.00	S/120.00
L12	CILINDRO DE ABASTECIMIENTO	1	S/350.00	S/350.00
L13	CONO DE ABASTECIMIENTO	1	S/100.00	S/100.00
L14	ENSAMBLE DE ABASTECIMIENTO	1	S/85.00	S/85.00
L15	BORDE DE ENFRIADOR	1	S/250.00	S/250.00
L16	BASE DE ENFRIADOR	1	S/70.00	S/70.00
L17	PLANCHA DE SOPORTE	1	S/40.00	S/40.00
L18	PLANCHA PERFORADA	1	S/40.00	S/40.00
L19	BASE DE DESCARGA	1	S/120.00	S/120.00
L20	SUB ENSAMBLE DESCARGA	1	S/40.00	S/40.00
L21	SUB ENSAMBLE BASE ENFRIADOR	1	S/120.00	S/120.00
L22	ESTRUCTURA INFERIOR DE ENFRIADOR	1	S/70.00	S/70.00
L23	TUBO PARA PALETAS	1	S/20.00	S/20.00
L24	EJE DE PALETAS	2	S/15.00	S/30.00
L25	SUB ENSAMBLE PALETA	2	S/20.00	S/40.00
L26	EJE HEMBRA	1	S/120.00	S/120.00

Tabla 4- 5. Lista de costos de fabricación 2. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Cantidad	Costo unitario	Costo total
L27	SUB ENSAMBLE EJE HEMBRA	1	S/15.00	S/15.00
L28	ENSAMBLE EJE DE PALETAS	1	S/50.00	S/50.00
L29	ESTRUCTURA SOPORTE DE RODAMIENTOS	1	S/50.00	S/50.00
L30	PLANCHAS SOPORTE DE RODAMIENTO SUPERIOR	1	S/25.00	S/25.00
L31	PLANCHAS SOPORTE DE RODAMIENTO INFERIOR	1	S/40.00	S/40.00
L32	SUB ENSAMBLE SOPORTE RODAMIENTO	1	S/120.00	S/120.00
L33	EJE MACHO	1	S/20.00	S/20.00
L34	EJE PARA MOTOREDUCTOR	1	S/20.00	S/20.00
L35	ENSAMBLE ENFRIADOR	1	S/120.00	S/120.00
L36	CILINDRO DE CALENTADOR	1	S/150.00	S/150.00
L37	CONO DE CALENTADOR	1	S/60.00	S/60.00
L38	SUB ENSAMBLE CALENTADOR DE AIRE	1	S/80.00	S/80.00
L39	CILINDRO DE EXPULSIÓN	1	S/80.00	S/80.00
L40	CONO SUPERIOR DE EXPULSIÓN	1	S/80.00	S/80.00
L41	CONO INFERIOR DE EXPULSIÓN	1	S/80.00	S/80.00
L42	SUB ENSAMBLE TOLVA DE EXPULSIÓN	1	S/180.00	S/180.00
L43	CILINDRO PARA LECHO	1	S/120.00	S/120.00
L44	PLANCHAS SOPORTE DE CILINDRO PARA LECHO	3	S/50.00	S/150.00
L45	SUB ENSAMBLE CILINDRO PARA LECHO	1	S/60.00	S/60.00
L46	VIDRIO CILÍNDRICO	1	S/0.00	S/0.00
L47	ANILLO BASE PARA VIDRIO	2	S/40.00	S/80.00
L48	CILINDRO PARA BASE INFERIOR	1	S/90.00	S/90.00
L49	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO INFERIOR	1	S/150.00	S/150.00

Tabla 4- 6. Lista de costos de fabricación 3. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Cantidad	Costo unitario	Costo total
L50	CILINDRO PARA BASE SUPERIOR	1	S/120.00	S/120.00
L51	SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO SUPERIOR	1	S/180.00	S/180.00
L52	PLANCHAS SOPORTE DE SERVO	1	S/20.00	S/20.00
L53	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR 2	1	S/70.00	S/70.00
L54	TAPA SUPERIOR	1	S/30.00	S/30.00
L55	CONO DE CÁMARA DE TOSTADO	1	S/80.00	S/80.00
L56	PLANCHAS PARA TRANSPORTE 1	1	S/30.00	S/30.00
L57	PLANCHAS PARA TRANSPORTE 2	1	S/20.00	S/20.00
L58	SUB ENSAMBLE TAPA PARA TRANSPORTE	1	S/30.00	S/30.00
L59	ENSAMBLE BISAGRA PARA TRANSPORTE	1	S/30.00	S/30.00
L60	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 1	1	S/30.00	S/30.00
L61	TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 2	1	S/30.00	S/30.00
L62	PLANCHAS PARA BRACKET DE SERVO	1	S/60.00	S/60.00
L63	SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR PARA TRANSPORTE	1	S/80.00	S/80.00
L64	PLANCHAS LATERAL PARA TRANSPORTE	1	S/20.00	S/20.00
L65	PLANCHAS SUPERIOR PARA TRANSPORTE	1	S/20.00	S/20.00
L66	PLANCHAS INCLINADA PARA TRANSPORTE	1	S/20.00	S/20.00
L67	PLANCHAS INFERIOR PARA TRANSPORTE	1	S/20.00	S/20.00
L68	SUB ENSAMBLE CUBIERTA DE TRANSPORTE	1	S/50.00	S/50.00
L69	SUB ENSAMBLE CÁMARA DE TOSTADO	1	S/150.00	S/150.00
L70	ENSAMBLE TOSTADORA	1	S/60.00	S/60.00
L71	ANILLO DE EXPULSIÓN	1	S/40.00	S/40.00

Tabla 4- 7. Lista de costos de fabricación 4. Fuente: Elaboración propia.

Nro. de lámina	Nombre de plano	Cantidad	Costo unitario	Costo total
L72	SUB ENSAMBLE BANDEJA DE EXPULSIÓN	1	S/180.00	S/180.00
L73	SOPORTE PANEL DE CONTROL	1	S/120.00	S/120.00
L74	ENSAMBLE PANEL DE CONTROL	1	S/70.00	S/70.00
L75	ENSAMBLE SOPLADOR DE AIRE	1	S/120.00	S/120.00
L76	TOLVA DE DESCARGA	1	S/220.00	S/220.00
L77	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 1	2	S/10.00	S/20.00
L78	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 2	2	S/10.00	S/20.00
L79	PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 3	2	S/15.00	S/30.00
L80	ESTRUCTURA SOPORTE DE DESCARGA	1	S/80.00	S/80.00
L81	ENSAMBLE DE DESCARGA	1	S/300.00	S/300.00
L82	PLANCHAS SOPORTE SOPLADOR	1	S/20.00	S/20.00
L83	ENSAMBLE TOSTADORA DE AIRE CALIENTE	1	S/250.00	S/250.00
TOTAL (no incluye IGV)				S/6,800.00
TOTAL (incluye IGV)				S/8,024.00

4.3 COSTOS DE PROGRAMACIÓN

Un costo estimado para realizar la programación de la lógica del sistema es asignar un costo aproximado de S/. 20.00 por hora (superior al costo por hora del sueldo mínimo) y considerando un tiempo de 30 horas en la elaboración del código en software y la prueba en la máquina a fin de verificar el funcionamiento. El costo de programación es de S/. 600.00.

4.4 COSTOS DE DISEÑO

El diseño del presente trabajo ha tomado un tiempo de aproximadamente 15 horas semanales durante 12 semanas (horario efectivo según el calendario académico de la universidad), es decir 180 horas. A un costo de hora-hombre de S/. 20.00, el costo total por este aspecto es de S/. 3600.00.



CONCLUSIONES

- Se consiguió diseñar una tostadora para granos de quinua de aire caliente, siendo este el objetivo principal del presente trabajo. Además, el objetivo plantea que esta máquina sea autónoma, pero en la industria hay casos en los que ocurren imprevistos o decisiones del propio usuario que ameritan también su uso de forma manual. Por tanto, se logró realizar una lógica para este caso en donde el usuario final tiene la posibilidad de controlar de forma manual los parámetros más importantes para el tostado de granos de quinua como son la temperatura, el tiempo de tostado y el tiempo de enfriado posterior.
- En el presente proyecto se han analizado los productos y las tecnologías actuales relacionadas al tostado de granos de manera exhaustiva y rigurosa, lo que ha permitido identificar la ausencia de fabricantes nacionales y extranjeros de equipos de tostado que brinden una solución dirigida a las exigencias de diseño requeridas. Esta información fue imprescindible para lograr definir la problemática.
- Las dimensiones del diseño de la tostadora permanecen dentro de los límites propuestos inicialmente en la lista de exigencias. Asimismo, se ha considerado el tamaño promedio entre varones y mujeres del Perú para ubicar ergonómicamente el panel de control. Por otro lado, debido a los diferentes subsistemas con los que cuenta la tostadora, el peso del subsistema es elevado; sin embargo, las garruchas en la parte inferior de la máquina permiten y alivianan el traslado provisional para un sencillo mantenimiento.
- Para cumplir con la propuesta de solución elegida, se realizó una selección de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, adecuados a las condiciones de operación del tostador. En el caso particular de los sensores de temperatura, estos deben trabajar de forma no invasiva sobre los granos, para garantizar la inocuidad y no generar perturbaciones sobre el proceso. Así, con la selección de los componentes se halló un costo total considerando otros factores como los costos de programación y diseño obteniendo un total de S/. 15467.30.

- El modelo tridimensional de la propuesta final, realizado con un software especializado CAD, fue desarrollado considerando los cálculos y restricciones mecánicas permitiendo respaldar el diseño de las piezas mecánicas modificadas y adaptadas al equipo. Sin embargo, los resultados obtenidos por computadora se analizaron de acuerdo a los instrumentos de validación aprendidos durante la carrera universitaria para disminuir la posibilidad de errores.



RECOMENDACIONES

- Los parámetros PID (k_p , k_d y k_i) para el control de temperatura se deben sintonizar luego de realizar pruebas experimentales. Es importante iniciar con el conocimiento maestro de los operarios que ya dominan el proceso de tostado de granos. Mediante pruebas en tostadoras artesanales se puede encontrar el tiempo que demora tostar 10 kg de granos de quinua a una temperatura determinada, los granos obtenidos que no presenten quemaduras son válidos y la data utilizada para hallar los valores del PID, por ejemplo, a través del método Ziegler-Nichols.
- La programación del controlador, así como el diseño de la interfaz de usuario son actividades de un trabajo posterior luego de la implementación. La programación deberá contar con interrupciones debido a que suceden eventos en paralelo, por ejemplo, en caso de emergencias o un funcionamiento no deseado del equipo durante el proceso, se deben detener todas las acciones y advertir al operario.
- La adaptación del diseño para otros valores de procesamiento en la cámara de tostado está directamente ligado al dimensionamiento general, así como a la presión del soplador de aire. Por tanto, las configuraciones de los subsistemas permanecen en las posiciones tal como se ha diseñado en el capítulo 3.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] REDACCIÓN GESTIÓN, “Exportaciones peruanas de granos andinos crecieron 167% por mayor de EE.UU. y Canadá,” 2014. [Online]. Available: www.gestion.pe/economia/exportaciones-peruanas-granos-andinos-crecieron-167-mayor-ee-uu-canada-151044. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [2] Redacción LR, “Perú mantiene el liderato mundial en producción y exportación de quinua,” 2017. [Online]. Available: www.larepublica.pe/economia/1162520-peru-mantiene-el-liderato-mundial-en-produccion-y-exportacion-de-quinua. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [3] VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, “VDI-Standard: VDI 2206 Design methodology for mechatronic systems,” 2004.
- [4] VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, “VDI-Standard: VDI 2221 Systematic approach to the development and design of technical systems and products,” 1993.
- [5] K. Muñoz, E. G. Álvarez, L. E. García, D. R. Cárdenas, and M. A. Lupaca, “Mejoramiento de la eficiencia operativa de un tostador de granos y cereales andinos mediante la incorporación de un sistema de control que permita regular el comportamiento del sistema,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2018.
- [6] REDACCIÓN GESTIÓN, “Mapa de la estatura: ¿Los peruanos estamos entre los más altos o los más bajos en el mundo?,” Lima, 27-Jul-2016.
- [7] MINSA, “ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN.” [Online]. Available: www.minsa.gob.pe/portalweb/06prevencion/prevencion_2.asp?sub5=2. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [8] REDACCIÓN GESTIÓN, “Minagri impulsa duplicar el consumo de granos andinos en los próximos cinco años,” 2017. [Online]. Available: www.gestion.pe/economia/minagri-impulsa-duplicar-consumo-granos-andinos-proximos-cinco-anos-138664. [Accessed: 16-Mar-2018].
- [9] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Propiedades nutricionales.” [Online]. Available: <http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinua/alimento-nutritivo/en/>. [Accessed: 15-Mar-2018].
- [10] INDUSTRIA DE GRANOS DEL PERU S.A.C, “Tostado.” [Online]. Available: www.industriadegranos.com.pe/tostado.html. [Accessed: 16-Mar-2018].
- [11] A. D. Bolanos, “TUESTE DEL CAFÉ Y PERFILES DE CAFÉ, LOS MÉTODOS, CRITERIOS, TOSTADORES, LA TAZA, EL CAFÉ ESPRESSO,” 2014.

- [Online]. Available: www.cafeperfilestueste.wordpress.com/category/tostadores-de-cafe/. [Accessed: 20-Mar-2018].
- [12] ForumCafé, "Un Paseo por la historia del tueste de café," 2011.
- [13] Dirección General de Políticas Agrarias DGPA - MINAGRI, "La Quinua: Producción y Comercio del Perú," pp. 1–8, 2017.
- [14] CALEFI, "TOSTADOR DE 10.00 KGS/CICLO. MOD. TAURO/10KG." [Online]. Available: www.cafeli.com.mx/es/equipos/tostadores/243-tostador-de-10-00-kgs-ciclo-mod-tauro. [Accessed: 20-Mar-2018].
- [15] Cafeterías Café, "Tostador de aire caliente 10 Kg." [Online]. Available: www.cafeteriascafe.com/index/op/prod/id/tostador_de_aire_caliente_10_kg.html. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [16] W. Medina, "Determinación de las propiedades físicas, mecánicas y termales de Quinua (*Chenopodium quinoa* wild) variedad Blanca de Juli y Kamiri," Chile, 2000.
- [17] C. Condorhuamán, "SECADO DE GRANOS I: PÉRDIDA DE PRESIÓN EN LECHO SURTIDOR," Lima, 2002.
- [18] Y. Çengel and J. Cimbala, Mecánica de fluidos, 2nd ed. McGraw-Hill, 2012.
- [19] SUNAT, "TRIBUTOS QUE GRAVAN LA IMPORTACIÓN," 2011. [Online]. Available: www.aduanet.gob.pe/aduanas/informag/tribadua.htm. [Accessed: 27-Mar-2018].
- [20] MASKAFÉ, "TOSTADOR DE AIRE." [Online]. Available: www.maskafe.com/maskafe--tostadores.html. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [21] LA SOLEDAD, "Tostador de Café de Aire Caliente." [Online]. Available: www.maquinaria-lasoledad.com/index.php/catalogo-de-equipos-solo-las-mejores-marcas/equipos-en-general/todo-para-el-cafeticultor/62-tostadores-para-cafe/154-tostador-de-cafe-de-aire-caliente.html. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [22] R. C. Sewell, "FLUIDIZED BED COFFEE ROASTER," 5,394,623, 1993.
- [23] J. L. Murray, "Coffee roaster," 4484064, 1982.
- [24] C. A. Álvarez, "Propuesta de automatización del proceso de tostación de café en lecho fluidizado," 2014.
- [25] J. Fraden, Handbook of modern sensors - Physics, Designs, and Applications (Fifth Edition). Switzerland,: Springer International publishing, 2016.
- [26] J. R. Leigh, Temperature Measurement & Control. Londres: Peter Peregrinus Ltd, 1998.
- [27] J. F. Schooley, TEMPERATURE Its Measurement and Control in Science and

- Industry. New York: American Institute of Physics, 1982.
- [28] J. G. Webster and H. Eren, Measurement, instrumental, and Sensors Hanbook, Second edition: Spaial, Mechanical, Thermal, and Radiation Measurement. CRC Press, 2014.
- [29] G. K. McMillan, Advanced Temperature and Control (Second Edition). United States of America: International Society of Automation, 2010.
- [30] G. Gautschi, Piezoelectric Sensorics: force, strain, pressure, acceleration and acoustic emission sensors, materials and amplifiers. Springer-Verlag Berlin Hidelberg, 2002.
- [31] L. M. Sobrino, "Cómo funciona un presostato electromecánico," 2014. [Online]. Available: www.bloginstrumentacion.com/blog/2014/05/16/cmo-funciona-presostato-electromagnitico. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [32] J. C. Sanchis, "La Sonda de Ionización," 2016. [Online]. Available: www.calderasformacion.com/la-sonda-de-ionizacion. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [33] SELCOM Sistemas Electrónicos de Control LTDA, ELECTRÓDO PARA SENSOR DE PRESENCIA DE LLAMA. Sao Paulo, 2014.
- [34] CONTROLES SA, RELE DE LLAMA. Montevideo, 2003.
- [35] NOTIFIER FIRE SYSTEMS, GUÍA PARA LA CORRECTA ELECCIÓN DE UN DETECTOR DE LLAMA SEGÚN SU APLICACIÓN. 1998.
- [36] T. Hegbom, Integrating Electrical Heating Elements in Product Design, 1st ed. CRC Press, 1997.
- [37] J. Florian, Practical Thermoforming: Principles and Applications, 2nd ed. CRC Press, 1996.
- [38] F. Yeaple, Fluid Power Design Handbook, Third Edit. CRC Press, 1995.
- [39] enelson@compressor-pump.com, "Main Types of Blowers," 2017. [Online]. Available: <http://www.compressor-pump.com/5-main-types-blowers>. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [40] DELTA, "nverters - AC Motor Drives." [Online]. Available: www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060101&PID=ALL&hl=en-US#. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [41] ELECTRÓNICA UNICROM, "Dimmer / Control de velocidad de motor AC con triac," 2015. [Online]. Available: www.unicrom.com/dimmer-control-de-velocidad-motor-ac-con-triac. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [42] B. Nesbitt, Handbook of Valves and Actuators. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.
- [43] SMC CORPORATION, "Electroválvula proporcional compacta." .

- [44] J. Baillieul and T. Samad, Encyclopedia of Systems and Control. Londres: Springer London, 2015.
- [45] M. E. Díaz, “PID COMO ESTRATEGIA DE CONTROL,” 2009. [Online]. Available: <http://www.teoriadecontrol.blogspot.pe/2009/11/pid-como-estrategia-de-control.html>. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [46] NATIONAL INSTRUMENTS, “¿Qué es NI myRIO?” .
- [47] J. Xu, J. Zhang, and K. Kuang, Conveyor Belt Furnace Thermal Processing, 1st ed. Springer International Publishing, 2018.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ANEXOS

**TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA
MEDIANTE AIRE CALIENTE**

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

Mario Alberto Lupaca Flores

ASESORA: MSc. Karol Muñoz Salas

Lima, enero del 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. LISTA DE EXIGENCIAS	1
2. ESTRUCTURA DE FUNCIONES	5
3. MATRIZ MORFOLÓGICA.....	6
4. CONCEPTOS DE SOLUCIÓN	11
5. PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN.....	22
6. DIAGRAMAS DE FLUJO	27
7. ANEXOS	34
7.1. TIVA™ C SERIES TM4C123G LAUNCHPAD EVALUATION BOARD (EK-TM4C123GXL)	34
7.2. INTERFAZ MIKRO-2289	37
7.3. HRC301 REGENERATIVE BLOWER.....	38
7.4. VÁLVULA SOLENOIDE PARA AGUA CALIENTE Y VAPOR, NORMALMENTE CERRADA 1 1/4"	40
7.5. VÁLVULA MARIPOSA.....	42
7.6. RESISTENCIA TUBULAR ALETADA	45
7.7. OTORREDUCTOR ½ HP	46
7.8. CELDA DE CARGA CBX.....	47
7.9. TERMOCUPLA TIPO K	48
7.10. PISTÓN ELÉCTRICO.....	50
7.11. PROFORMA DE FABRICACIÓN.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3- 1. Vista frontal de concepto de solución 1.....	11
Figura 3- 2. Enfriador manual de concepto de solución 2.	12
Figura 3- 3. Vista frontal de concepto de solución 2.....	13
Figura 3- 4. Vista auxiliar de enfriador del concepto de solución 2.....	14
Figura 3- 5. Vista auxiliar de mecanismo de transporte de granos desde tostador a enfriador del concepto de solución 2.....	15
Figura 3- 6. Vista general de concepto de solución 3.....	16
Figura 3- 7. Vista superior sin cubierta de solución 3.....	17
Figura 3- 8. Vista superior con cubierta de solución 3.....	18
Figura 3- 9. Vista posterior de solución 3.....	19
Figura 3- 10. Vista de cámara de tostado en solución 3.	20
Figura 3- 11. Vista de enfriador en solución 3.....	21
Figura 4- 1. Peso de recipiente cilíndrico vacío.....	23
Figura 4- 2. Esquema de elementos.	23
Figura 4- 3. Peso de recipiente con 200 g de quinua y altura medida.	24
Figura 4- 4. Gráfico de relación entre volumen y peso de granos de quinua.	26
Figura 5- 1. Subprograma “Inicialización de variables”.	27
Figura 5- 2. Subprograma “Modo manual”	28
Figura 5- 3. Subprograma “Modo automático”..	29
Figura 5- 4. Subprograma “Condiciones pretostado”.....	30
Figura 5- 5. Subprograma “Ingreso de granos”.....	31
Figura 5- 6. Subprograma “Enfriar manual”.....	32
Figura 5- 7. Subprograma “Enfriar automático”.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4- 1. Tabla de medición.....	23
Tabla 4- 2. Tabla de resultados.....	25



1. LISTA DE EXIGENCIAS

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 1 de 4
			Edición: 7
PROYECTO:		TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA MEDIANTE AIRE CALIENTE	
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
25/06/2018	E	FUNCION PRINCIPAL: Tostar granos de quinua mediante aire caliente con una capacidad de producción de 10 kg/ciclo. Se realizará el control de la temperatura, la velocidad de flujo de aire y el tiempo de tostado.	LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
	E	GEOMETRÍA: Las dimensiones de la máquina no deben exceder los 2m x 2m x 1.5m	
	E	MATERIAL: <ul style="list-style-type: none"> Resistentes a la humedad y temperaturas medias (a 150 °C) y altas (250 °C). Se deben usar materiales que cumplan con las normas para el procesamiento de alimentos (ANSI/NSF 51) 	
	E	MATERIA: <ul style="list-style-type: none"> El producto de entrada serán granos de quinua con un peso máximo de 100 kg-f. Se utilizará aire para la transferencia de calor. Presencia de vapor residual producto proceso. Se obtendrán granos tostados y enfriados 	
	E	CINEMÁTICA: <ul style="list-style-type: none"> Granos de tostados suspendidos en lecho fluidizado por aire caliente. La carga y descarga del producto será manual. 	

