

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN DESGRANADOR Y CLASIFICADOR
DE GRANOS DE MAÍZ AMILÁCEO POR CALIBRE Y ESTADO DE
CONSERVACIÓN**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

AUTOR:

Sebastian Rodrigo Ramos Gallegos

ASESOR:

Luis Enrique García Zevallos

Lima, enero de 2021



© 2021, Sebastian Rodrigo Ramos Gallegos

Se autoriza la reproducción total o parcial,
Con fines académicos a través de cualquier
Medio o procedimiento, incluyendo la cita
Bibliográfica del documento.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se aborda la problemática que enfrentan los pequeños productores de maíz amiláceo en la serranía peruana, dada la baja rentabilidad de sus cosechas. Los procesos tales como el desgrane, limpieza y clasificación, hacen uso de mano de obra subempleada en procedimientos repetitivos, de desgaste y poco ergonómicos. Asimismo, la carencia de oferta en el Perú de maquinaria especializada para este tipo de grano, desfavorece la tecnificación de esta actividad para los pequeños y medianos productores. En ese sentido, se propone el diseño de una máquina que pueda desgranar mazorcas de maíz, limpiar y clasificar los granos por tamaño y estado de conservación. Esto último con el objetivo de estandarizar el producto final y hacer competitiva su oferta, facilitando su ingreso a nuevos mercados tal como el retail. Para el desarrollo de esta investigación, se emplea la metodología del diseño mecatrónico de la Asociación de Ingenieros Alemanes VDI, la cual inicia con la elaboración de una lista de requerimientos, a partir del levantamiento de información sobre la realidad de esta actividad en las zonas alto andinas del Perú, y la identificación de características de maquinaria empleada en procesos similares; con esta lista se procede a definir las funciones que debe cumplir la máquina y finalmente se emplean herramientas de análisis, tales como la matriz morfológica y la evaluación técnico económica, que permiten la identificación de conceptos de solución, y la selección del concepto óptimo respectivamente. Este concepto de solución óptimo, que cuenta con una tolva de ingreso, un mecanismo de desgrane por rodillo, una zaranda vibratoria para clasificación por tamaño y un sistema de visión para la clasificación por estado de conservación, logra alcanzar los objetivos planteados que dan solución a la problemática; y su controlador, basado en una minicomputadora “Raspberry Pi” junto a un acelerador de hardware Google Coral, permiten gobernar el funcionamiento de todo el sistema.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN	VIII
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Problemática.....	1
1.2. Propuesta de solución.....	5
1.2.1. Objetivos.....	6
1.2.2. Alcance de la propuesta.....	7
1.2.3. Metodología a desarrollar.....	7
1.3. Marco teórico.....	8
1.3.1. El maíz amiláceo.....	8
1.3.2. Razas del maíz amiláceo.....	9
1.3.3. Requerimientos de calidad del grano de maíz amiláceo.....	12
1.4. Estado del arte.....	13
1.4.1. Soluciones comerciales.....	13
1.4.2. Patentes y artículos de investigación.....	26
1.4.3. Tesis.....	33
2. DISEÑO CONCEPTUAL.....	39
2.1. Lista de requerimientos	40
2.2. Estructura de funciones.....	42
2.3. Matriz morfológica.....	49
2.4. Conceptos de solución	52
2.4.5. Evaluación técnica-económica.....	60
2.4.6. Concepto de solución óptimo.....	66
CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1. La importancia agrícola en el Perú en cifras estadísticas.....	2
Figura 1-2. Superficie cosechada y el precio del maíz amiláceo en el Perú	3
Figura 1-3. Producción de maíz amiláceo y su rendimiento en 6 departamentos del Perú	4
Figura 1-4. Problemas de lesión por desgrane manual y falta de acceso a maquinaria.....	5
Figura 1-5. Variedades de maíz amiláceo.....	9
Figura 1-6. Maíz de raza Huancavelicano	10
Figura 1-7. Maíz de raza Morocho.	11
Figura 1-8. Maíz de raza Cuzco.....	11
Figura 1-9. Desgranadora LG-120.....	14
Figura 1-10. Mecanismo de desgrane de la máquina LG-120	14
Figura 1-11. Mazorca antes y después del proceso de desgrane.....	15
Figura 1-12. Desgranadora TY-80D de la marca TAIZY.....	15
Figura 1-13. Estructura de la desgranadora TY-80D.....	16
Figura 1-14. Mecanismo de carga y descarga de la máquina TY-80D.....	16
Figura 1-15. Máquina desgranadora MX1200.....	17
Figura 1-16. Mecanismo de desgrane de la máquina MX1200	18
Figura 1-17. Mecanismo para limpieza de granos de la máquina MX1200	18
Figura 1-18. Máquina desgranadora 5TY-60 de la marca WEIWEI.....	19
Figura 1-19. Estructura de la máquina 5TY-60 ¹	19
Figura 1-20. Máquina clasificadora óptica PCS600BDS	20
Figura 1-21. Funcionamiento de máquina PCS600BDS	21
Figura 1-22. Cámara e iluminación de máquina PCS600BDS	21
Figura 1-23. Resultado del proceso de máquina PCS600BDS	22
Figura 1-24. Clasificadora óptica PIKASEN FMS2000-F	22
Figura 1-25. Estructura interna de máquina FMS2000-F	23
Figura 1-26. Máquina clasificadora óptica DRYCE.....	24
Figura 1-27. Cámaras y rampa de caída de máquina DRYCE	24
Figura 1-28. Características de visión de máquina DRYCE.....	25
Figura 1-29. Válvulas de eyección de máquina DRYCE	25
Figura 1-30. Vistas frontal y perfil de la máquina con patente US 4986793 A.....	26
Figura 1-31. Vistas isométrica y perfil de la máquina con patente CN 210143336 U	28
Figura 1-32. Cilindros para desgrane.....	28

Figura 1-33. Estructura del diseño mecánico de la desgranadora de maíz seco suave	29
Figura 1-34. Sistema interno de rodillos de desgranado.....	29
Figura 1-35. Circuito electrónico de regulación de velocidad del motor AC.....	30
Figura 1-36. Diagrama esquemático de microprocesador de control y sensado de corriente..	30
Figura 1-37. Algoritmo de clasificación de vectores de Fisher.	32
Figura 1-38. Algoritmo de clasificación basado en la red neuronal AlexNet.....	32
Figura 1-39. Máquina desgranadora propuesta en la tesis de Luis Christian Cholca	33
Figura 1-40. Mecanismo de desgranado propuesto en la tesis de Joel Ureña.....	34
Figura 1-41. Estructura de la desgranadora de maíz propuesta en la tesis de Joel Ureña	35
Figura 1-42. Aleta y criba diseñadas en la tesis de Joel Ureña.....	35
Figura 1-43. Aletas rectas del ventilador centrífugo en la tesis de Joel Ureña.....	36
Figura 1-44. Diseño de clasificadora vibratoria propuesta en la tesis de Víctor López	37
Figura 1-45. Sistema de visión de arándanos propuesto en la tesis de Takao Shimabukuro...38	
Figura 1-46. Algoritmo de clasificación propuesto en la tesis de Takao Shimabukuro	38
Figura 2-1. Black Box del sistema a diseñar.....	43
Figura 2-2. Estructura de funciones del presente diseño	44
Figura 2-3. Dominio mecánico	45
Figura 2-4. Dominio de sensores y actuadores	46
Figura 2-5. Dominio de energía	47
Figura 2-6. Dominio de control	48
Figura 2-7. Dominio de interfaz.....	48
Figura 2-8. Vista externa del primer concepto de solución	52
Figura 2-9. Marco de soporte de componentes de primer concepto	53
Figura 2-10. Estructura interna de máquina de primera solución.....	53
Figura 2-11. Vistas de detalles de primer concepto de solución.....	54
Figura 2-12. Segundo concepto de solución	55
Figura 2-13. Disposición de mecanismo de desgranado de segundo concepto	55
Figura 2-14. Marco estructural de segundo concepto de solución.....	56
Figura 2-15. Tercer concepto de solución.....	57
Figura 2-16. Vistas de sistema de desgranado de tercer concepto de solución	57
Figura 2-17. Cuarto concepto de solución	58
Figura 2-18. Sistema de visión del cuarto concepto de solución.....	59
Figura 2-19. Válvulas de rápido accionamiento	59
Figura 2-20. Gráfica radial de evaluación técnica de los conceptos de solución	62

Figura 2-21. Gráfica radial de evaluación económica de los conceptos de solución	65
Figura 2-22. Gráfica de dispersión Valor técnico vs Valor económico.....	66
Figura 2-23. Vista isométrica del concepto de solución óptimo.....	67
Figura 2-24. Subsistemas del concepto de solución óptimo	67
Figura 2-25. Gabinete de componentes electrónicos	68
Figura 2-26. Electrónica de control del sistema de visión.....	68



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1. Principales características externas de razas de maíz amiláceo	12
Tabla 1-2. Información técnica de desgranadoras comerciales de maíz.....	20
Tabla 1-3. Información técnica de clasificadoras ópticas comerciales de maíz	25
Tabla 2-1. Funciones mecánicas del sistema a diseñar	45
Tabla 2-2. Funciones electrónicas del sistema a diseñar	46
Tabla 2-3. Funciones de energía del sistema a diseñar	47
Tabla 2-4. Funciones de control del sistema a diseñar	47
Tabla 2-5. Funciones de control del sistema a diseñar	48
Tabla 2-6. Matriz morfológica del dominio mecánico	49
Tabla 2-7. Matriz morfológica del dominio electrónico.....	50
Tabla 2-8. Matriz morfológica de dominio energía	50
Tabla 2-9. Matriz morfológica de dominio control	51
Tabla 2-10. Matriz morfológica de dominio interfaz.....	51
Tabla 2-11 Evaluación técnica de los conceptos de solución	61
Tabla 2-12 Evaluación económica de los conceptos de solución	64