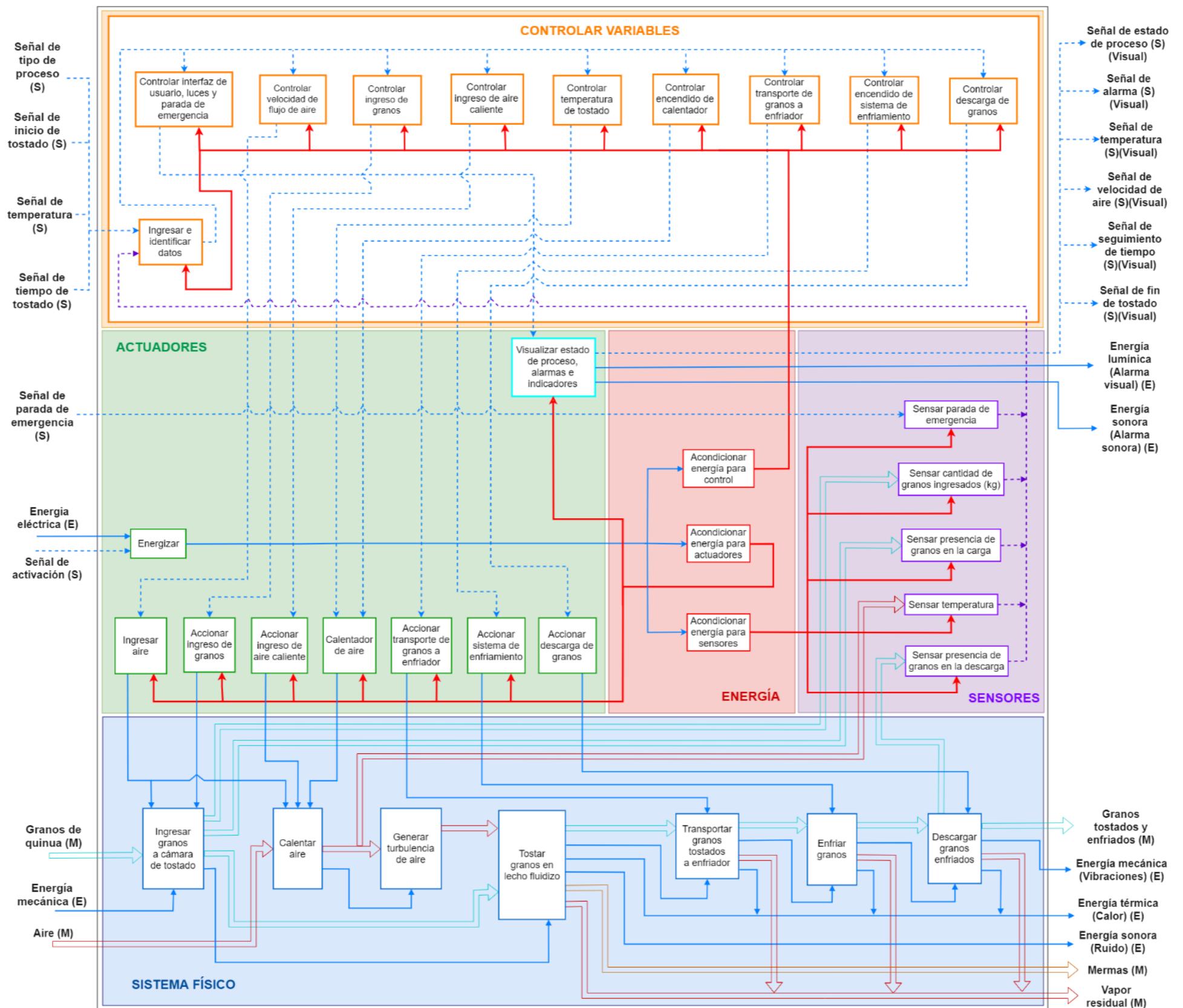
LISTA DE EXIGENCIAS				HOJA 2 de 4
				Edición: 7
PROYECTO:		TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA MEDIANTE AIRE CALIENTE		Fecha: 24/01/2019 Revisado: 22/01/2019
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado: LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN		RESPONSABLE
25/06/2018	E	FUERZA: <ul style="list-style-type: none"> La fuerza que ejerce el producto por su propio peso no debe exceder los 10 kg-f. Las fuerzas aplicadas en la cámara de tostado y el enfriador no deben dañar la composición interna del grano tostado. 	LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO	
	D	ENERGIA: <ul style="list-style-type: none"> Se ingresará energía mecánica, térmica y eléctrica. Se expulsará energía mecánica, térmica, sonora y lumínica producto del proceso. 		
	E	SOFTWARE: Se debe asegurar que la codificación garantice el correcto funcionamiento de los equipos de control y electrónicos, todos los códigos desarrollados deberán estar debidamente documentados y programados en softwares de código abierto.		
	E	COMUNICACIÓN: La comunicación entre la máquina y el operario debe ser intuitiva a fin de evitar errores en el uso.		
	E	SEÑALES: <ul style="list-style-type: none"> Se ingresarán las siguientes señales: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Señal de activación. ✓ Señal de inicio de tostado. Se obtendrán las siguientes señales: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Señal de estado de proceso. ✓ Señal de alarma. ✓ Señal de temperatura. ✓ Señal de velocidad ✓ Señal de seguimiento de tiempo. ✓ Señal de fin de tostado. 		

LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 3 de 4
			Edición: 7
PROYECTO:		TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA MEDIANTE AIRE CALIENTE	Fecha: 24/01/2019 Revisado: 22/01/2019
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	Elaborado: LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
25/06/2018	E	<p>USO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener la capacidad de ser empleado en cualquier ambiente de trabajo (industrias alimenticias) con la debida ventilación. • Condiciones de operación: Temperatura interna no mayor a 250 °C, ambiental no mayor a 30 °C, humedad no mayor al 90 %. 	LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
	E	<p>CONTROL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La máquina deberá ser encendida y apagada manualmente, en caso de emergencia el operario también puede detener la máquina. • Implementar un control de temperatura. • Implementar un control de velocidad. • Controlar la interfaz de la máquina con el usuario. • Implementar un control de enfriamiento. 	
	E	<p>SEGURIDAD:</p> <p>Deberán cumplirse con las normas contempladas en la ley No 29783 (Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo). También se buscará seguir la norma OHSAS 18001 que gestiona la Seguridad y Salud en el Trabajo.</p>	
	E	<p>CONTROL DE CALIDAD:</p> <p>Los sensores de temperatura deben tener una precisión de ± 2 °C durante todo el proceso.</p> <p>El tiempo de tostado no debe exceder los 10 minutos.</p>	
	D	<p>MONTAJE:</p> <p>Diseño desmontable solo para fines de mantenimiento.</p>	

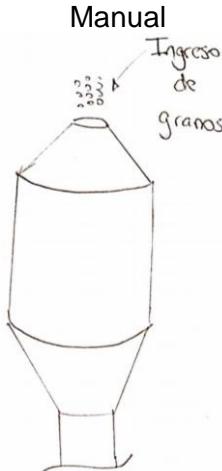
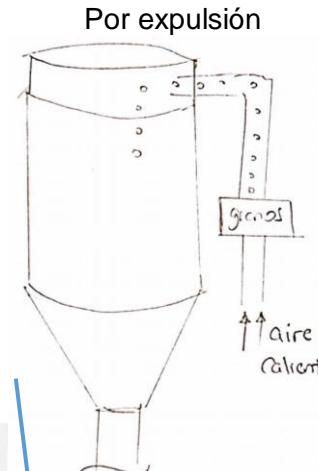
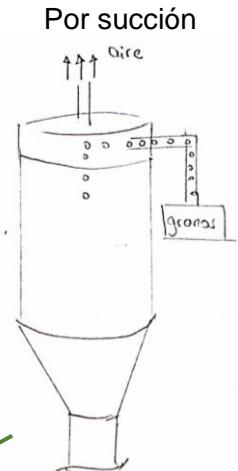
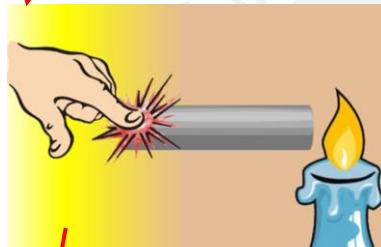
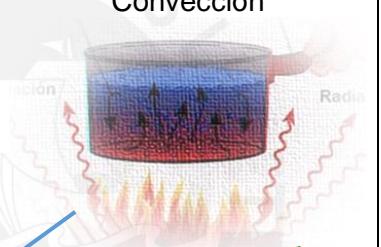
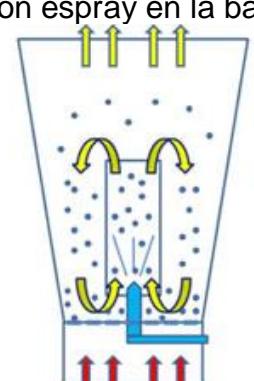
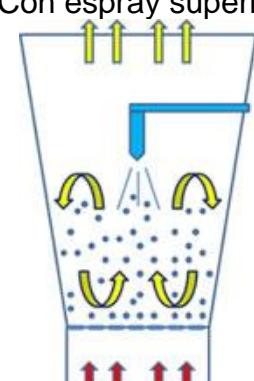
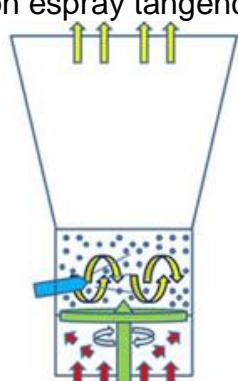
LISTA DE EXIGENCIAS			HOJA 4 de 4 Edición: 7
PROYECTO:		TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA MEDIANTE AIRE CALIENTE	Fecha: 24/01/2019 Revisado: 22/01/2019
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	Elaborado: LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
25/06/2018	D	MANTENIMIENTO: Mantenimiento anual para el actuador que genera el aire caliente.	LUPACA FLORES, MARIO ALBERTO
	D	FABRICACIÓN: La fabricación de la tostadora se situará en un solo lugar para facilitar el ensamblado de componentes.	

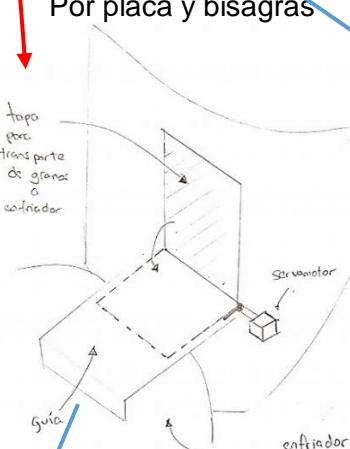
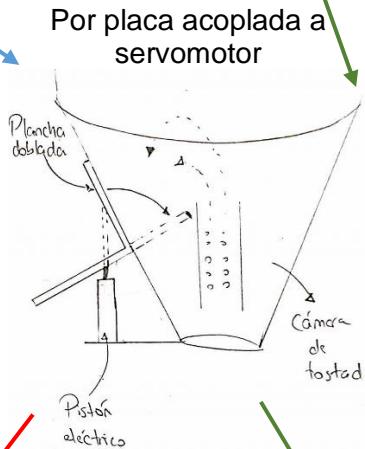
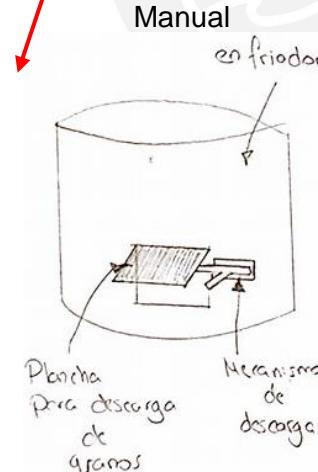
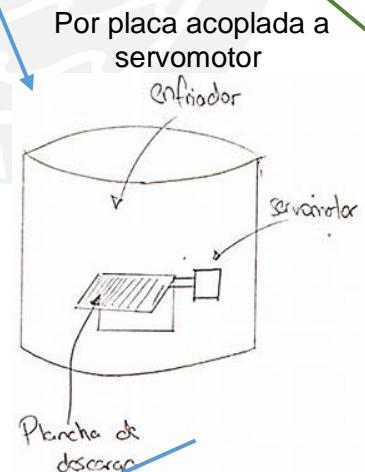
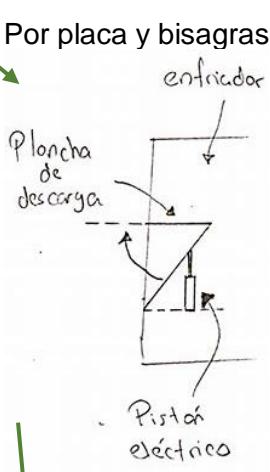


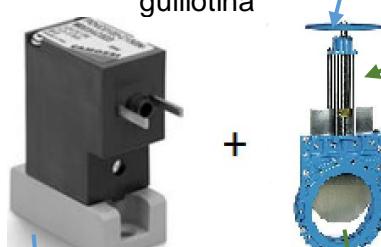
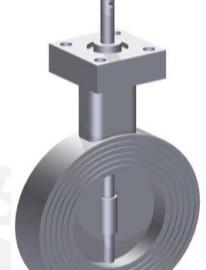
2. ESTRUCTURA DE FUNCIONES

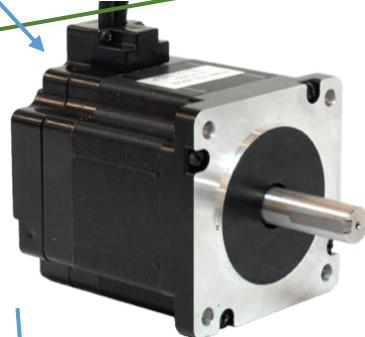
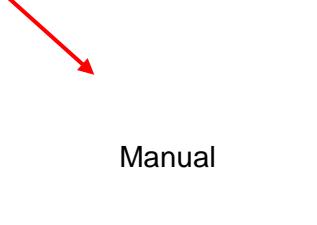


3. MATRIZ MORFOLÓGICA

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Ingresar granos a cámara de tostado	<p>Manual</p> 	<p>Por expulsión</p> 	<p>Por succión</p> 
Calentar aire	<p>Conducción</p> 	<p>Convección</p> 	<p>Radiación</p> 
Generar turbulencia de aire	<p>Álabes y eje</p> 		
Tostar granos en lecho fluidizado	<p>Con espray en la base</p> 	<p>Con espray superior</p> 	<p>Con espray tangencial</p> 

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Transportar granos tostados a enfriador	<p>Por placa y bisagras</p> 	<p>Por placa acoplada a servomotor</p> 	
Enfriar granos	<p>Refrigeración por agitación</p> 	<p>Tina de enfriamiento</p> 	
Descargar granos enfriados	<p>Manual</p> 	<p>Por placa acoplada a servomotor</p> 	<p>Por placa y bisagras</p> 
Soplador de aire	<p>Soplador de vórtice</p> 	<p>Soplador centrífugo</p> 	<p>Succionador por vacío</p> 

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Accionar ingreso de granos	 <p>Válvula solenoide y de guillotina</p>	 <p>Válvula proporcional y de guillotina</p>	Manual
Accionar ingreso de aire caliente	 <p>Válvula solenoide</p>	 <p>Válvula proporcional</p>	
Calentador de aire	 <p>Calentador de cartucho</p>	 <p>Tubular con aletas</p>	
Accionar transporte de granos a enfriador	 <p>Pistón eléctrico</p>	 <p>Servomotor</p>	 <p>Actuador lineal</p>
Accionar sistema de enfriamiento	 <p>Motor AC</p>	 <p>Motor DC</p>	Manual

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Accionar descarga de granos	 <p>Pistón eléctrico</p>	 <p>Servomotor</p>	 <p>Manual</p>
Energizar	 <p>Interruptor rotativo</p>	 <p>Interruptor automático</p>	
Acondicionar energía para control	 <p>Fuente lineal</p>	 <p>Fuente comutada</p>	
Acondicionar energía para actuadores	 <p>Fuente lineal</p>	 <p>Fuente comutada</p>	
Acondicionar energía para sensores	 <p>Fuente lineal</p>	 <p>Fuente comutada</p>	

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Sensar peso de granos ingresados	Celda de carga	Sensor capacitivo	Sensor óptico
Sensar presencia de granos	Celda de carga	Sensor óptico	Sensor capacitivo
Sensar temperatura	Termocupla tipo k	RTD de platino	Termistor PTC
Controlar variables	PLC	PID industrial	Sistema embebido
Visualizar estado de proceso, alarmas e indicadores	HMI	Pantalla TFT	

4. CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

CONCEPTO 1

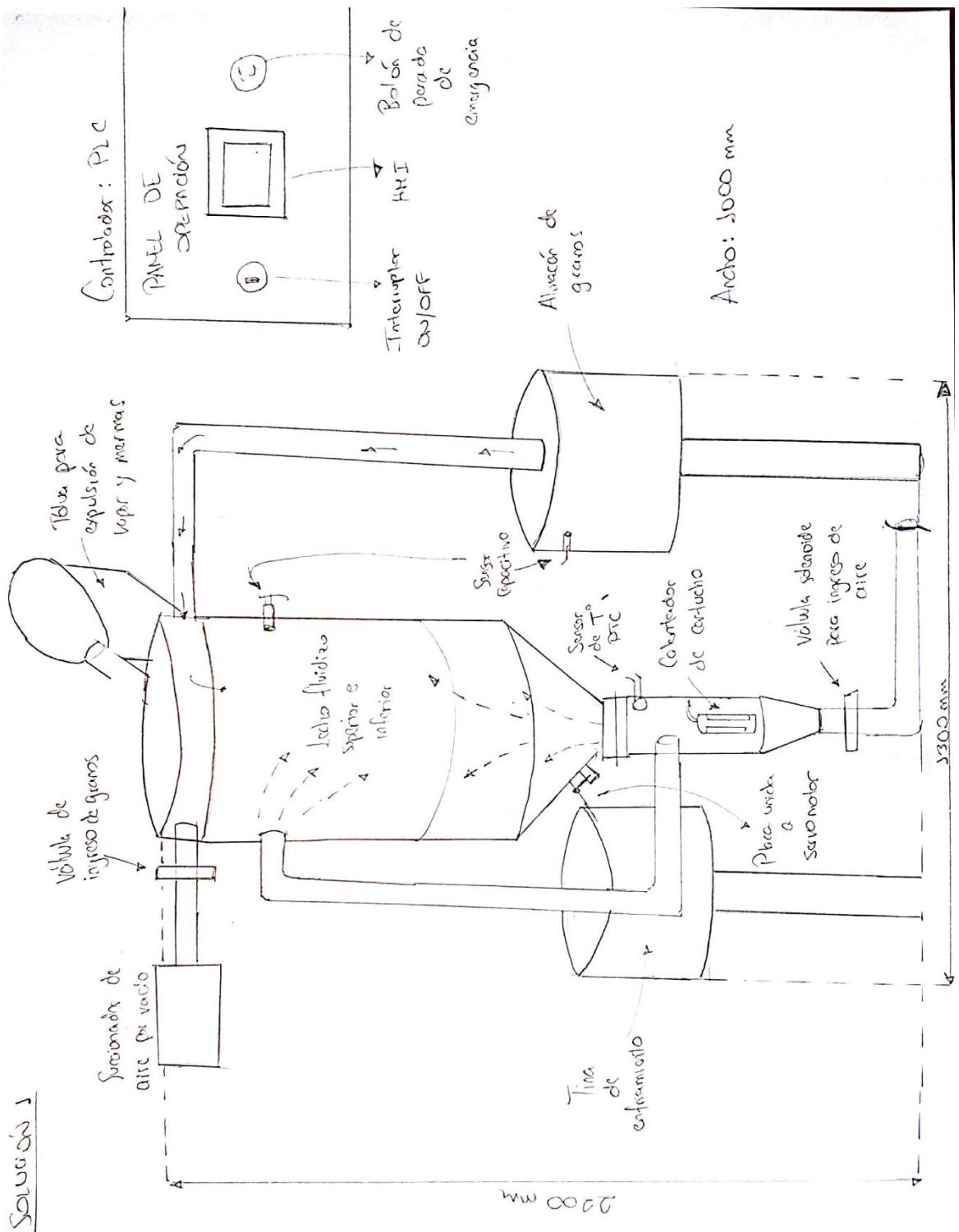


Figura 3- 1. Vista frontal de concepto de solución 1. Fuente: Elaboración propia.

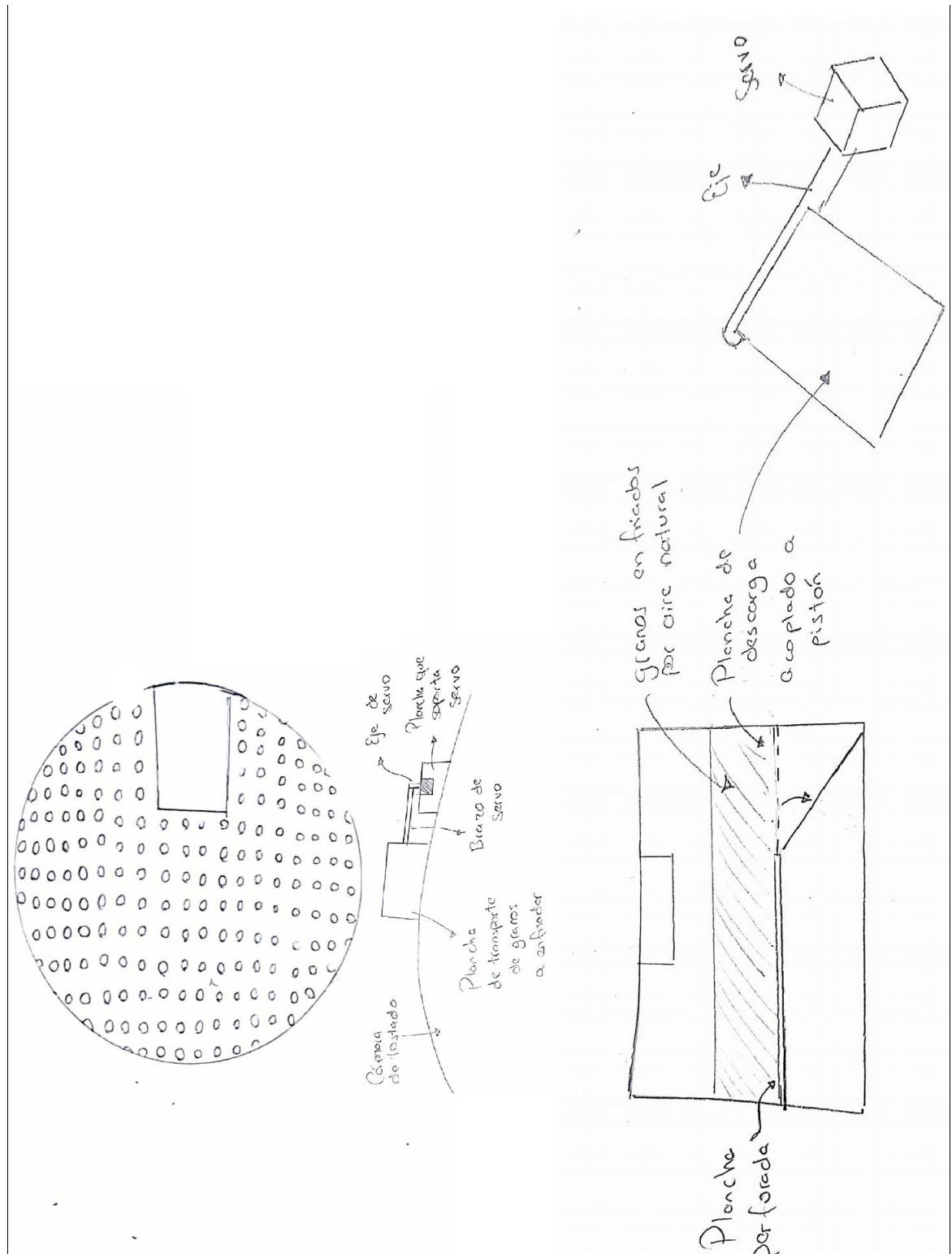


Figura 3- 2. Enfriador manual de concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia.

CONCEPTO 2

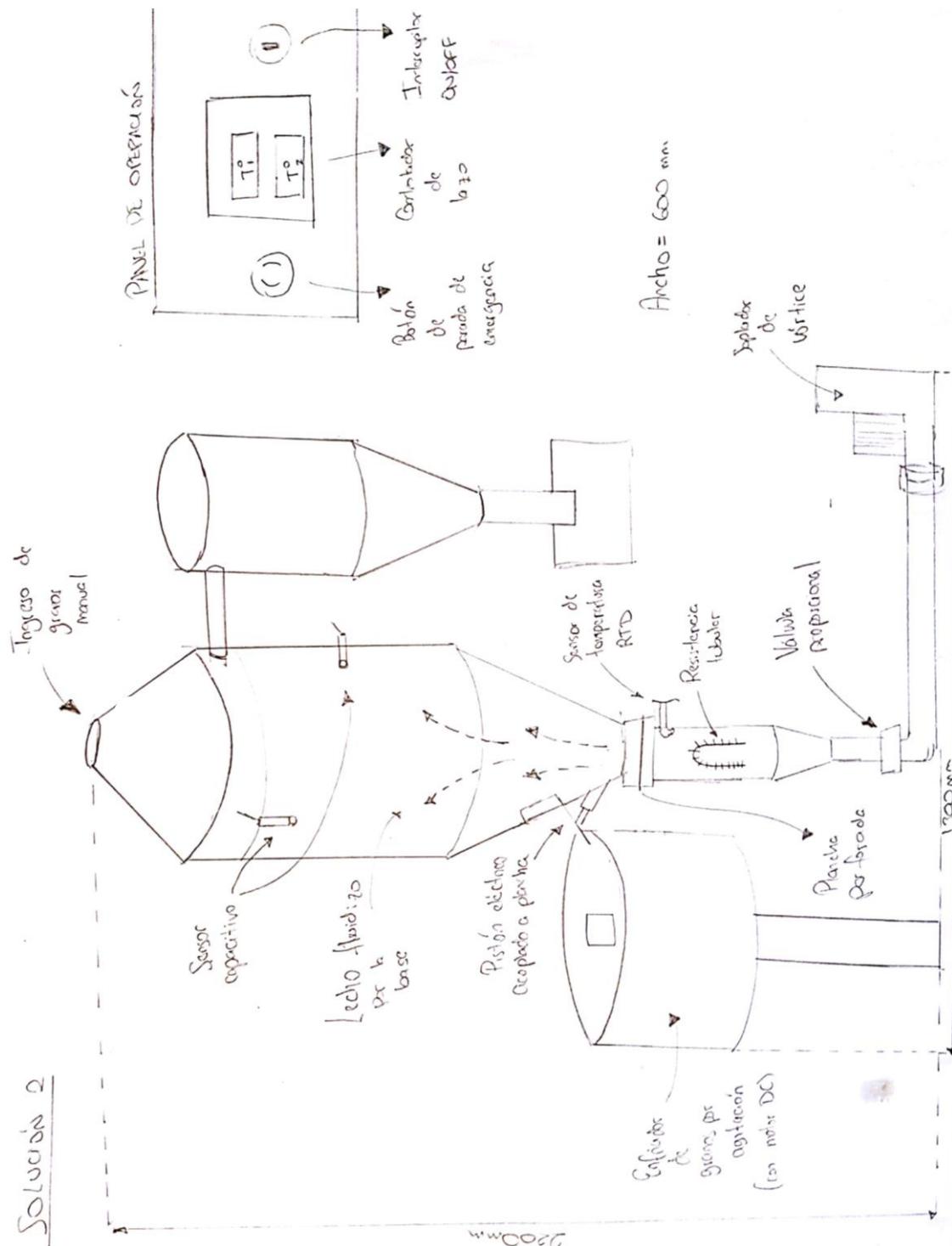


Figura 3- 3. Vista frontal de concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia.

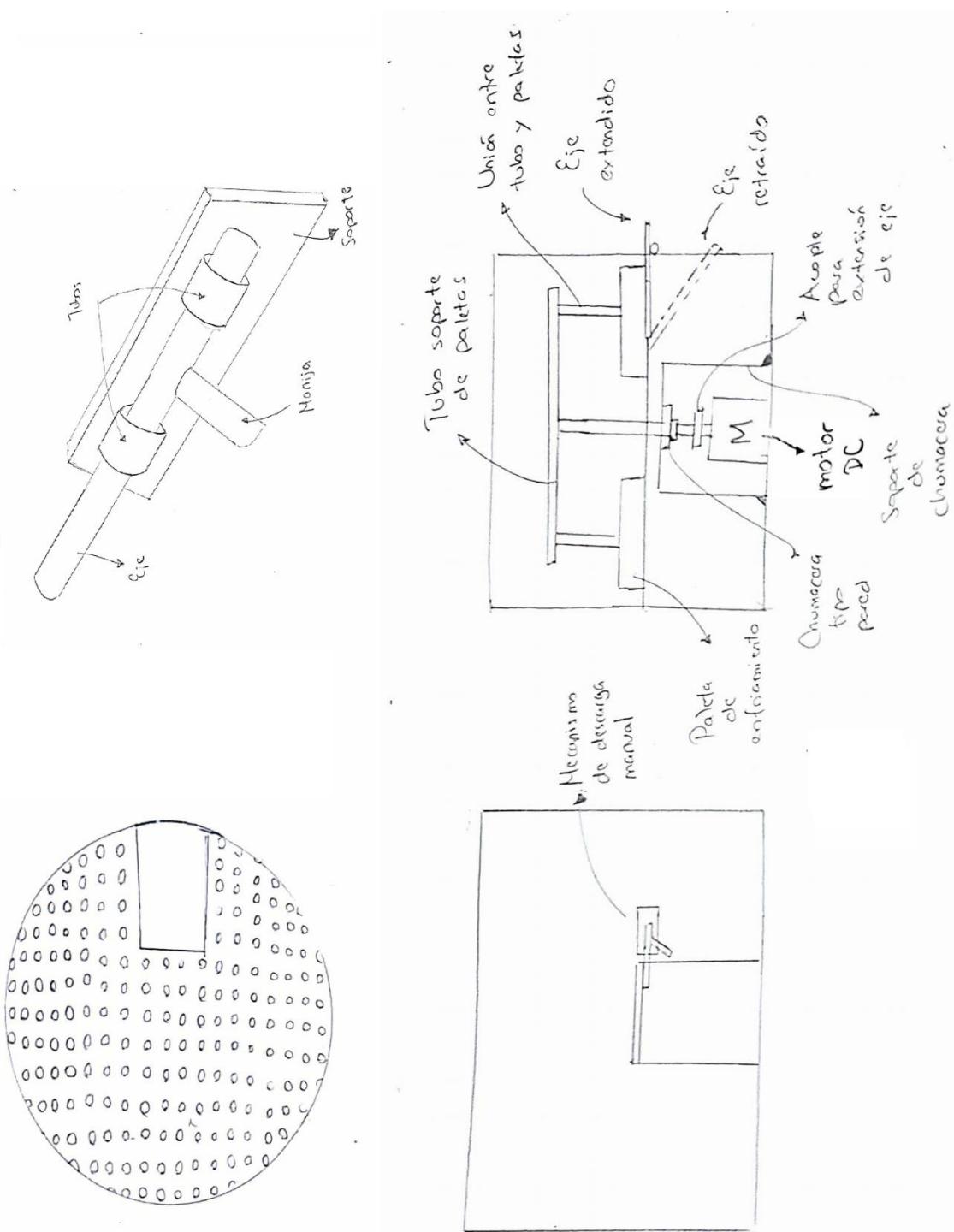


Figura 3- 4. Vista auxiliar de enfriador del concepto de solución 2.
Fuente: Elaboración propia.

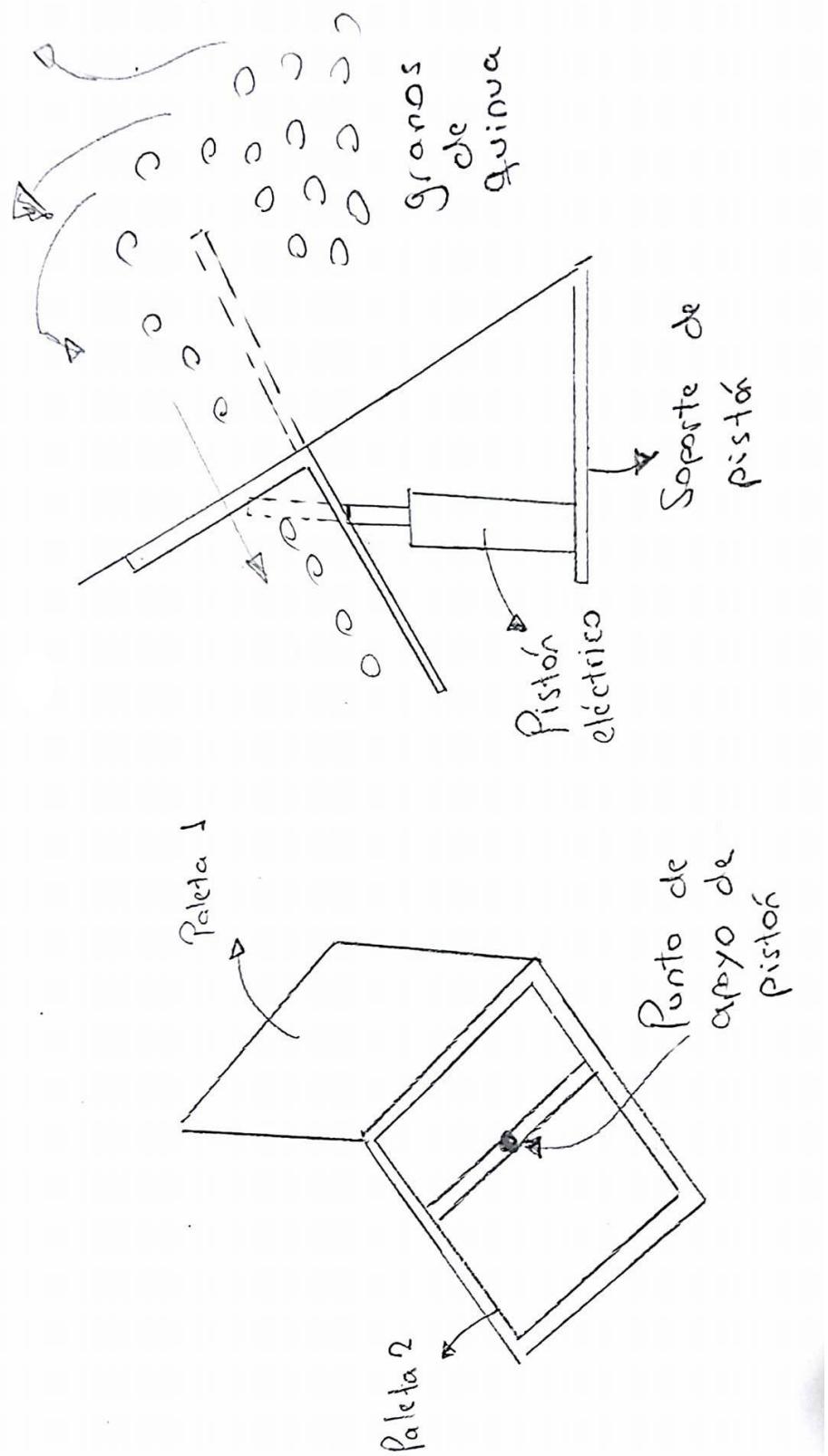


Figura 3- 5. Vista auxiliar de mecanismo de transporte de granos desde tostador a enfriador del concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia.

CONCEPTO 3

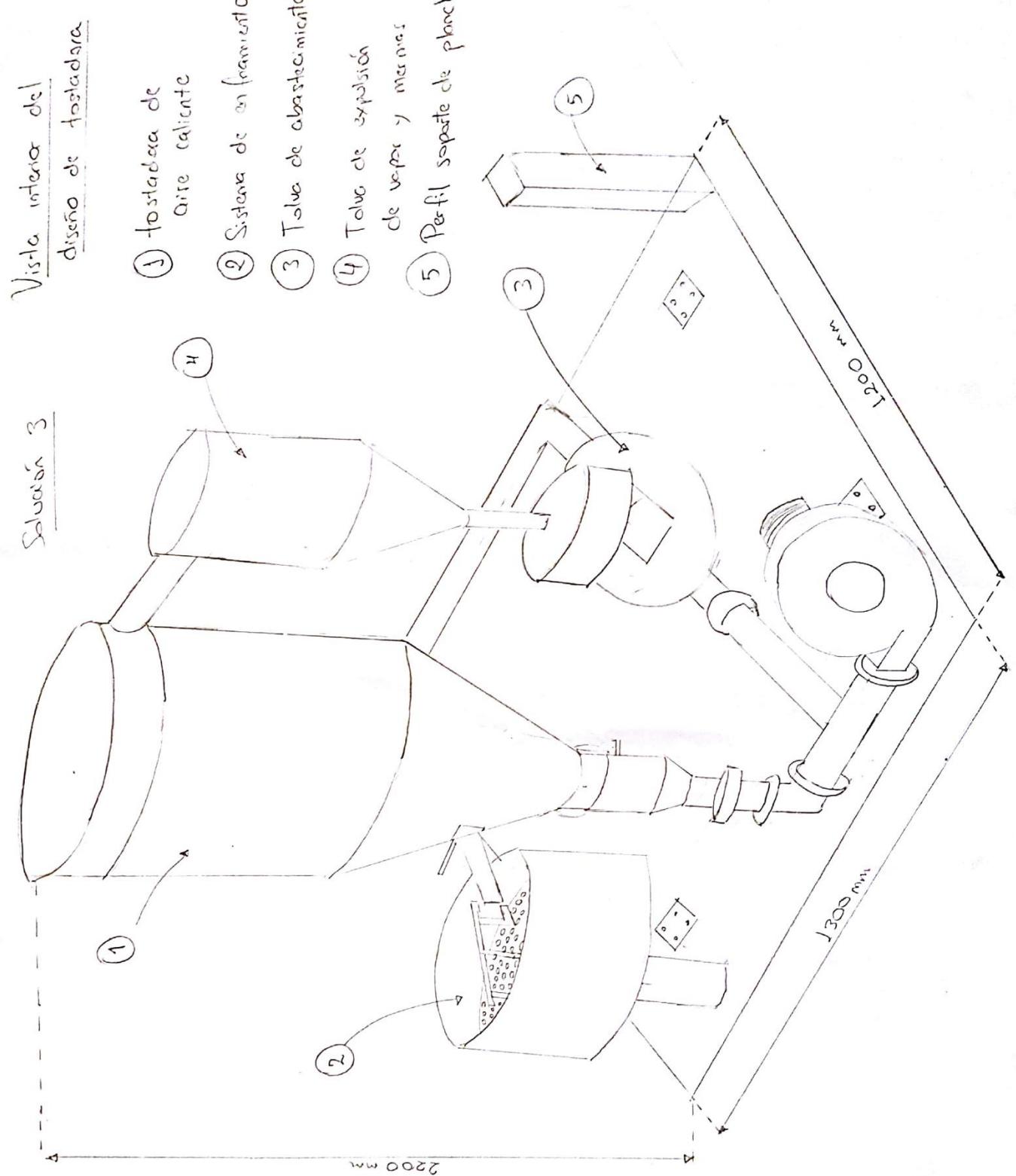


Figura 3- 6. Vista general de concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

Vista Superior sin
cubierta ni tolva de
expulsión

- ⑥ Separador centrifugo
- ⑦ Placa para unión
de garrafa
- ⑧ Depósito de granos
tostados y entierdos
- ⑨ Válvula para
ingreso de granos

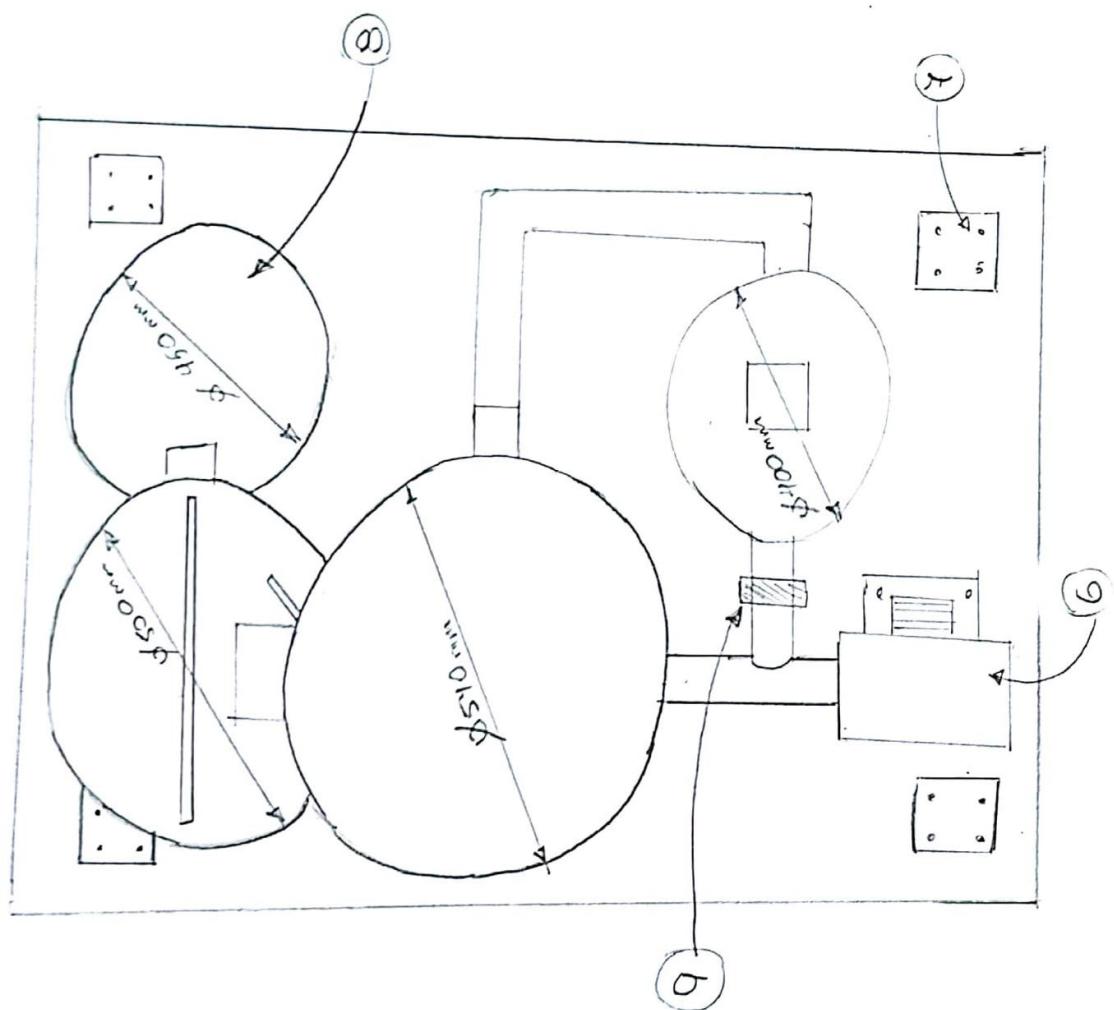


Figura 3- 7. Vista superior sin cubierta de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

Vista superior

- (10) Plancha
- (11) HMI
- (12) Botón parada de emergencia
- (13) Transformador ondulante
- (14) Ingreso de energía eléctrica

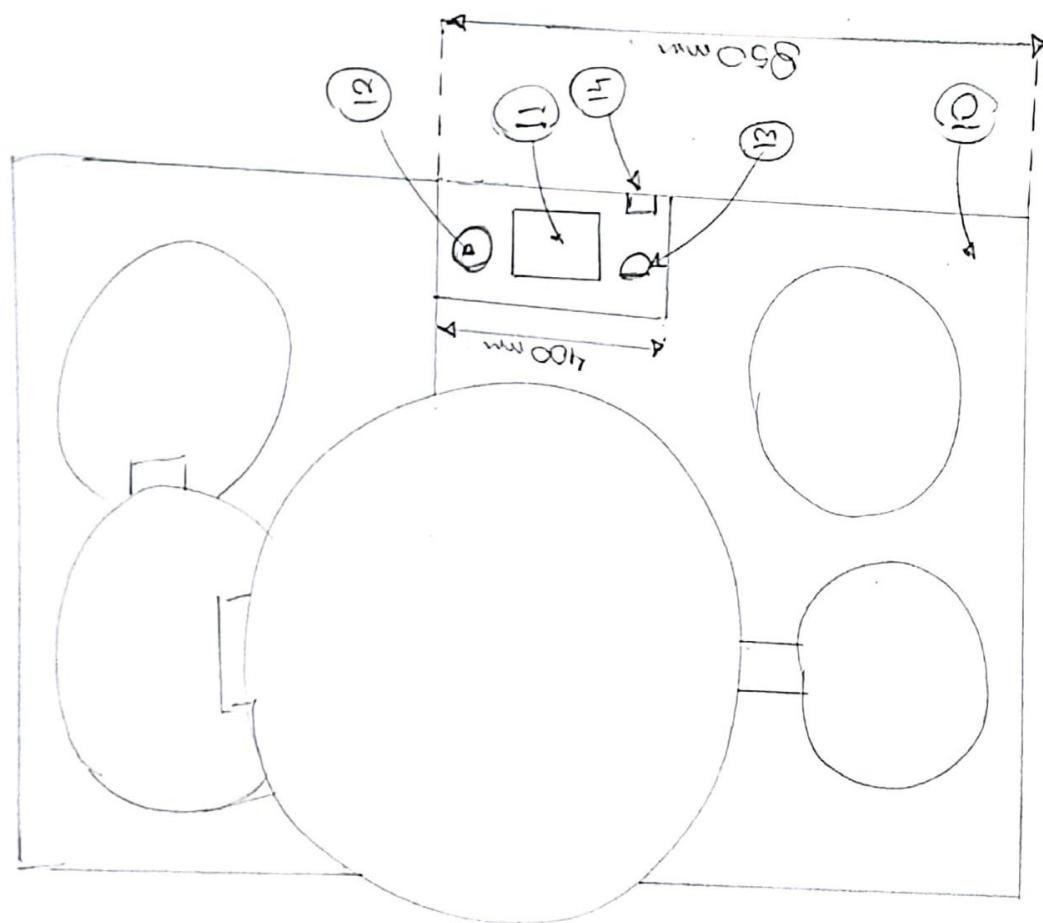


Figura 3- 8. Vista superior con cubierta de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

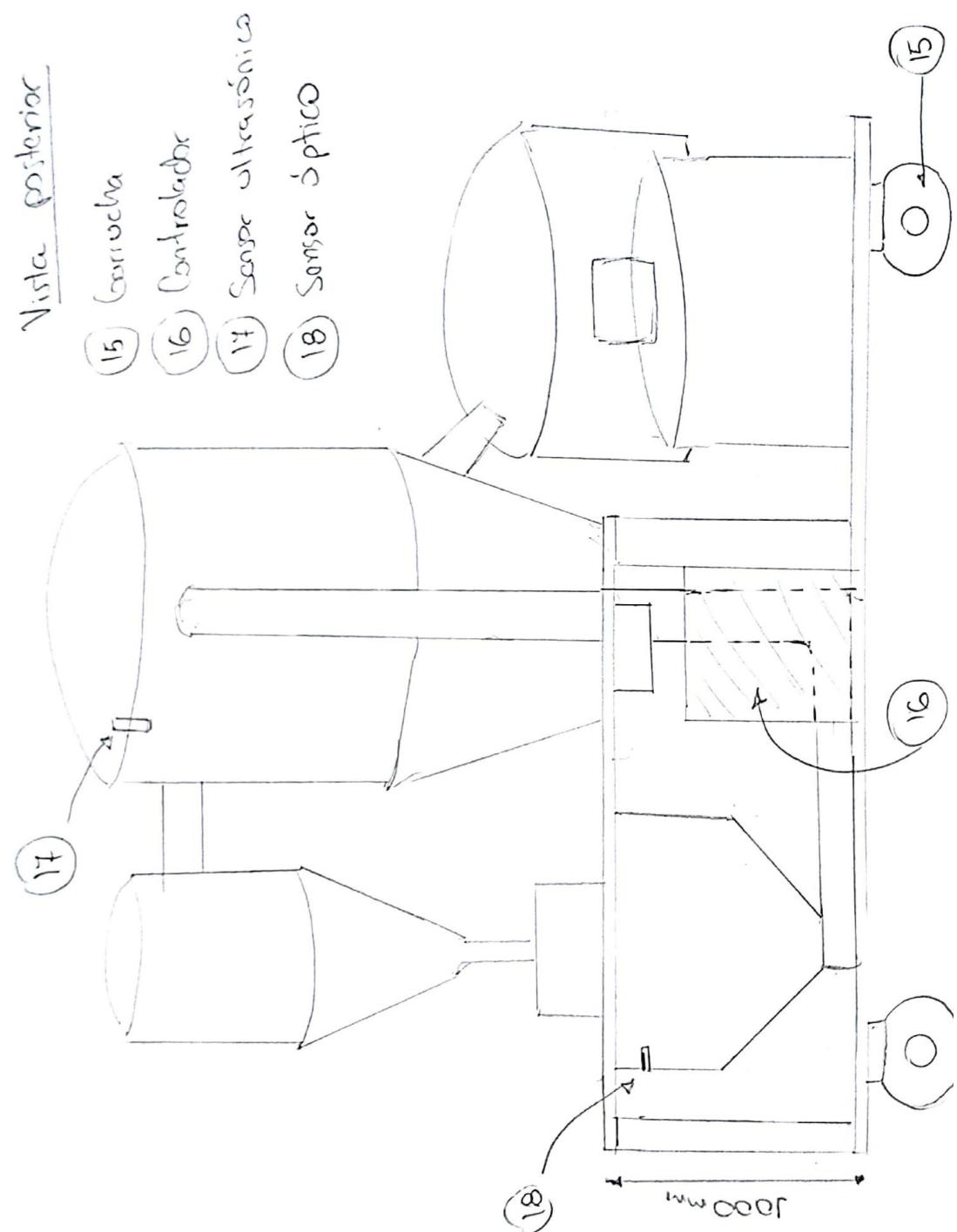


Figura 3- 9. Vista posterior de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

Tostadora
de
Aire
Caliente

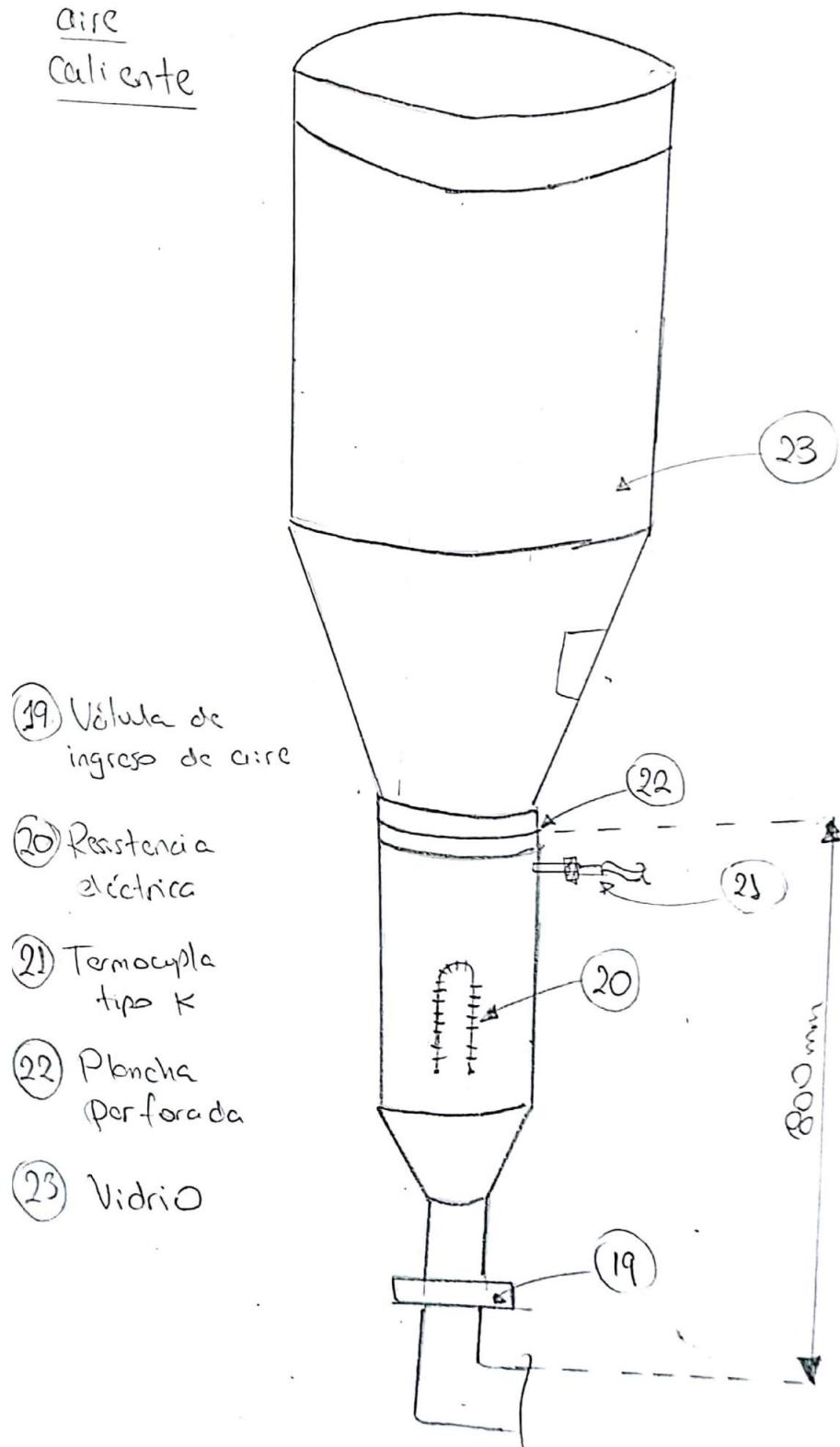


Figura 3- 10. Vista de cámara de tostado en solución 3. Fuente: Elaboración propia.

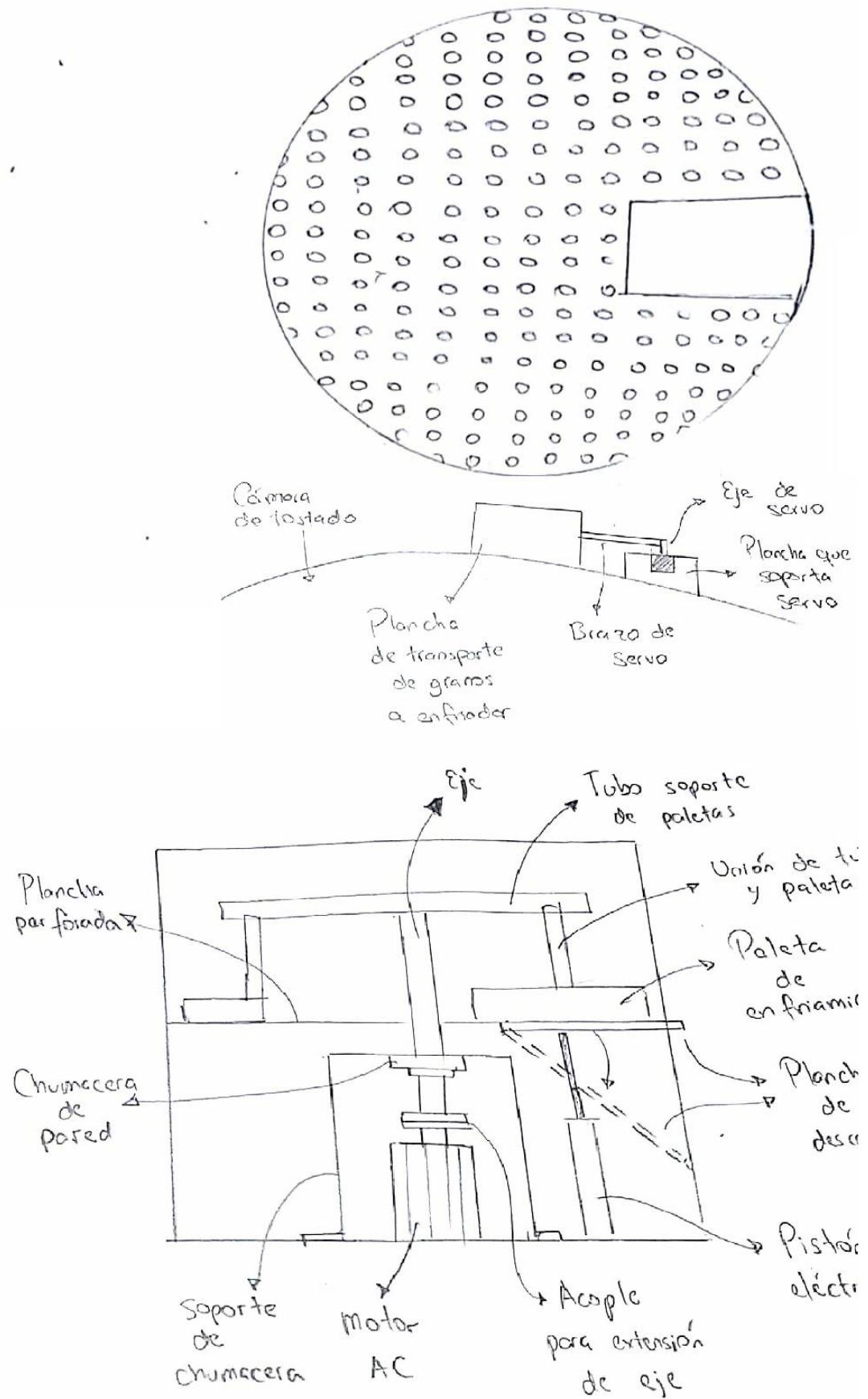


Figura 3- 11. Vista de enfriador en solución 3. Fuente: Elaboración propia.

5. PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN

- Volumen de 10 kg granos de quinua

Para realizar este experimento se aplicó el método científico que consta de una serie de pasos como pregunta, observación, hipótesis, experimentación, análisis y validación. Se utilizaron los siguientes elementos:

- 3 kg de granos de quinua
 - Recipiente cilíndrico
 - Tapa circular
 - Balanza digital de 10 kg con medidas de 1g
- ¿Qué volumen ocupa 10 kg de granos de quinua?

Para dimensionar correctamente la cámara de tostado se necesita información sobre el volumen que ocupa cierta cantidad de granos de quinua.

- Observación:

Una cantidad determinada de granos de quinua en un recipiente con área conocida ocupa un volumen que puede ser calculado fácilmente.

- Hipótesis:

Si el área permanece constante, se puede obtener una relación lineal entre las variables volumen y altura.

- Experimentación:

Se pesa el recipiente cilíndrico sin granos de quinua para descontar dicho peso al momento de pesar los granos de quinua. En la Figura 4-1 se aprecia el valor indicado por la balanza electrónica del recipiente cilíndrico vacío.



Figura 4- 1. Peso de recipiente cilíndrico vacío. Fuente: Elaboración propia.

Se realizan mediciones geométricas de diámetro y altura en el recipiente cilíndrico y en la tapa. Los resultados se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4- 1. Tabla de medición. Fuente: Elaboración propia.

Elementos	Diámetro 'D' (mm)	Altura (mm)	Peso (g)
Recipiente	196	214	300
Tapa	196	2	-

La tapa circular se utiliza para tener una referencia plana en la parte superior de los granos de quinua. A continuación, se presenta un gráfico (Figura 4-2) resumiendo dimensiones y detallando la disposición de los elementos. Hqui hace referencia a la altura de los granos de quinua y Hres a la altura que se mide con regla.

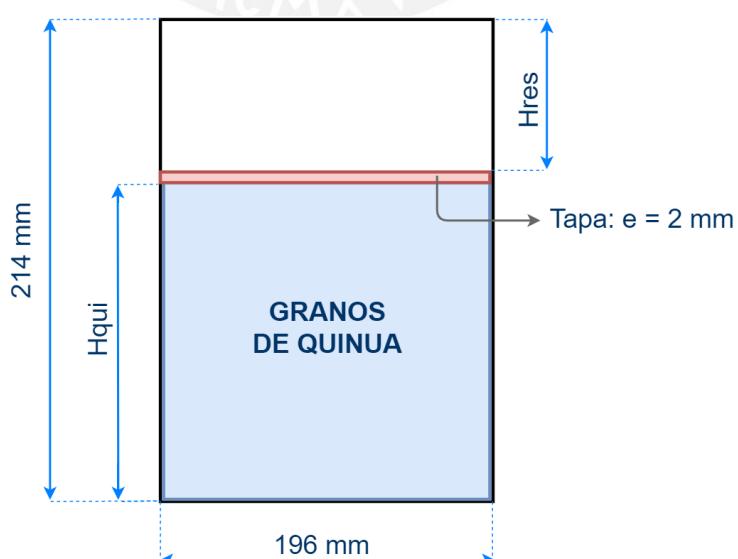


Figura 4- 2. Esquema de elementos. Fuente: Elaboración propia.

Para hallar el volumen que ocupan 100 g de quinua, se pesa 400 g en la balanza (se adiciona el peso del recipiente). Con la regla se mide desde la parte superior de la tapa hasta la parte superior del recipiente. La Figura 4-3 ilustra el resultado obtenido.

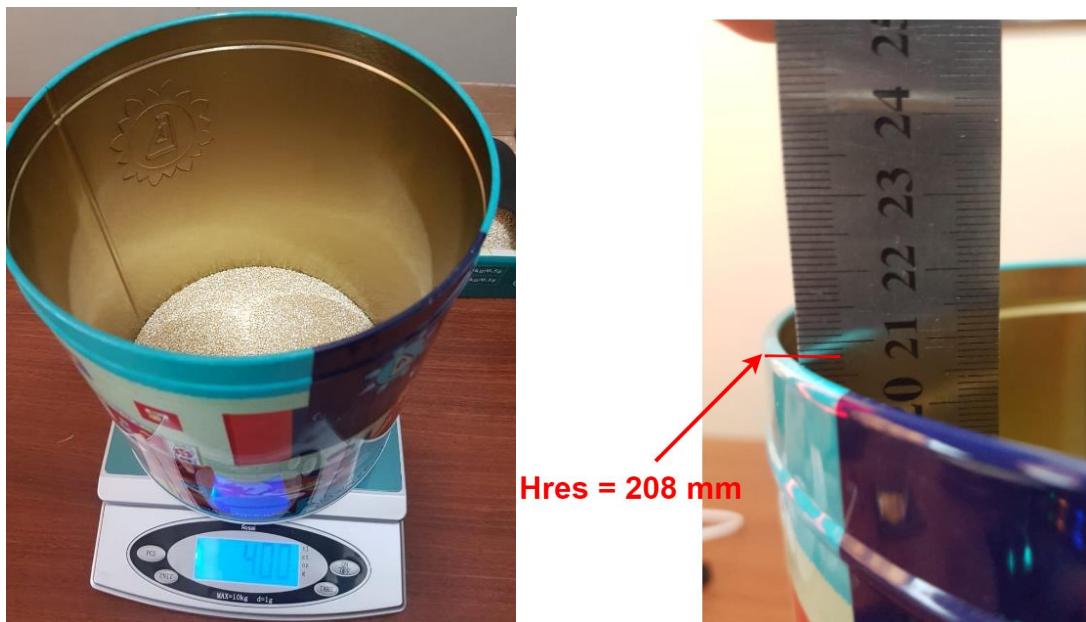


Figura 4- 3. Peso de recipiente con 200 g de quinua y altura medida.
Fuente: Elaboración propia.

El volumen se calcula con el diámetro del recipiente y la altura que alcanzan los granos (Hqui). La relación para hallar la altura de los granos se muestra a continuación.

$$Hqui = 214 - Hres - 2 \text{ [mm]}$$

El volumen calculado es el de un cilindro que depende de las variables anteriormente halladas.

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times Hqui}{4}$$

Se repite el procedimiento cada 100 g hasta alcanzar los 3kg de quinua. La tabla 4-2 muestra el volumen hallado para cada peso ingresado.

Tabla 4- 2. Tabla de resultados. Fuente: Elaboración propia.

Nro	Peso quinua (g)	Peso balanza (g)	Hres (mm)	Hqui (mm)	Volumen (mm ³)
1	100	400	211	1	30171.86
2	200	500	207	5	150859.28
3	300	600	203	9	271546.70
4	400	700	199	13	392234.13
5	500	800	194	18	543093.41
6	600	900	190	22	663780.83
7	700	1000	187	25	754296.40
8	800	1100	182	30	905155.68
9	900	1200	179	33	995671.24
10	1000	1300	175	37	1116358.67
11	1100	1400	170	42	1267217.95
12	1200	1500	167	45	1357733.51
13	1300	1600	163	49	1478420.94
14	1400	1700	159	53	1599108.36
15	1500	1800	155	57	1719795.78
16	1600	1900	150	62	1870655.06
17	1700	2000	147	65	1961170.63
18	1800	2100	143	69	2081858.05
19	1900	2200	138	74	2232717.33
20	2000	2300	134	78	2353404.76
21	2100	2400	130	82	2474092.18
22	2200	2500	126	86	2594779.60
23	2300	2600	123	89	2685295.17
24	2400	2700	119	93	2805982.59
25	2500	2800	114	98	2956841.87
26	2600	2900	111	101	3047357.44
27	2700	3000	107	105	3168044.86
28	2800	3100	104	108	3258560.43
29	2900	3200	99	113	3409419.71
30	3000	3300	95	117	3530107.13

Finalmente, con los resultados obtenidos se grafica una curva de volumen vs peso (Figura 4-4) para una mejor visualización de los datos.

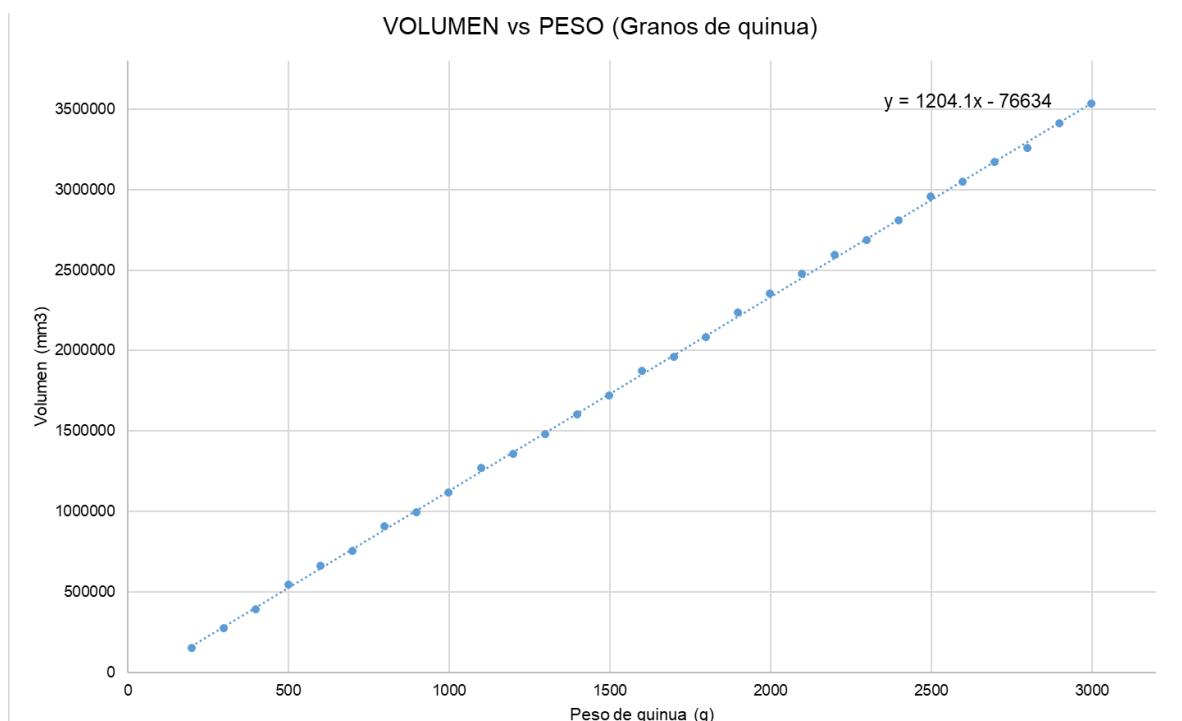


Figura 4- 4. Gráfico de relación entre volumen y peso de granos de quinua.

Fuente: Elaboración propia.

- Análisis de datos

Los datos muestran que la curva tiene un comportamiento lineal; es decir, se comprueba la hipótesis. Es importante notar que la masa calculada no solo es debido a los granos de quinua, sino también al espacio vacío (ocupado por aire) entre cada grano; por ello que la curva tiene una constante adicional (76634). La siguiente ecuación relaciona las variables volumen (V) y masa (M).

$$V = 1204.1 * M - 76634 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Finalmente, a partir de la recta se puede obtener el volumen para 10 kg de quinua.

$$V_{10 \text{ kg}} = 11964.366 \text{ cm}^3$$

6. DIAGRAMAS DE FLUJO

El subprograma “Inicialización de variables” (figura 5-1) envía información a los actuadores para reinicializar un nuevo ciclo, además, las variables regresan a un valor nulo para ser utilizados posteriormente. Asimismo, con el fin de saber cuándo el operario debe extraer los granos de la tolva de descarga, se cuenta con una variable permanente ‘NumCiclo’ que es almacenada en la memoria del controlador. Como la tolva de descarga tiene una capacidad de 100 kg de granos de quinua y el proceso tuesta 10 kg / ciclo, el número máximo de veces que se puede tostar hasta que la tolva de descarga se llene son 10 veces.

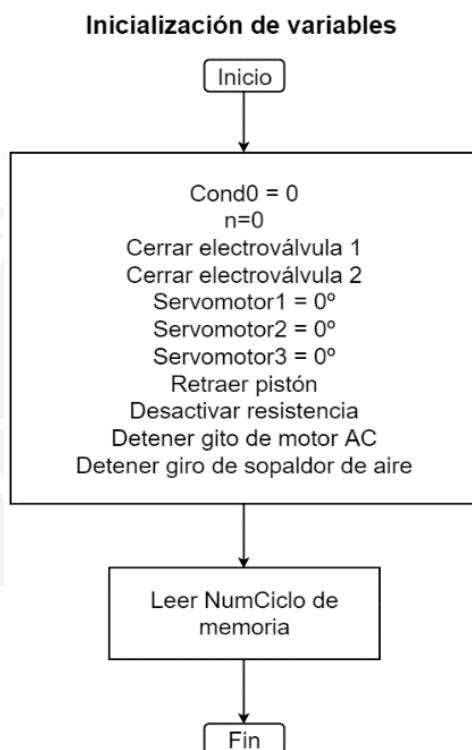


Figura 5- 1. Subprograma “Inicialización de variables”. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Modo manual” mostrado en la Figura 5-2 inicia con una validación de las condiciones previas al tostado. Si las condiciones se cumplen, se procede a ingresar los granos desde la tolva de abastecimiento hacia la cámara de tostado; a continuación, empieza el tueste de los granos hasta que el operario decida el fin de este proceso. Posterior al tueste, se enfrián los granos por un tiempo definido por el operario. Si las condiciones de pretostado no se cumplieron, el subprograma finaliza inmediatamente. En ambos casos, se muestra un aviso final indicando el peso restante de granos de quinua en la tolva de descarga para informar al usuario el estado de abastecimiento de la máquina.

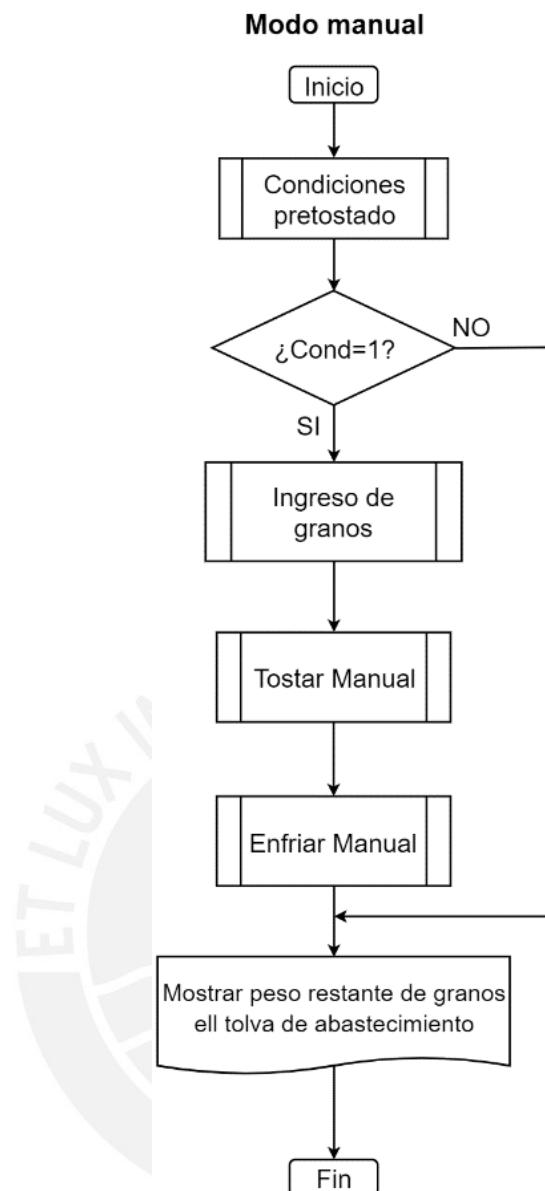


Figura 5- 2. Subprograma “Modo manual”. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Modo automático” (figura 5-3) inicia con una validación de las condiciones previas al tostado. Si las condiciones se cumplen, se procede a ingresar los granos desde la tolva de abastecimiento hacia la cámara de tostado; a continuación, empieza el tueste de los granos por un tiempo de 10 minutos. Posterior al tueste, se enfrián los granos en un lapso de 5 minutos. Si las condiciones de pretostado no se cumplieron, el subprograma finaliza inmediatamente. En ambos casos, se muestra un aviso final indicando el peso restante de granos de quinua en la tolva de descarga para informar al usuario el estado de abastecimiento de la máquina. Por cada vez que este subprograma sea utilizado, la variable ‘n’ disminuye su valor en 1, esto es debido a que en el programa principal la cantidad de veces que se repiten procesos de tostado es definido por el operario.

Modo automático

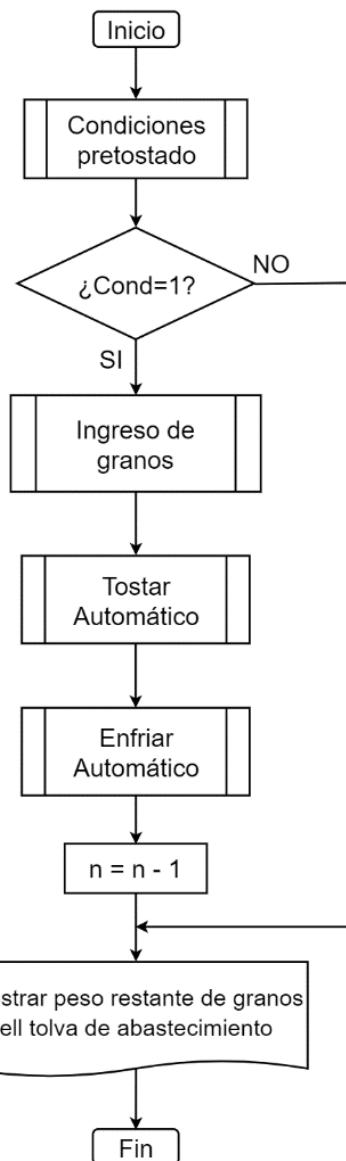


Figura 5- 3. Subprograma “Modo automático”. Fuente: Elaboración propia.

Para validar algunas condiciones previas al inicio del proceso, se requiere la implementación del subprograma “Condiciones pretostado” (Figura 5-4). La lógica inicia con la asignación de un valor nulo a la variable ‘Cond0’. Antes de la validación se muestra un mensaje indicando la cantidad el kg de granos de quinua existentes en la tolva de abastecimiento. A continuación, se tiene la condición de existencia de cantidad mínima de granos de quinua para un proceso de tostado, si dicha cantidad existe, la siguiente pregunta es si ya se han realizado 10 ciclos previamente. La anterior condición se realiza para no exceder la capacidad de la tolva de descarga (100 kg). Si ambas condiciones son verdaderas, a la variable ‘Cond0’ se le asigna el valor de 1; caso contrario mostrará mensajes respectivos para que el operario ingrese granos de quinua a la zona de carga o para que los extraiga de la zona de descarga.

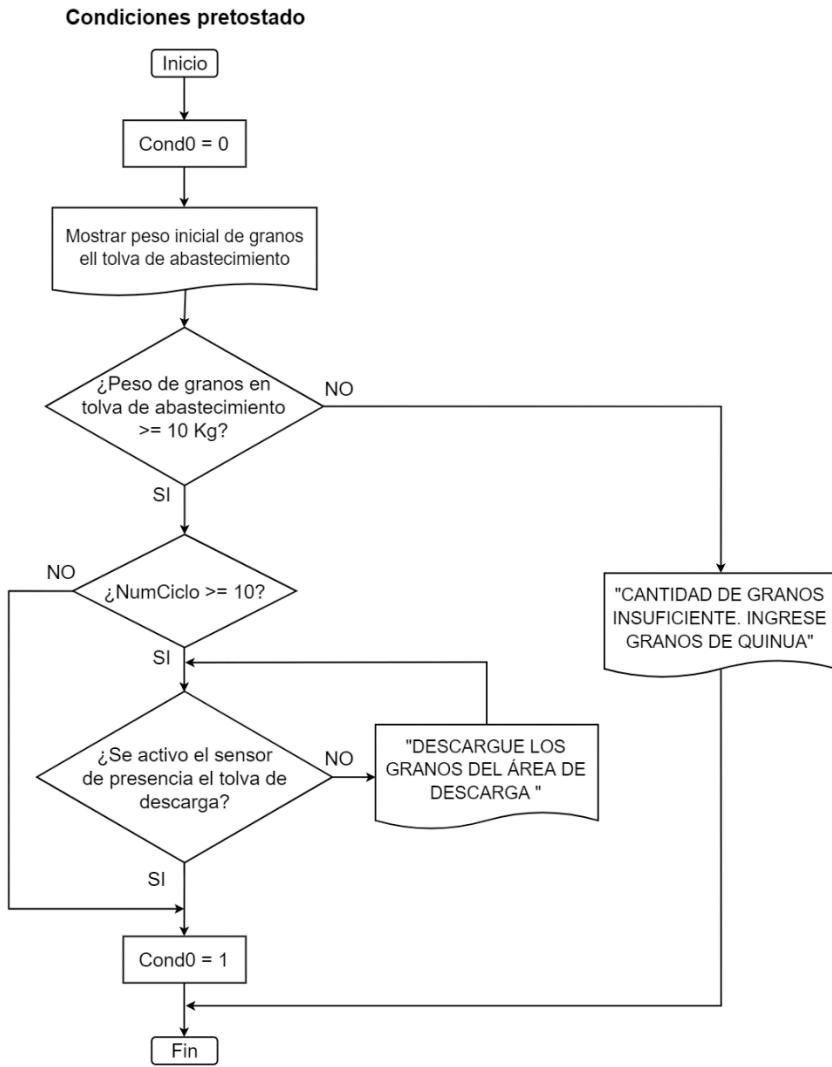


Figura 5- 4. Subprograma “Condiciones pretostado”. Fuente: Elaboración propia.

Los granos deben ser transportados desde la tolva de abastecimiento a la cámara de tostado, dicho proceso es realizado por el subprograma “Ingreso de granos” mostrado en la figura 5-5. Inicialmente, la lectura del sensor de peso se almacena en la variable “Peso_i”, luego se habilita la válvula (válvula 2) que permite el flujo de aire desde el soplador hacia la tolva de abastecimiento. Para esto, el servomotor 2 ubicado en la parte inferior de la tolva debe girar 90° permitiendo la caída de los granos de quinua. Inmediatamente se activa el soplador de aire que permite el transporte de los granos hacia la parte superior de la cámara de tostado. Al mismo tiempo, el servomotor 1 ubicado en la parte superior del tostado gira 90° para permitir el ingreso de los granos. En este lapso de tiempo se almacena nuevamente el peso de la tolva de abastecimiento en la variable ‘Peso_f’. Este bucle se realiza hasta que la diferencia entre el peso inicial de la tolva y el peso final sea de 10 kg, dando como resultado el transporte completo de la cantidad requerida para 1 ciclo de tostado. Finalmente, los servomotores se regresan a su posición inicial (0°).

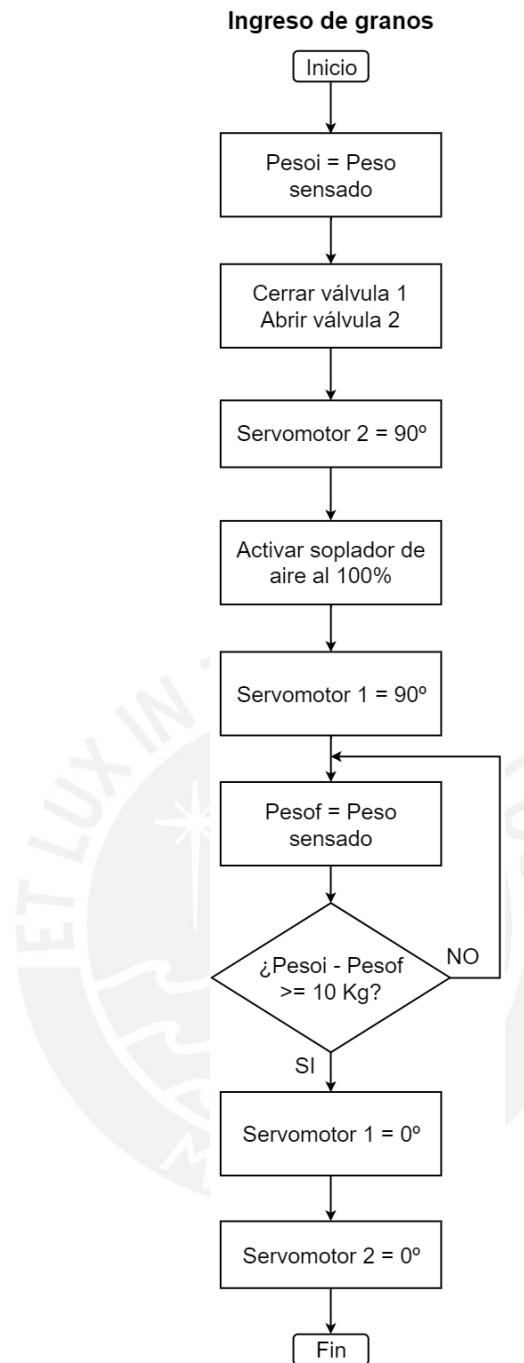


Figura 5- 5. Subprograma “Ingreso de granos”. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Enfriar manual” (Figura 5-6) se realiza posterior al subprograma “Tostar manual”. Se inicia con el giro a 90° del servomotor 3 que permite el transporte de los granos desde la cámara de tostado hacia el enfriador. Inmediatamente después se activa el motorreductor del enfriador para mover los granos y así evitar que se quemen por contacto entre ellos. Finalmente, cuando el operario decide el fin del proceso de enfriado, el servomotor 3 regresa a su posición inicial (0°) y se extiende el pistón que permite el transporte de los granos desde el enfriador hacia la tolva de descarga durante 1 minuto para luego retraer el pistón.

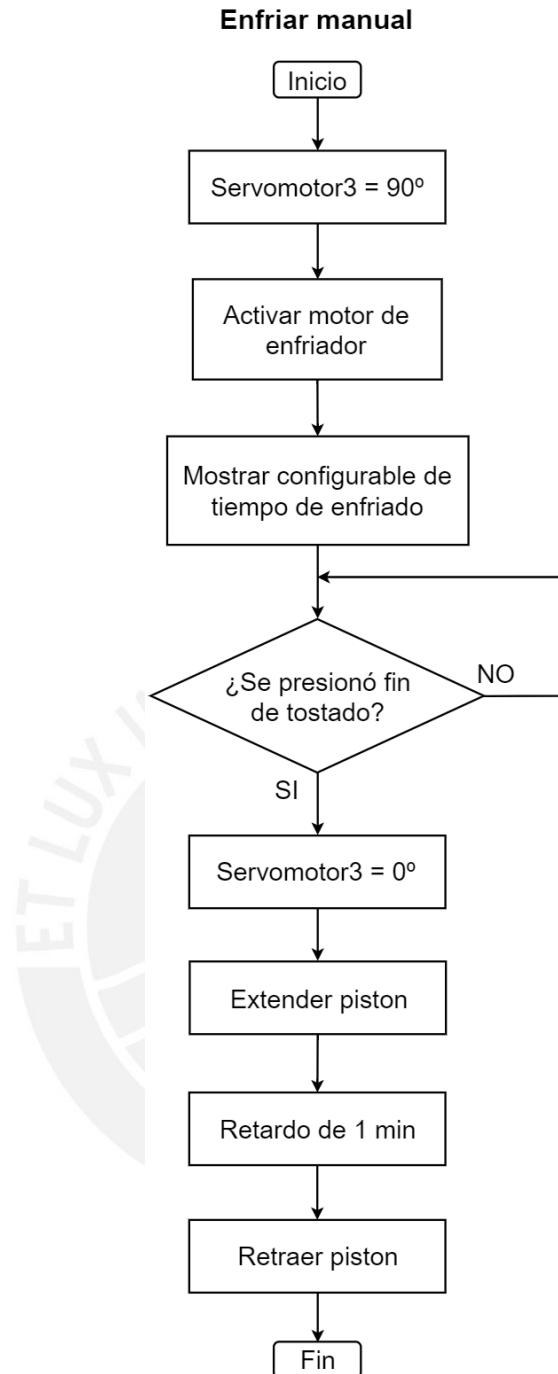


Figura 5- 6. Subprograma “Enfriar manual”. Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Enfriar automático” (Figura 5-7) se realiza posterior al subprograma “Tostar automático”. Se inicia con el giro a 90° del servomotor 3 que permite el transporte de los granos desde la cámara de tostado hacia el enfriador. Inmediatamente después se activa el motorreductor del enfriador para mover los granos por contacto. El proceso de enfriado se realiza durando 5 minutos. Finalmente, el servomotor 3 regresa a su posición inicial (0°) y se extiende el pistón que permite el transporte de los granos desde el enfriador hacia la tolva de descarga durante 1 minuto para luego retraer el pistón.

Enfriar automático

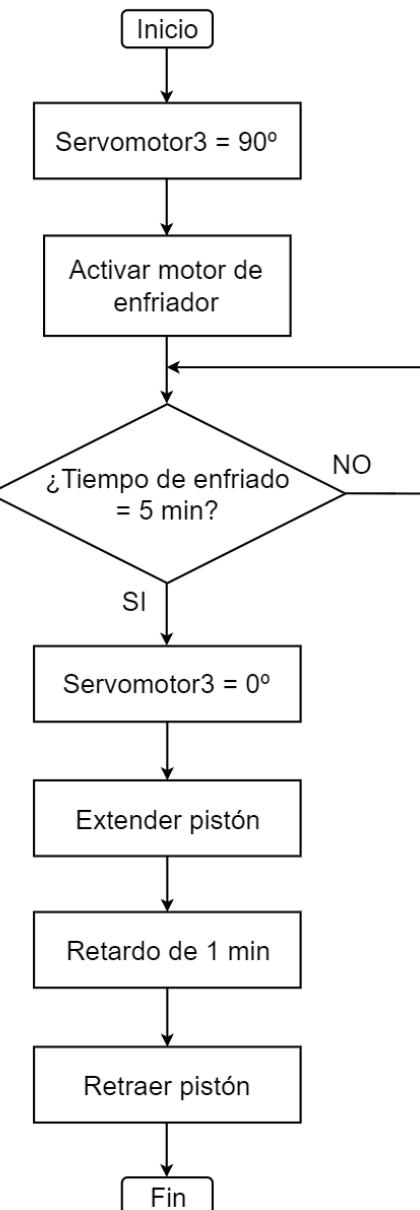


Figura 5- 7. Subprograma “Enfriar automático”. Fuente: Elaboración propia.

7. ANEXOS

7.1. TIVA™ C SERIES TM4C123G LAUNCHPAD EVALUATION BOARD (EK-TM4C123GXL)

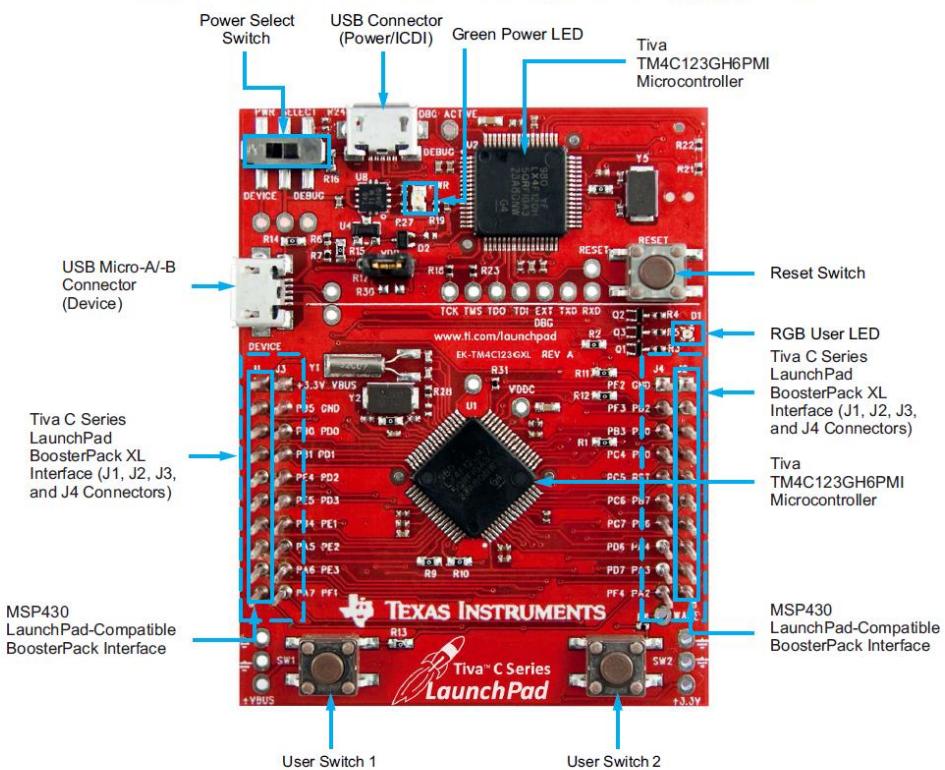


Chapter 1
SPMU296—April 2013

Board Overview

The Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board ([EK-TM4C123GXL](#)) is a low-cost evaluation platform for ARM® Cortex™-M4F-based microcontrollers. The Tiva C Series LaunchPad design highlights the [TM4C123GH6PMI](#) microcontroller USB 2.0 device interface, hibernation module, and motion control pulse-width modulator (MC PWM) module. The Tiva C Series LaunchPad also features programmable user buttons and an RGB LED for custom applications. The stackable headers of the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL interface demonstrate how easy it is to expand the functionality of the Tiva C Series LaunchPad when interfacing to other peripherals on many existing BoosterPack add-on boards as well as future products. [Figure 1-1](#) shows a photo of the Tiva C Series LaunchPad.

Figure 1-1. Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board



Tiva, MSP430, Code Composer Studio are trademarks of Texas Instruments.
Cortex is a trademark of ARM Limited.
ARM, RealView are registered trademarks of ARM Limited.
Microsoft, Windows are registered trademarks of Microsoft Corporation.
All other trademarks are the property of their respective owners.

1.1 Kit Contents

The Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit contains the following items:

- Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board (EK-TM4C123GXL)
- On-board In-Circuit Debug Interface (ICDI)
- USB micro-B plug to USB-A plug cable
- [README First](#) document

1.2 Using the Tiva C Series LaunchPad

The recommended steps for using the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit are:

1. **Follow the README First document included in the kit.** The README First document will help you get the Tiva C Series LaunchPad up and running in minutes. See the [Tiva C Series LaunchPad web page](#) for additional information to help you get started.
2. **Experiment with LaunchPad BoosterPacks.** A selection of Tiva C Series BoosterPacks and compatible MSP430™ BoosterPacks can be found at the [TI MCU LaunchPad web page](#).
3. **Take your first step toward developing an application with Project 0 using your preferred ARM tool-chain and the Tiva C Series TivaWare Peripheral Driver Library.** Software applications are loaded using the on-board In-Circuit Debug Interface (ICDI). See [Chapter 3, Software Development](#), for the programming procedure. The [TivaWare for C Series Peripheral Driver Library Software Reference Manual](#) contains specific information on software structure and function. For more information on Project 0, go to the [Tiva C Series LaunchPad wiki page](#).
4. **Customize and integrate the hardware to suit an end application.** This user's manual is an important reference for understanding circuit operation and completing hardware modification.

You can also view and download almost six hours of training material on configuring and using the LaunchPad. Visit the [Tiva C Series LaunchPad Workshop](#) for more information and tutorials.

1.3 Features

Your Tiva C Series LaunchPad includes the following features:

- Tiva TM4C123GH6PMI microcontroller
- Motion control PWM
- USB micro-A and micro-B connector for USB device, host, and on-the-go (OTG) connectivity
- RGB user LED
- Two user switches (application/wake)
- Available I/O brought out to headers on a 0.1-in (2.54-mm) grid
- On-board ICDI
- Switch-selectable power sources:
 - ICDI
 - USB device
- Reset switch
- Preloaded RGB quickstart application
- Supported by TivaWare for C Series software including the USB library and the peripheral driver library
- Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL Interface, which features stackable headers to expand the capabilities of the Tiva C Series LaunchPad development platform
 - For a complete list of available BoosterPacks that can be used with the Tiva C Series LaunchPad, see the [LaunchPad web page](#).

1.4 BoosterPacks

The Tiva C Series LaunchPad provides an easy and inexpensive way to develop applications with the TM4C123GH6PM microcontroller. Tiva C Series BoosterPacks and MSP430 BoosterPacks expand the available peripherals and potential applications of the Tiva C Series LaunchPad. BoosterPacks can be used with the Tiva C Series LaunchPad or you can simply use the on-board TM4C123GH6PM microcontroller as its processor. See [Chapter 2](#) for more information.

Build your own BoosterPack and take advantage of [Texas Instruments' website](#) to help promote it! From sharing a new idea or project, to designing, manufacturing, and selling your own BoosterPack kit, TI offers a variety of avenues for you to reach potential customers with your solutions.

1.5 Specifications

[Table 1-1](#) summarizes the specifications for the Tiva C Series LaunchPad.

Table 1-1. EK-TM4C123GXL Specifications

Parameter	Value
Board supply voltage	4.75 V _{DC} to 5.25 V _{DC} from one of the following sources: <ul style="list-style-type: none"> • Debugger (ICDI) USB Micro-B cable (connected to a PC) • USB Device Micro-B cable (connected to a PC)
Dimensions	2.0 in x 2.25 in x 0.425 in (5.0 cm x 5.715 cm x 10.795 mm) (L x W x H)
Break-out power output	<ul style="list-style-type: none"> • 3.3 V_{DC} (300 mA max) • 5.0 V_{DC} (depends on 3.3 V_{DC} usage, 23 mA to 323 mA)
RoHS status	Compliant

7.2. INTERFAZ MIKRO-2289

mikromedia HMI 7" Res

PID: MIKROE-2289

Weight: 325 g

A smart display solution, **mikromedia HMI 7" Res** has a **800x480px** color display with a resistive touch panel on the front, and a powerful **FT900Q** 32-bit MCU with additional essential circuitry on the back - making it a standalone but cost-effective solution suitable for industrial applications.



DESCRIPTION	SPECIFICATION	COMPARISON
Display size	7"	
Resolution	800x480px	
Graphic controller	FT812	
Brightness	320	
Touch Screen	Resistive	
Architecture	FT90x (32-bit)	
MCU	FT900Q	
MCU speed	100MHz; 310 DMIPS	
MCU Memory	256 KB Flash	
MCU Peripherals	2xCAN, 2xSPI, 2xI2C, I2S, UART	
Storage	8MB Flash + MicroSD card slot	
Peripherals include	Audio speaker, Haptic feedback engine	
Integration	Mounting frame	
Input Voltage	5V (via USB)	

7.3. HRC301 REGENERATIVE BLOWER

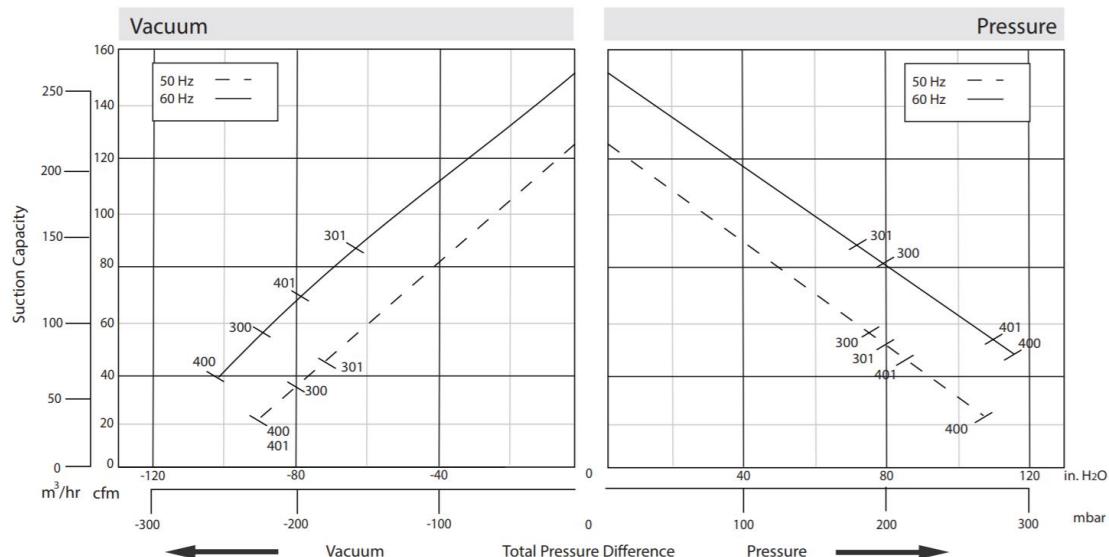


HRC 300/301/400/401
REGENERATIVE BLOWERS

Republic offers a complete line of regenerative blowers for high vacuum or compressed air applications in both horizontal and vertical mounted positions. TEFC motors are rated for 50/60 Hz operation and are cUL, UL, and CE certified. The impeller is directly connected to the motor shaft, providing powerful air force without undue friction. The bearings are outside the compression chamber, ensuring maximum operational reliability under high differential pressure. This low-maintenance, oil-free design provides continuous, dependable service to our customers.



PERFORMANCE

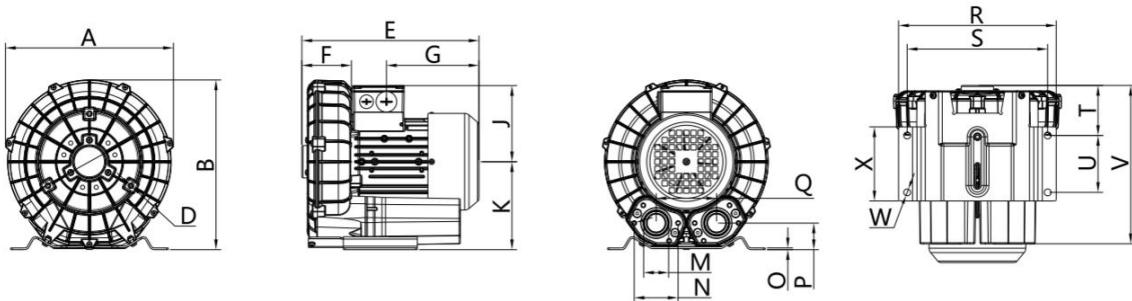


Model	Phase	Frequency (Hz)	Air flow (CFM/m ³ /hr)	Rated Vacuum (in. H ₂ O/mbar)	Rated Pressure (in. H ₂ O/mbar)	Motor (HP/kW)	Voltage (V)	Current (A)	Sound Level (dB)	Weight (lb/kg)
HRC 300	3	50	124/210	80/200	76/190	2.1/1.6	200-275 △/345-415 Y	7.5 △/4.3 Y	64	51/23
		60	150/255	88/220	79/197	2.8/2.0	220-275 △/380-480 Y	7.3 △/4.4 Y	70	
HRC 400	3	50	124/210	88/220	108/270	3.0/2.2	200-275 △/345-415 Y	9.7 △/5.6 Y	64	57/26
		60	150/255	104/260	116/290	3.4/2.5	220-275 △/380-480 Y	10.3 △/6.0 Y	70	
HRC 301	1	50	124/210	65/161	65/161	2.0/1.5	230	10.4	64	53/24
		60	150/255	63/157	71/177	2.4/1.8	115/230	22.4/11.2	70	
HRC 401	1	50	124/210	88/220	84/210	2.5/1.9	230	12.8	64	57/26
		60	150/255	79/197	108/269	3.0/2.2	115/230	25.6/12.8	70	

The performance curves are based on air at a temperature of 59 °F and an atmospheric pressure of 29.91 inch Hg with a tolerance of +/-10%. The total pressure differences are valid for inlet and ambient temperatures up to 77 °F. Suction capacity relates to inlet conditions. Pressure capacity relates to atmospheric conditions. For other conditions please contact Republic. Three phase motor tolerances are +/-10% for fixed voltage motors and +/-5% for voltage range motors. Single phase machines are designed with a +/-5% tolerance. The frequency tolerance is +/-2% maximum.

©Republic Manufacturing

APPROXIMATE DIMENSIONS

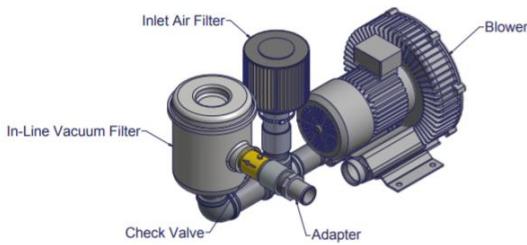


Model	Unit	A	B	D	E	F	G	J	K	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
HRC 300	in	13.15	14.69	M8	13.58	3.86	7.48	5.04	6.89	2.00	3.27	0.16	1.89	6.10	11.61	10.24	3.23	4.53	10.67	0.55
	mm	334	373		345	98	190	128	175		83	4	48	155	295	260	82	115	271	14
HRC 400	in	13.15	14.69	M8	13.58	3.86	7.48	5.04	6.89	2.00	3.27	0.16	1.89	6.10	11.61	10.24	3.23	4.53	10.67	0.55
	mm	334	373		345	98	190	128	175		83	4	48	155	295	260	82	115	271	14
HRC 301	in	13.15	14.69	M8	13.58	3.86	7.48	5.04	6.89	2.00	3.27	0.16	1.89	6.10	11.61	10.24	3.23	4.53	10.67	0.55
	mm	334	373		345	98	190	128	175		83	4	48	155	295	260	82	115	271	14
HRC 401	in	13.15	14.69	M8	13.58	3.86	7.48	5.04	6.89	2.00	3.27	0.16	1.89	6.10	11.61	10.24	3.23	4.53	10.67	0.55
	mm	334	373		345	98	190	128	175		83	4	48	155	295	260	82	115	271	14

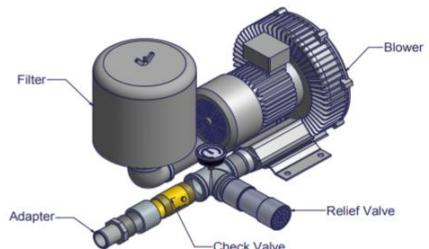
Available Options

All Republic Regenerative Blowers are available in pre-assembled kits for either pressure or vacuum applications. These kits include an inlet filter, gauge and relief valve, and are factory tested prior to shipment. Optional items for these kits include check valve, and tube adaptor; washdown motors, explosion proof motors, or other specialty motors; noise enclosures; and control panels such as VFD's, PLC's, or starter panels.

VACUUM KIT



PRESSURE KIT



©Republic Manufacturing • Revised 20170707

5131 Cash Road, Dallas, TX 75247, USA
800.847.0380 • info@republic-mfg.com • republic-mfg.com

7.4. VÁLVULA SOLENOIDE PARA AGUA CALIENTE Y VAPOR, NORMALMENTE CERRADA 1 1/4"



Normally Closed or Normally Open
Hot Water and Steam Valves
 Brass or Stainless Steel Bodies
 1/8" to 2 1/2" NPT

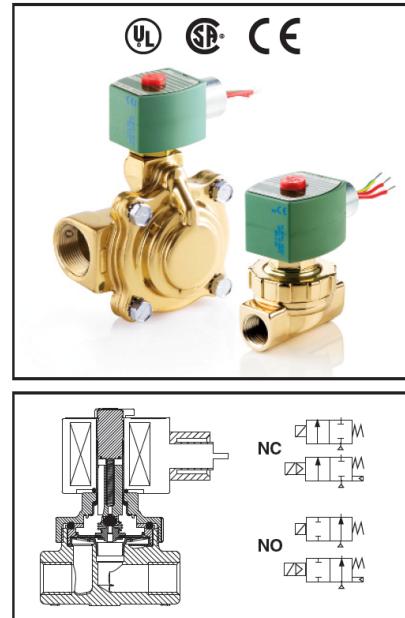
2/2
 SERIES
Hot Water/
Steam

Features

- Hot water service to 210 psi differential @ 210°F; Steam service to 125 psi differential @ 353°F
- Specify these valves for the high-temperature applications found in laundries, molding, steam atomization, sterilizers, autoclaves, and many others
 - Series 8263: direct acting miniature valves
 - Series 8267: direct acting straight-through, self-cleaning design
 - Series 8210/8220: pilot operated diaphragm valves
 - Lead-free versions available on 8210 Hot Water valves for Safe Drinking Water Act compliance
 - Series 8220: pilot operated diaphragm and piston valves; floating PTFE diaphragms or stainless steel pistons with EPDM or PTFE discs, available in both AC & DC voltages
 - Series 8221: slow-closing, anti-water hammer design
 - Series 8222: pilot operated diaphragm and piston valves. Y-body floating piston design

Construction

Valve Parts in Contact with Fluids		
Common Parts		
Body	Brass	Stainless Steel
Core Tube	305 Stainless Steel	
Core and Plungers	430F Stainless Steel	
Springs	302 Stainless Steel	
Shading Coil	Copper	Silver
8210HW Series		
Seals, Discs, and Diaphragms	EPDM	
8263 Series		
Seals	EPDM or PTFE	
Disc	EPDM or PTFE	
8220/8221 Series		
Piston/Diaphragm	Stainless Steel/PTFE	
Discs	EPDM or PTFE	
Seals	EPDM, PTFE or TFE/P	
8222 Series		
Seals, Discs, and Diaphragms	TFE/P, EPDM and/or PTFE	
Piston	Brass or PTFE	
8267 Series		
Seals	FKM, PTFE	
Disc	Stainless Steel	
Seat	Glass-Filled PTFE	



Solenoid Enclosures

Standard: RedHat II - Watertight, Types 1, 2, 3, 3S, 4, and 4X; Red-Hat - Type 1.

Optional: RedHat II - Explosionproof and Watertight, Types 3, 3S, 4, 4X, 6, 6P, 7, and 9; RedHat - Explosionproof and Raintight, Types 3, 7, and 9. (To order, add prefix "EF" to catalog number.)

See *Optional Features Section* for other available options.

SPECIAL SERVICE VALVES

Electrical

Standard Coil and Class of Insulation	Const. Ref.	Watt Rating and Power Consumption				Spare Coil Part Number			
		DC Watts		AC		General Purpose		Explosionproof	
		Watts	VA Holding	VA Inrush	AC	DC	AC	DC	
F	1,2,36,38,39, 40,41,42	-	6.1	16	30	238210	-	238214	-
F	4, 8, 33, 50	-	6.1	16	40	238210	-	238214	-
H	4	-	6.1	16	40	238410	-	238414	-
F	32-35	11.6	-	-	-	-	238710	-	238714
F	5,7,10,14,15, 28,30,32,34, 51,52,53	-	10.1	25	70	238610	-	238614	-
F	16,17,18	-	10.1	25	50	238610	-	238614	-
H	3,31	-	10.1	25	50	238810	-	238814	-
H	9,12,14,51, 52,53	-	10.1	25	70	238810	-	238814	-
H	51-52	15.6	-	-	-	238910	-	238914	
F	21-27,43-49	-	16.1	35	95	272610	-	272614	-
H	21-27	-	16.1	35	95	272810	-	272814	-
H	19-20	-	16.1	35	180	272810	-	272814	-
H	3,31	-	17.1	40	70	238810	-	238814	-
H	6,11,29	-	17.1	40	83	238810	-	238814	-
H	13	-	28.2	55	220	224195	-	224195	-

Nominal Ambient Temp. Ranges

RedHat II AC: 32°F to 125°F (0°C to 52°C)

For 8263 Steam/Hot Water Series

RedHat II AC: 32°F to 131°F (0°C to 55°C)

For 8210 Hot Water Series

RedHat II DC: 32°F to 104°F (0°C to 40°C)

For 8220 Steam/Hot Water Series

RedHat II DC: 32°F to 125°F (0°C to 52°C)

Refer to *Engineering Section* for details.

Approvals

Most are UL listed, CSA certified, and meet applicable CE directives. Contact ASCO for details.

Important: Explosionproof Catalog Numbers EF8210HW, EF8220, EF8221HW, and EF8263 (except H300-306) are not UL listed. They are suitable for Types 4 & 7 (A-D), and 9 (E, F, & G for Class F; E for class H coils) only, and have a temperature range code of T3B (Class F) or T3A (Class H).



2/2
SERIES
Hot Water/
Steam

Specifications (English units continued)

Pipe Size (in)	Orifice Size (in)	Cv Flow Factor	Operating Pressure Differential (psi)				Max. Fluid Temp. °F				Brass Body		Stainless Steel Body		Watt Rating/Class of Coil Insulation			
			Min.	Max. AC Steam	Max. DC Steam	AC Hot Water	DC Hot Water	Steam	Hot Water	Steam							AC	DC
STEAM/HOT WATER SERVICE - PILOT OPERATED - NORMALLY CLOSED (Closed when de-energized)																		
3/4	5/8	4.5	0	50	-	-	-	300	-	-	-	-	-	8222G062	28	10.1/F	-	
3/4	5/8	4.5	0	125	-	-	-	353	-	-	-	-	-	8222G088	29	17.1/H	-	
3/4	3/4	5.0	0	50	-	-	-	300	-	-	-	-	-	8222G095 ♦	10	-	10.1/F	-
3/4	3/4	8.8	5	50	150	-	-	300	210	-	-	82206407	8	-	-	6.1/F	-	
3/4	3/4	8.8	0	50	150	50	100	300	210	300	210	82206408	52	-	-	10.1/F	15.6/H	
3/4	3/4	8.8	5	125	150	110	150	353	210	344	210	82206409 ®	52	-	-	10.1/H	15.6/H	
3/4	3/4	5.0	0	125	-	-	-	353	-	-	-	8222G003	11	-	-	17.1/H	-	
3/4	1/2	4.6	2	125	-	-	-	353	-	-	-	8222G049	9	-	-	10.1/H	-	
3/4	1/2	4.6	5	200	-	-	-	388	-	-	-	8222G005	12	-	-	10.1/H	-	
1	1	11.2	5	125	-	-	-	353	-	-	-	-	-	8222G089	30	10.1/F	-	
1	1	13.5	5 ①	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G007	14	-	-	10.1/F	-	
1	1	13.5	5 ①	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G025	14	-	-	10.1/H	-	
1	1	11.5	5	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G410	53	-	-	10.1/F	-	
1	1	11.5	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G411 ®	53	-	-	10.1/H	-	
1	1	13.0	0	200	-	-	-	388	-	-	-	8222G099 ⑦	13	-	-	28.2/H	-	
1 1/4	1 1/8	15	5 ①	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G009 ③	15	-	-	10.1/F	-	
1 1/4	1 1/8	15	5 ①	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G027	15	-	-	10.1/H	-	
1 1/2	1 1/4	22.5	5 ①	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G011 ③	16	-	-	10.1/F	-	
1 1/2	1 1/4	22.5	5 ①	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G029	16	-	-	10.1/H	-	
2	1 3/4	43	5 ①	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G013 ③	17	-	-	10.1/F	-	
2	1 3/4	43	5 ①	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G031	17	-	-	10.1/H	-	
2 1/2	1 3/4	45	5 ①	50	150	-	-	300	210	-	-	8220G015 ③ ⑤	18	-	-	10.1/F	-	
2 1/2	1 3/4	45	5 ①	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G033 ⑤	18	-	-	10.1/H	-	
STEAM SERVICE - DIRECT ACTING, STRAIGHT-THROUGH DESIGN - NORMALLY CLOSED (Closed when de-energized)																		
3/8	1/4	1.5	0	75	-	-	-	320	-	-	-	8267G001	19	-	-	16.1/H	-	
3/8	3/8	5.1	0	30	-	-	-	280	-	-	-	8267G003	19	-	-	16.1/H	-	
1/2	1/4	1.4	0	75	-	-	-	320	-	-	-	8267G005	19	-	-	16.1/H	-	
1/2	3/8	4.5	0	15	-	-	-	250	-	-	-	8267G007	19	-	-	16.1/H	-	
3/4	3/8	5.4	0	30	-	-	-	280	-	-	-	8267G017	20	-	-	16.1/H	-	
3/4	1/2	9.7	0	15	-	-	-	250	-	-	-	8267G019	20	-	-	16.1/H	-	
STEAM SERVICE - DIRECT ACTING, STRAIGHT-THROUGH DESIGN - NORMALLY OPEN (Open when de-energized)																		
3/8	1/4	1.5	0	75	-	-	-	320	-	-	-	8267G009	19	-	-	16.1/H	-	
3/8	3/8	5.1	0	30	-	-	-	280	-	-	-	8267G011	19	-	-	16.1/H	-	
1/2	1/4	1.4	0	75	-	-	-	320	-	-	-	8267G013	19	-	-	16.1/H	-	
1/2	3/8	4.5	0	15	-	-	-	250	-	-	-	8267G015	19	-	-	16.1/H	-	
3/4	3/8	5.4	0	25	-	-	-	267	-	-	-	8267G021	20	-	-	16.1/H	-	
3/4	1/2	9.7	0	15	-	-	-	250	-	-	-	8267G023	20	-	-	16.1/H	-	
STEAM/HOT WATER SERVICE - PILOT OPERATED - NORMALLY OPEN (Open when de-energized)																		
3/8	9/16	3	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G091	21	-	-	16.1/H	-	
1/2	9/16	4	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G093	21	-	-	16.1/H	-	
3/4	3/4	5	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G095	22	-	-	16.1/H	-	
1	1	13.5	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G097	23	-	-	16.1/H	-	
1 1/4	1 1/8	15	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G099	24	-	-	16.1/H	-	
1 1/2	1 1/4	22.5	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G101	25	-	-	16.1/H	-	
2	1 3/4	43	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G103	26	-	-	16.1/H	-	
2 1/2	1 3/4	45	5	125	150	-	-	353	210	-	-	8220G105 ⑤	27	-	-	16.1/F	-	

① Once opened at higher pressure, valve will remain open to 3 psi at inlet.

② 0 psi on AC construction, 1/4 psi on DC construction.

③ EPDM disc.

④ Not CSA certified.

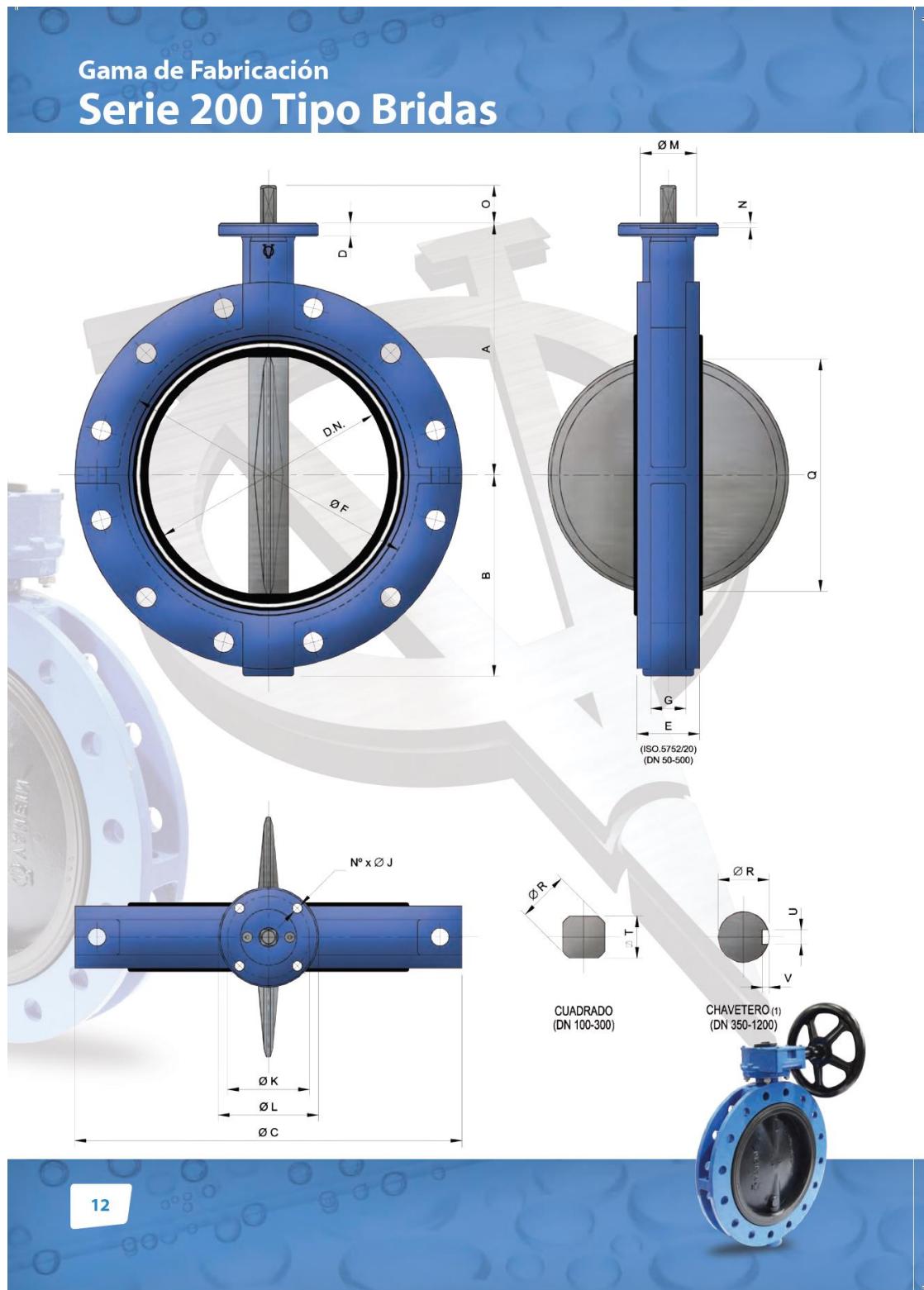
⑤ Not CSA certified for water.

⑥ Ambient temperature range 32°F - 140°F; ⑦ Ambient temperature range 32°F - 77°F

♦ Valve available with lead-free brass body and bonnet using suffix "LF". The term "Lead-Free" for brass materials is defined by SDWA 1417 as having a maximum weighted average lead content of 0.25% on the wetted surface area.

SPECIAL
SERVICE VALVES

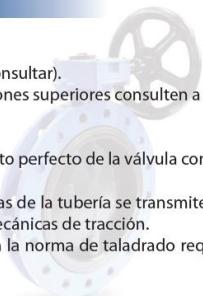
7.5. VÁLVULA MARIPOSA



Gama de Fabricación Serie 200 Tipo Bridas

Características

- ✓ Diámetros nominales de 100 mm (4") a 2000 mm (80").
- ✓ Montaje entre bridas según DIN PN-10, PN-16 y ANSI 125/150 Lbs. (otras normas consultar).
- ✓ Presión estándar de trabajo 16 bar (DN 100-300) y 10 bar (DN 350-2000) para presiones superiores consulten a nuestro Dpto. Comercial.
- ✓ Límites de temperatura de -45°C a +200°C (según elastómeros y recubrimientos).
- ✓ Taladrado integral que reduce el tiempo de instalación, permitiendo un alineamiento perfecto de la válvula con las bridas de la tubería.
- ✓ Por ser un modelo realizado para ser montado entre bridas, las tensiones mecánicas de la tubería se transmiten a la válvula únicamente por compresión sobre el cuerpo y, por lo tanto, carece de tensiones mecánicas de tracción.
- ✓ A partir de DN 600 incorpora 4 taladros roscados por cada cara del cuerpo, según la norma de taladrado requerida. Ha de tenerse en cuenta este dato debido a las tensiones mecánicas de tracción.



DIMENSIONES

DN	mm	DIMENSIONES DEL CUERPO						BRIDA DE ACOPLAMIENTO						SALIDA DEL EJE					COTA "Q"	PESO (Kg)			
		Pulg	A	B	Ø C	D	E	Ø F	G	ISO-5211/2	Nº	Ø J	Ø K	Ø L	Ø M ₁₀	N ₁₀	O	Ø R	Ø T	U	V		
100	4"	178	120	229	14	52	152	32		F-07	4	9	70	90	55	3	30	16.8	14		89	10.3	
125	5"	191	132	254	14	56	182	32		F-07	4	9	70	90	55	3	30	16.8	14		115	13.6	
150	6"	203	148	285	15	56	207	32		F-07	4	9	70	90	55	3	33	20.4	17		143	17.3	
200	8"	245	180	343	15	60	262	37		F-07	4	9	70	90	55	3	33	20.4	17		194	22.5	
250	10"	275	211	406	17	68	323	38		F-10	4	11	102	125	70	3	47	28	22		243	38.8	
300	12"	315	251	483	17	78	373	44		F-10	4	11	102	125	70	3	47	28	22		293	50.3	
350	14"	307	291	535	22	78	425	44		F-12	4	13	125	150	85	3	55	36		10	4.7	332	66.7
400	16"	342	325	597	24	102	475	62		F-14	4	17	140	175	100	4	65	42		12	4.9	382	98.7
450	18"	387	357	635	27	113	530	65		F-14	4	17	140	175	100	4	65	48		14	5.5	432	128.6
500	20"	425	381	715	27	126	587	67		F-14	4	17	140	175	100	4	65	48		14	5.5	478	171.1
600	24"	532	488	840	40	146	680	90		F-25	8	18	254	300	200	5	110	72		20	7.4	585	304
650	26"	550	493	870	40	175	730.5	103		F-25	8	18	254	300	200	5	110	72		20	7.4	619	380
700	28"	573	506	927	40	175	792	103		F-25	8	18	254	300	200	5	110	72		20	7.4	683	456
750	30"	622	555	984	40	176	862	96		F-25	8	18	254	300	200	5	110	72		20	7.4	733	556
800	32"	657	583	1060	40	215	902	135		F-25	8	18	254	300	200	5	110	72		20	7.4	755	608
900	36"	707	643	1168	40	246	998	166		F-25	8	18	254	300	200	5	110	98		28	9.9	852	745
1000	40"	755	729	1255	40	280	1108	190		F-25	8	18	254	300	200	5	110	98		28	9.9	958	1038
1050 ⁽¹⁾	42"	781	755	1346	40	280	1190	190		F-25	8	18	254	300	200	5	110	98		28	9.9	1013	1364
1100 ⁽²⁾	44"	800	774	1403	40	280	1220	176		F-25	8	18	254	300	200	5	110	98		28	9.9	1050	1690
1200	48"	900	855	1511	50	360	1320	244		F-30	8	22	298	350	230	5	130	120		32	11.1	1098	1880

Dimensiones en mm a título informativo

VAMEIN DE ESPAÑA, S.A. se reserva el derecho a modificar las dimensiones sin previa comunicación.

Para DN>200 consultar.

(1): Para DN 1200, dos chaveteros en línea.

(2): Rebaje central Ø M x N opcional en DN 50-200.

(3): Válvulas de fabricación especial. Consultar disponibilidad.

Accionamientos automáticos

Un aspecto fundamental de las válvulas de mariposa VAMEIN, es que cualquier actuador normalizado ya sea eléctrico, neumático o hidráulico, puede montarse directamente sobre la brida superior de la válvula, ya que esta diseñada conforme a la norma ISO-DIN 5211. Esto brinda igualmente la posibilidad de cualquier intercambio de actuadores manuales por automáticos, sin necesidad de modificaciones o elementos adicionales para el acople del accionamiento seleccionado. Este cambio se puede realizar perfectamente in situ, permitiendo así una posterior automatización de las instalaciones, sin necesidad de realizar desmontajes, siempre costosos y problemáticos, o en el peor de los casos la parada de líneas de proceso.

Accionamiento por servomotor eléctrico tipo VJ

Características:

Especificamente desarrollados para aplicaciones de $\frac{1}{4}$ vuelta con ángulos de maniobra hasta 270°. Pares reales de maniobra de 20 a 300 Nm con un amplio equipo básico en su versión estándar:

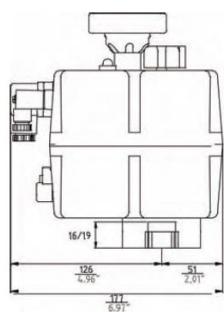
- ✓ ATC – Control térmico de temperatura
- ✓ AVS – Multivoltaje Serie L 12 -48 V AC/DC, Serie H 85 – 240 V AC/DC
- ✓ ETL – Control electrónico del par (limitación permanente del par del motor)
- ✓ MO – Mando manual de emergencia

Opciones:

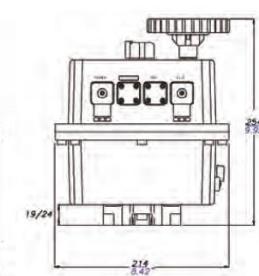
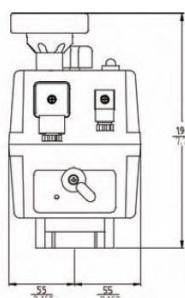
- ✓ Cuerpo y tapa en aluminio o acero inoxidable.
- ✓ Posicionador electrónico 4-20 mA ó 0-10 V.
- ✓ Bloque de seguridad BSR (mediante baterías recargables).



SELECCIÓN Y DIMENSIONES DE ACTUADORES ELÉCTRICOS TIPO VJ						
Referencia	DN Aplicación	Alto	Ancho	Largo	Tiempo Maniobra (seg)	Peso (Kg)
H/L 35	50-80	171	110	177	11/12	1.7
H/L 55	100-125	196	110	177	13/17	2.3
H/L 85	150	196	110	177	32/33	2.8
H/L 140/300	200-250	254	214	235	30-33/60-66	5.2



H/L 35/55/85



H/L 140/300

7.6. RESISTENCIA TUBULAR ALETADA

RESISTENCIAS TUBULARES PARA PROCESOS



Son resistencias calefactoras tubulares de múltiples elementos (Packet), para calentamiento de líquidos o soluciones químicas, aire ó gases. Poseen brida o borde (Flange) ó cualquier otra adecuación. Los de calentamiento de aire son Bancos de resistencias tubulares libres o tubulares aletadas. Estas resistencias son de alta calidad y desarrollo de fabricación y de larga operación de trabajo. Pueden constituir equipos compactos con tablero de control incluido, para realizar un proceso industrial completo. Cumplen con las normas internacionales: NEMA, NFA, ASME, IEC (según consideraciones personalizadas de fabricación).

Temperatura de uso:
Van desde 60° a 600°C

APLICACIÓN **CARACTERÍSTICAS** **CAPACIDAD Y POTENCIA** **TERMINACIONES** **MODELOS**



Tubulares en General

- Funda exterior de Acero Inoxidable, 304, 310, 316L y para agua limpia en Cobre tipo K o M. Pueden usarse otros materiales especiales contra corrosión.
- Elemento bobinado de resistencia de Ni-Cr de alta calidad para temperatura hasta 1100°C.aislada y compactada con refractario y aislante MgO, permitiendo rápida transferencia del calor y dando excelente aislamiento eléctrico.
- Pueden conformarse a diversos modelos y figuras.
- Pueden usarse para diversas potencias y voltajes: 115 / 220 / 380 / 440 V
- Las **tubulares de Inmersión** poseen tapón rosado con o sin caja protectora (Box) y hasta termostato .Los de varias unidades pero de poca potencia llevan Brida incluyen un tubo para sonda exterior de temperatura.
- Poseen una variedad de acabados y conexionados para cada aplicación en particular.
- Diámetro del tubo o funda exterior de: Ø 8.2 mm y 11.2 mm (± 0.2 mm).
- Para el Control, disponemos de una serie de Tableros o controles simples para automatizar y controlar el proceso de calentamiento.

Tubulares para Procesos

- Son fabricados con tubo de Acero Inoxidable, 304, 316L o Incoloy. Pueden usarse otros materiales como sobre-fundas especiales contra corrosión.
- Normalmente forman un conjunto de elementos en forma de "U" desde 3 hasta 48. Para los de Calentamiento de Aire o gases Pueden ser "U" o "M".
- Medidas: El Ø del tubo es de 11.5mm / 12mm y máximo Ø1/2" si son rectos para aire forzado o aletadas.
- Pueden conformarse a otros modelos según necesidad, pudiendo también ser rectos.
- Pueden usarse para diversas potencias: desde 6 Kw a 120 Kw (en múltiples conjuntos) y voltajes: 220 / 220 y 380 / 220 y 440 V trifásicos.
- Los tubulares de Inmersión pueden conformar un sistema completo de calentamiento, formando generadores ó turbinas de calor.
- Los de Inmersión Poseen Flange normado SAE o ASME. Caja de Conexiones Cuadradas o Redondas y Conectores de Cerámica interna de alta calidad.
- Los de Calentamiento de Aire Poseen Caja de conexiones Normalizada en Acero Pintado horneado. Caja superior o Lateral según necesidad, Control incluido de seguridad para Temperatura (Por Termostato límite o Sonda para Termopar ANSI"J".) Y sensor de flujo de aire si se desea.
- Todos estos calefactores poseen conectores protegidos en caja, inclusive con tablero de control.
- Fabricados especialmente ha pedido.
- Se aplican las normativas que el Cliente especifique: NTP (Peruana), NFPA. ASME, API, IEC.

7.7. OTORREDUCTOR ½ HP



SEW EURODRIVE DEL PERU S.A.C.

RUC: 20471133770

Calle los Calderos 122 - Ate - Lima - Perú

Teléfono: + 511 - 2086700 Fax: + 511 - 3493002

e-mail: ventas@sew-eurodrive.com.pe

Cotización

Nuestra Ref.:2903577

Fecha : 14. Mayo 2018

Pág.: 1 de 2

GRANOS DEL INKA SAC (41005524)

Atención : Mario Lupaca

Teléfono:

Teléfono Móvil:

Correo: mario.lupaca@pucp.pe

Ref. de cliente:

Vendedor: Marco Soraluz

Teléfono: 968606689

Correo: Marco.soraluz@sew-eurodrive.com.pe

Cotizador: JT

Item	Material	Cant.	Descripción	Mon.	Precio Unit.	Total
01	SEW	1	SEW	S/.	3.058,16	3.058,16

Número de Serie	41.0290357701.0001.18
Descripción de catálogo	SA37/T DRS71S4
Potencia motor A [kW]	0,370
Vel. salida calculada A [rpm]	27
Par de salida [Nm]	85
Factor de servicio SEW FB	0,95
Índice reducción total [i]	63,33
Posición de montaje / IM	M3A
Eje hueco	20 mm
Eje de salida	10 mm ExtremoPiñónEje
Brida de Motor	0
Brida de Reductor	FG100 D120
Características access. genera	T con brazo de par
Tipo de servicio S1-S10	S1
Tensión del motor [V]	220/440
Corriente nominal [A]	0,96
Frecuencia del motor [Hz]	60,0
Tipo de conexión	Doble triángulo / Triángulo
Tipo de protección [IP]	55
TIEMPO DE ENTREGA	03 a 05 días útiles salvo vent

cont.

7.8. CELDA DE CARGA CBX

CBX

CELULAS DE CARGA DE COMPRESIÓN - PERFIL BAJO
COMPRESSION LOAD CELLS - LOW PROFILE

GOST R
Russian Standards

 **Opcional**
on request

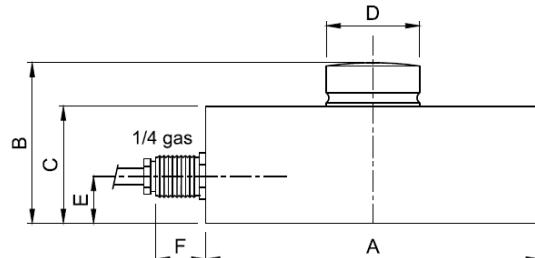
CBX kg 15000	para accesorio V10000 (<i>mounting kit</i>)
CBX kg 30000	para accesorio V15000 (<i>mounting kit</i>)
CBX kg 50000	para accesorio V30000 (<i>mounting kit</i>)
OPCIONAL BAJO PEDIDO :	
- Adaptador CBX 15000 para accesorio V15000	
- Adaptador CBX 30000 para accesorio V30000	
- Adaptador CBX 50000 para accesorio V100000	
- Aprobación ATEX  II 1 GD (zonas 0-1-2-20-21-22)	
CERTIFICADO DE TRAZABILIDAD SIT	
- Dos puentes de Wheatstone extensiométricos redundante (350 Ω) con dos cables de salida; para sistemas de doble seguridad	
OPTIONS ON REQUEST :	
- CBX 15000 adapter for V15000 mounting kit	
- CBX 30000 adapter for V30000 mounting kit	
- CBX 50000 adapter for V100000 mounting kit	
- ATEX approved  II 1 GD (zone 0-1-2-20-21-22)	
- SIT traceability certificate (E. A.)	
- Two redundant strain gauges Wheatstone bridges (350 Ω) with two output cables; for dual safety systems	

Fabricadas de conformidad con las normas OIML R60

Manufactured according to OIML R60 standards

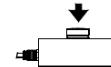


- CONSTRUCCIÓN EN ACERO INOXIDABLE 17-4 PH
- ERROR COMBINADO \leq +/- 0,035%
- GRADO DE PROTECCIÓN IP68
- 17-4PH STAINLESS STEEL CONSTRUCTION
- COMBINED ERROR \leq +/- 0.035 %
- PROTECTION RATING IP 68



	15000	30000	50000
A	Ø 82	Ø 100	Ø 126
B	44	48	54
C	32	35	40
D	Ø 22	Ø 28	Ø 35
E	14	14	14
F	15	15	15

Dimensions (mm)



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

SENSIBILIDAD
EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CERO
EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL FONDO DE ESCALA
COMPENSACIÓN TÉRMICA
RANGO DE TEMPERATURA DE TRABAJO
FLUENCIA EN CARGA NOMINAL TRAS 4 HORAS
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN MÁX. TOLERADA
RESISTENCIA DE ENTRADA
RESISTENCIA DE SALIDA
BALANCE EN CERO
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
CARGA ESTÁTICA MÁXIMA (%) en el fondo de escala)
CARGA DE ROTURA (%) en el fondo de escala)
DEFLEXIÓN CON CARGA NOMINAL

2 mV/V +/- 0,1%
0.005 % / °C
0.003 % / °C
- 10°C / + 50°C
- 20°C / + 70°C
0,03 %
15 Volt
700 ohm +/- 5
700 ohm +/- 5
+/- 1 %
> 10000 Mohm
150 %
> 300 %
0.4 mm

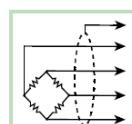
RATED OUTPUT
TEMPERATURE EFFECT ON ZERO
TEMPERATURE EFFECT ON SPAN
COMPENSATED TEMPERATURE RANGE
OPERATING TEMPERATURE RANGE
CREEP AT NOMINAL LOAD AFTER 4 HOURS
MAX SUPPLY VOLTAGE WITHOUT DAMAGE
INPUT RESISTANCE
OUTPUT RESISTANCE
ZERO BALANCE
INSULATION RESISTANCE
SAFE OVERLOAD (% of Full Scale)
ULTIMATE OVERLOAD (% of Full Scale)
DEFLECTION AT NOMINAL LOAD

CABLE

CABLE E

LONGITUD
DIÁMETRO
HILOS CONDUCTORES

10 m
5 mm
6 x 0.25 mm²



PANTALLA

+ SEÑAL (VERDE)	+ SIGNAL (GREEN)
+ ALIMENTACIÓN (ROJO)	+ EXCITATION (RED)
- SEÑAL (BLANCO)	- SIGNAL (WHITE)
- ALIMENTACIÓN (NEGRO)	- EXCITATION (BLACK)

Accesorios de montaje / Mounting accessories

7.9. TERMOCUPLA TIPO K

Instrumentación de
temperatura eléctrica

Para la industria de plásticos Termopar de bayoneta de ajuste fijo Modelo TC47-FB

Hoja técnica WIKA TE 67.24

Aplicaciones

- Industria del plástico y del caucho
- Para la conexión directa al proceso
- Registro de temperatura en cilindros
- Matrices para perfiles de extrusión
- Embalaje

Características

- El sensor se fija con una longitud determinada y se incorpora al proceso
- Para los sensores del termopar puede suministrarse con una gran variedad de conexiones
- Material de la vaina disponible en acero inoxidable, así como en aleaciones resistentes a la corrosión y a prueba de oxidación a altas temperaturas
- Construcción de la sonda: estructura tubular
- Intercambiable y fácil de reemplazar



Termopar de bayoneta fijo, modelo TC47-FB

Fig. izq.: Versión con codo de 90°

Fig. central: Versión con codo de 45°

Fig. der.: Versión recta

Descripción

El termopar de bayoneta fijo TC47-FB es un sensor de temperatura de uso universal para cualquier aplicación en la que se requieran termopares revestidos metálicamente. Para cada aplicación puede seleccionarse individualmente una gran variedad de elementos y conexiones. Gracias a los diferentes diámetros y longitudes de inmersión preajustadas, el termopar TC47-FB puede usarse en forma flexible para diferentes puntos de montaje de fácil acceso.

Debido al tapón de bayoneta ajustado de manera fija se garantiza una presión uniforme de la punta de medición en el taladro si el termopar está correctamente instalado.

El termopar de bayoneta de ajuste fijo se sujeta mediante un adaptador de bayoneta. Es ideal para aplicaciones en las cuales la punta del sensor de metal debe adaptarse directamente a una perforación.

El sensor de temperatura puede modificarse para aplicaciones específicas.

Hoja técnica WIKA TE 67.24 · 04/2011

Página 1 de 7

Sensor

Tipo de sensor

- Tipo J (Fe-CuNi)
- Tipo L (Fe-CuNi)
- Tipo K (NiCr-Ni)
- Tipo T (Cu-CuNi)
- Otros a consultar

Número de sensores

- 2 hilos termopar individual
- 4 hilos termopar doble

Tolerancias

- Clasificación europea 1 y 2 según DIN EN 60584-2 DIN 43714 y DIN 43713: 1991
DIN internacional (IEC) 43722: 1994
JISC 1610: 1981
NFC 4232
BS 1843
- Clasificación norteamericana 1 y 2
Normas especiales ISA según ANSI MC 96.1 - 1982

Punto de medición

- Aislado (no conectado a tierra)
- No aislado (conectado a tierra)

Construcción de la sonda: estructura tubular

Los sensores de temperatura tienen una estructura tubular que consiste en una vaina tubular en la cual se introduce y se fija el conductor térmico. Debido a este diseño, los sensores de temperatura pueden utilizarse en lugares de fácil acceso.

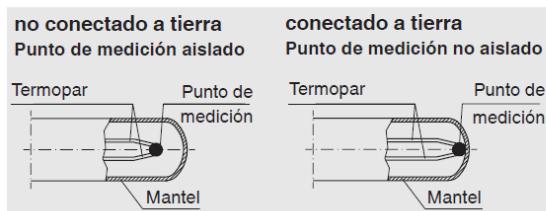
Opciones

- Longitudes y diámetros específicos para el cliente
- Clasificaciones de calibración personalizadas
- Identificación (número de identificación específico para el cliente)
- Tolerancia de precisión seleccionable
- Opciones de instalación especificadas por el cliente

Ejecución de la punta del sensor

La versión estándar está dotada de un sensor adecuado para el rango de medición seleccionado.

El modelo TC47-FB está disponible en dos variantes distintas:



Valores básicos y desviaciones límite

En la definición de la desviación límite del termopar se toma como base la comparación de la punta fría a 0 °C.

Temperatura (ITS 90) °C	Desviación límite DIN EN 60584	
	Tipo J °C	Tipo K °C
0	± 2,5	± 2,5
200	± 2,5	± 2,5
400	± 3,0	± 3,0
600	± 4,5	± 4,5
800	no definida	± 6,0

Tipos J, L DIN EN 60584, ANSI MC 96.1

Clase	Rango de temperatura	Desviación límite
1	-40 ... +375 °C	± 1,5 °C
1	+375 ... +750 °C	± 0,0040 · t ¹⁾
2	-40 ... +333 °C	± 2,5 °C
2	+333 ... +750 °C	± 0,0075 · t ¹⁾

Tipo K DIN EN 60584, ANSI MC 96.1

Clase	Rango de temperatura	Desviación límite
1	-40 ... +375 °C	± 1,5 °C
1	+375 ... +750 °C	± 0,0040 · t ¹⁾
2	-40 ... +333 °C	± 2,5 °C
2	+333 ... +750 °C	± 0,0075 · t ¹⁾

Tipo T DIN EN 60584, ANSI MC 96.1

Clase	Rango de temperatura	Desviación límite
1	-40 ... +125 °C	± 0,5 °C
1	+125 ... +350 °C	± 0,0040 · t ¹⁾
2	-40 ... +133 °C	± 1,0 °C
2	+133 ... +350 °C	± 0,0075 · t ¹⁾

1) | t | es el valor numérico de la temperatura en °C sin considerar el signo.

Material de la vaina

- Acero inoxidable
 - hasta 1200 °C
 - buena resistencia a la corrosión en medios agresivos
- Aleación de níquel 2.4816 (Inconel 600)
 - Material estándar para todas las aplicaciones que requieren una elevada resistencia a la corrosión con temperaturas al mismo tiempo elevadas; resistente a la corrosión de fisura inducida por esfuerzos
- Otros a consultar

7.10. PISTÓN ELÉCTRICO



Cylinders - performance class 2



LH15 Electric cylinder



LAMBDA Electric cylinder



LZ60 Electric cylinder
(here with motor
fitted in parallel)

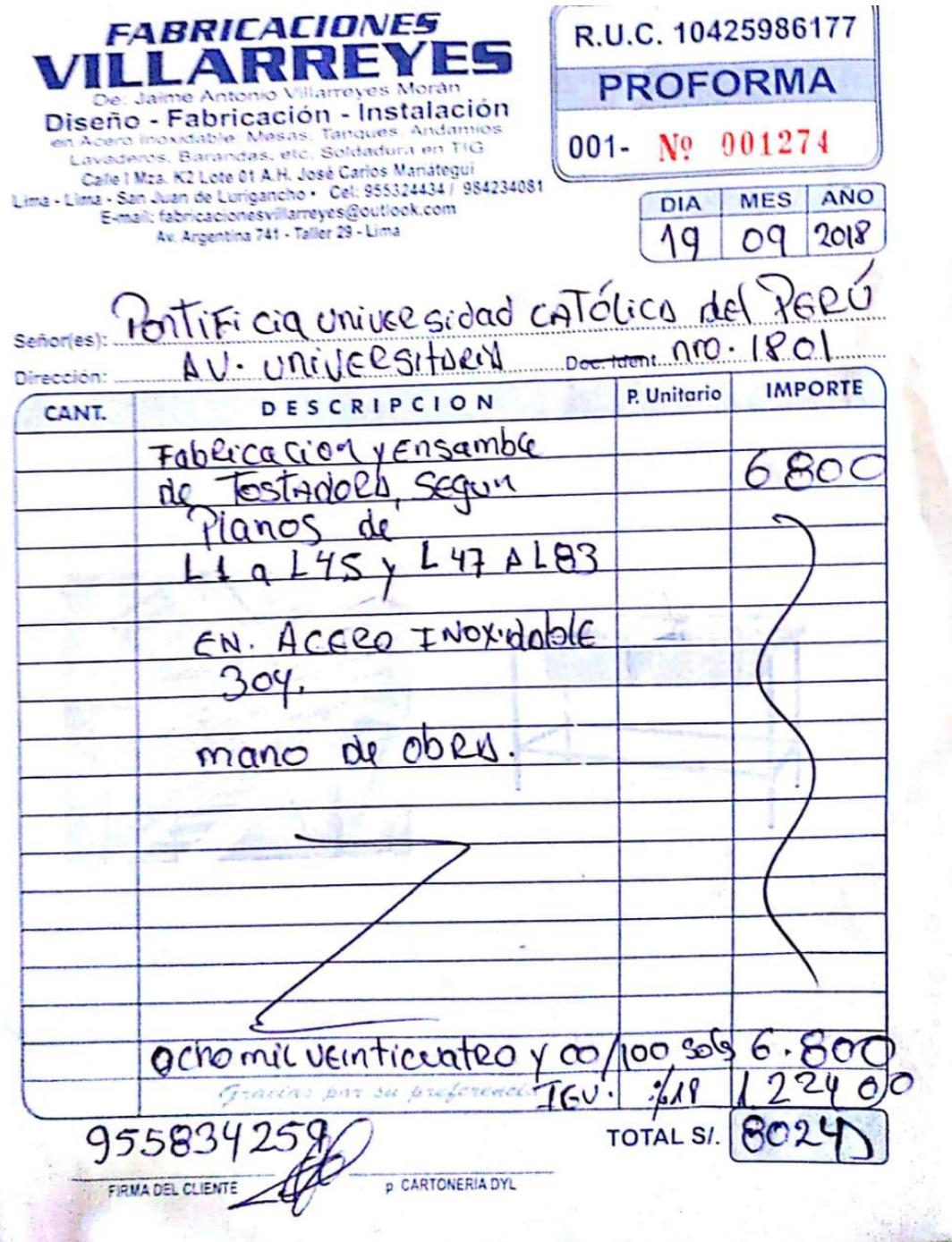
Features:

- Wide range of application and fixing options
- Limit switch integrated on all models
- Maintenance-free – due to permanent lubrication
- Rugged design
- Corrosion-protected by means of durable materials, such as aluminum, stainless steel and plastic

General information/operating conditions

	Drive
Design	Linear cylinder with integrated DC motor
Guide	Slide bush
Installation position	Any position, without shear forces
Push force/Pull force	Up to 1,000 N
Self-locking	Up to 2,000 N
Ambient temperature	-20°C to +60°C
Repeatability	0.5 mm
Duty cycle (at max. load)	10% at nominal load (max. 2 mins operating time, 18 mins rest time)
Voltage	24 (12) V DC
Current output	Max. 2.2 (4.5) A
Power input	Max. 50 W
Protection class	IP 54

7.11. PROFORMA DE FABRICACIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

PLANOS

**TOSTADORA AUTOMÁTICA PARA GRANOS DE QUINUA
MEDIANTE AIRE CALIENTE**

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

Mario Alberto Lupaca Flores

ASESORA: MSc. Karol Muñoz Salas

Lima, enero del 2019

ÍNDICE DE PLANOS

- L 1 – PLANCHA INFERIOR – A2
- L 2 – PLANCHA LATERAL 1 – A2
- L 3 – PLANCHA LATERAL 2 – A2
- L 4 – PLANCHA LATERAL 3 – A2
- L 5 – PLANCHA LATERAL 4 – A2
- L 6 – PLANCHA SUPERIOR – A2
- L 7 – PLANCHA PARA GARRUCHA – A4
- L 8 – TAPA DE DESCARGA – A4
- L 9 – PERFIL CUADRADO DE SOPORTE – A3
- L 10 – ESTRUCTURA INFERIOR – A2
- L 11 – ENSAMBLE ESTRUCTURA INFERIOR – A1
- L 12 – CILINDRO DE ABASTECIMIENTO – A4
- L 13 – CONO DE ABASTECIMIENTO – A4
- L 14 – ENSAMBLE DE ABASTECIMIENTO – A2
- L 15 – BORDE DE ENFRIADOR – A3
- L 16 – BASE DE ENFRIADOR – A3
- L 17 – PLANCHA DE SOPORTE – A4
- L 18 – PLANCHA PERFORADA – A4
- L 19 – BASE DE DESCARGA – A3
- L 20 – SUB ENSAMBLE DESCARGA – A3
- L 21 – SUB ENSAMBLE BASE ENFRIADOR – A2
- L 22 – ESTRUCTURA INFERIOR DE ENFRIADOR – A3
- L 23 – TUBO PARA PALETAS – A3
- L 24 – EJE DE PALETAS – A3
- L 25 – SUB ENSAMBLE PALETA – A3
- L 26 – EJE HEMBRA – A3
- L 27 – SUB ENSAMBLE EJE HEMBRA – A3
- L 28 – ENSAMBLE EJE DE PALETAS – A2
- L 29 – ESTRUCTURA SOPORTE DE RODAMIENTOS – A3
- L 30 – PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO SUPERIOR – A4
- L 31 – PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO INFERIOR – A4
- L 32 – SUB ENSAMBLE SOPORTE RODAMIENTO – A2
- L 33 – EJE MACHO – A3
- L 34 – EJE PARA MOTOREDUCTOR – A3
- L 35 – ENSAMBLE ENFRIADOR – A1

L 36 – CILINDRO DE CALENTADOR – A4
L 37 – CONO DE CALENTADOR – A4
L 38 – SUB ENSAMBLE CALENTADOR DE AIRE – A3
L 39 – CILINDRO DE EXPULSIÓN – A4
L 40 – CONO SUPERIOR DE EXPULSIÓN – A4
L 41 – CONO INFERIOR DE EXPULSIÓN – A4
L 42 – SUB ENSAMBLE TOLVA DE EXPULSIÓN – A3
L 43 – CILINDRO PARA LECHO – A4
L 44 – PLANCHA SOPORTE DE CILINDRO PARA LECHO – A4
L 45 – SUB ENSAMBLE CILINDRO PARA LECHO – A3
L 46 – VIDRIO CILÍNDRICO – A4
L 47 – ANILLO BASE PARA VIDRIO – A4
L 48 – CILINDRO PARA BASE INFERIOR – A4
L 49 – SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO INFERIOR – A3
L 50 – CILINDRO PARA BASE SUPERIOR – A4
L 51 – SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO SUPERIOR – A3
L 52 – PLANCHA SOPORTE DE SERVO – A4
L 53 – SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR 2 – A2
L 54 – TAPA SUPERIOR – A4
L 55 – CONO DE CÁMARA DE TOSTADO – A4
L 56 – PLANCHA PARA TRANSPORTE 1 – A4
L 57 – PLANCHA PARA TRANSPORTE 2 – A4
L 58 – SUB ENSAMBLE TAPA PARA TRANSPORTE – A3
L 59 – ENSAMBLE BISAGRA PARA TRANSPORTE – A3
L 60 – TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 1 – A4
L 61 – TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 2 – A4
L 62 – PLANCHA PARA BRACKET DE SERVO – A4
L 63 – SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR PARA TRANSPORTE – A2
L 64 – PLANCHA LATERAL PARA TRANSPORTE – A3
L 65 – PLANCHA SUPERIOR PARA TRANSPORTE – A4
L 66 – PLANCHA INCLINADA PARA TRANSPORTE – A4
L 67 – PLANCHA INFERIOR PARA TRANSPORTE – A3
L 68 – SUB ENSAMBLE CUBIERTA DE TRANSPORTE – A3
L 69 – SUB ENSAMBLE CÁMARA DE TOSTADO – A1
L 70 – ENSAMBLE TOSTADORA – A2
L 71 – ANILLO DE EXPULSIÓN – A4
L 72 – SUB ENSAMBLE BANDEJA DE EXPULSIÓN – A3

L 73 – SOPORTE PANEL DE CONTROL – A2
L 74 – ENSAMBLE PANEL DE CONTROL – A2
L 75 – ENSAMBLE SOPLADOR DE AIRE – A1
L 76 – TOLVA DE DESCARGA – A3
L 77 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 1 – A4
L 78 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 2 – A4
L 79 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 3 – A4
L 80 – ESTRUCTURA SOPORTE DE DESCARGA – A3
L 81 – ENSAMBLE DE DESCARGA – A2
L 82 – PLANCHA SOPORTE SOPLADOR – A4
L 83 – ENSAMBLE TOSTADORA DE AIRE CALIENTE – A1
L 84 – DIAGRAMA UNIFILAR ELÉCTRICO – A3



- L 1 – PLANCHA INFERIOR – A2
- L 2 – PLANCHA LATERAL 1 – A2
- L 3 – PLANCHA LATERAL 2 – A2
- L 4 – PLANCHA LATERAL 3 – A2
- L 5 – PLANCHA LATERAL 4 – A2
- L 6 – PLANCHA SUPERIOR – A2
- L 7 – PLANCHA PARA GARRUCHA – A4
- L 8 – TAPA DE DESCARGA – A4
- L 9 – PERFIL CUADRADO DE SOPORTE – A3
- L 10 – ESTRUCTURA INFERIOR – A2
- L 11 – ENSAMBLE ESTRUCTURA INFERIOR – A1
- L 12 – CILINDRO DE ABASTECIMIENTO – A4
- L 13 – CONO DE ABASTECIMIENTO – A4
- L 14 – ENSAMBLE DE ABASTECIMIENTO – A2
- L 15 – BORDE DE ENFRIADOR – A3
- L 16 – BASE DE ENFRIADOR – A3
- L 17 – PLANCHA DE SOPORTE – A4
- L 18 – PLANCHA PERFORADA – A4
- L 19 – BASE DE DESCARGA – A3
- L 20 – SUB ENSAMBLE DESCARGA – A3
- L 21 – SUB ENSAMBLE BASE ENFRIADOR – A2
- L 22 – ESTRUCTURA INFERIOR DE ENFRIADOR – A3
- L 23 – TUBO PARA PALETAS – A3
- L 24 – EJE DE PALETAS – A3
- L 25 – SUB ENSAMBLE PALETA – A3
- L 26 – EJE HEMBRA – A3
- L 27 – SUB ENSAMBLE EJE HEMBRA – A3
- L 28 – ENSAMBLE EJE DE PALETAS – A2
- L 29 – ESTRUCTURA SOPORTE DE RODAMIENTOS – A3
- L 30 – PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO SUPERIOR – A4

L 31 – PLANCHA SOPORTE DE RODAMIENTO INFERIOR – A4
L 32 – SUB ENSAMBLE SOPORTE RODAMIENTO – A2
L 33 – EJE MACHO – A3
L 34 – EJE PARA MOTOREDUCTOR – A3
L 35 – ENSAMBLE ENFRIADOR – A1
L 36 – CILINDRO DE CALENTADOR – A4
L 37 – CONO DE CALENTADOR – A4
L 38 – SUB ENSAMBLE CALENTADOR DE AIRE – A3
L 39 – CILINDRO DE EXPULSIÓN – A4
L 40 – CONO SUPERIOR DE EXPULSIÓN – A4
L 41 – CONO INFERIOR DE EXPULSIÓN – A4
L 42 – SUB ENSAMBLE TOLVA DE EXPULSIÓN – A3
L 43 – CILINDRO PARA LECHO – A4
L 44 – PLANCHA SOPORTE DE CILINDRO PARA LECHO – A4
L 45 – SUB ENSAMBLE CILINDRO PARA LECHO – A3
L 46 – VIDRIO CILÍNDRICO – A4
L 47 – ANILLO BASE PARA VIDRIO – A4
L 48 – CILINDRO PARA BASE INFERIOR – A4
L 49 – SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO INFERIOR – A3
L 50 – CILINDRO PARA BASE SUPERIOR – A4
L 51 – SUB ENSAMBLE SOPORTE DE VIDRIO SUPERIOR – A3
L 52 – PLANCHA SOPORTE DE SERVO – A4
L 53 – SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR 2 – A2
L 54 – TAPA SUPERIOR – A4
L 55 – CONO DE CÁMARA DE TOSTADO – A4
L 56 – PLANCHA PARA TRANSPORTE 1 – A4
L 57 – PLANCHA PARA TRANSPORTE 2 – A4
L 58 – SUB ENSAMBLE TAPA PARA TRANSPORTE – A3
L 59 – ENSAMBLE BISAGRA PARA TRANSPORTE – A3
L 60 – TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 1 – A4
L 61 – TUBO SOPORTE DE SERVO INFERIOR 2 – A4

L 62 – PLANCHA PARA BRACKET DE SERVO – A4
L 63 – SUB ENSAMBLE SERVOMOTOR PARA TRANSPORTE – A2
L 64 – PLANCHA LATERAL PARA TRANSPORTE – A3
L 65 – PLANCHA SUPERIOR PARA TRANSPORTE – A4
L 66 – PLANCHA INCLINADA PARA TRANSPORTE – A4
L 67 – PLANCHA INFERIOR PARA TRANSPORTE – A3
L 68 – SUB ENSAMBLE CUBIERTA DE TRANSPORTE – A3
L 69 – SUB ENSAMBLE CÁMARA DE TOSTADO – A1
L 70 – ENSAMBLE TOSTADORA – A2
L 71 – ANILLO DE EXPULSIÓN – A4
L 72 – SUB ENSAMBLE BANDEJA DE EXPULSIÓN – A3
L 73 – SOPORTE PANEL DE CONTROL – A2
L 74 – ENSAMBLE PANEL DE CONTROL – A2
L 75 – ENSAMBLE SOPLADOR DE AIRE – A1
L 76 – TOLVA DE DESCARGA – A3
L 77 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 1 – A4
L 78 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 2 – A4
L 79 – PERFIL CUADRADO SOPORTE DE DESCARGA 3 – A4
L 80 – ESTRUCTURA SOPORTE DE DESCARGA – A3
L 81 – ENSAMBLE DE DESCARGA – A2
L 82 – PLANCHA SOPORTE SOPLADOR – A4
L 83 – ENSAMBLE TOSTADORA DE AIRE CALIENTE – A1
L 84 – DIAGRAMA UNIFILAR ELÉCTRICO – A3