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los procesos de desgrane y clasificación correspondientes a la cadena productiva del maíz amiláceo de la raza Cusco para exportación, son realizados manualmente por los agricultores rurales de la serranía del Perú. Esto genera una serie de deficiencias, tales como demoras en la producción, demanda innecesaria de mano de obra, riesgo de lesión a los trabajadores y errores de clasificación debido al factor humano. Asimismo, al ofrecer granos sin haber recibido un control de calidad, las asociaciones de pequeños agricultores carecen de poder de negociación frente a las empresas de acopio o comercializadoras, para establecer el precio en chacra de su maíz producido. Por último, en el mercado nacional e internacional, no existe oferta de clasificadoras de granos de maíz acorde a las características de la raza Cuzco.

Como una propuesta de solución a la problemática expuesta nace esta investigación, la cual tiene como objetivo el diseño conceptual de una máquina automática para clasificar granos de maíz amiláceo de la raza Cusco, considerando su calibre y estado de conservación, y empleando visión por computadora. El sistema diseñado es capaz de recibir las mazorcas de maíz amiláceo sin desbrozar, las cuales pasan por un proceso de desgrane basado en un mecanismo de rodillo con dados de impacto, instalado concéntricamente a una criba y accionado por un motor eléctrico. Para el proceso de clasificación del grano, se emplea un algoritmo de visión artificial basado en Deep Learning, permitiendo la identificación del grano con la diferenciación de sus características físicas, tales como color, integridad y forma.

El algoritmo empleado usa principios de la inteligencia artificial enfocados en el aprendizaje máquina, el cual se desarrolla sobre conceptos de redes neuronales. El uso de este algoritmo pre-entrenado implica inicialmente una etapa de preprocesamiento y preparación de las imágenes para el entrenamiento de la red neuronal. Una vez entrenada, la red será capaz de identificar cada grano con un asertividad del 95%, para ello la máquina requiere de un minicomputador Raspberry Pi con un acelerador de hardware Google Coral, para reducir tanto

el tiempo de procesamiento, como la respuesta del sistema. Finalmente, el proceso de disgregación se basa en un conjunto de inyectores de aire, los cuales permiten separar con precisión los granos selectos por calibre que cumplan con los requerimientos de calidad propios del mercado retail y de exportación.



CAPÍTULO 1

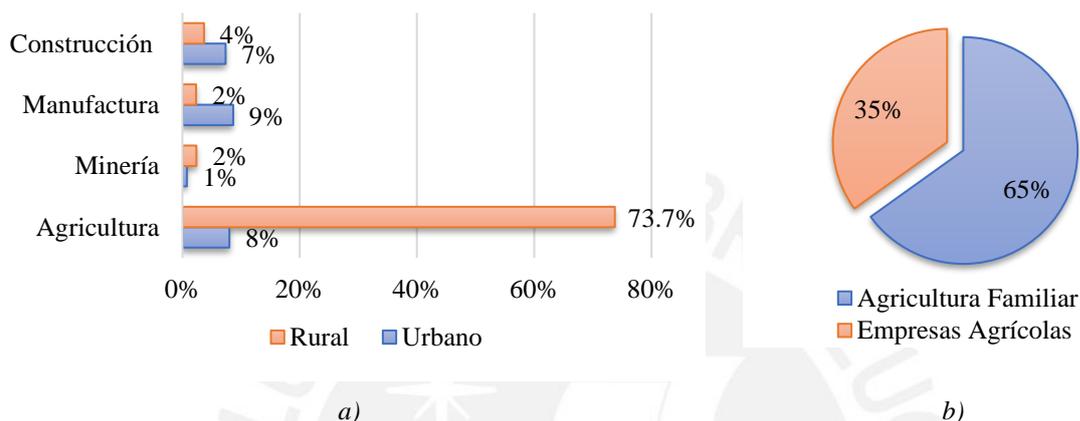
1. ANTECEDENTES

En este primer capítulo se identifica y describe la problemática a abordar en el presente trabajo de investigación. Asimismo, se planteará la propuesta de solución con la cual se busca resolver la raíz del problema presentado previamente. Para ello, se detallarán los objetivos generales y específicos, así como el alcance de este trabajo.

1.1. Problemática

La agricultura ha representado por mucho tiempo una actividad económica predominante en el Perú. En el año 2018, 12'305,718 personas representaron la Población Económicamente Activa Ocupada, de la cual el 19% lo conformó el sector agropecuario, representando la segunda actividad económica más ocupada, después del sector comercio, en el Perú (INEI, 2018a). Además, en la Figura 1-1. a, se muestran cifras donde la agricultura obtuvo una participación del 73.7% en la zona rural, frente al 8% en la zona urbana (INEI, 2018a). Esta

actividad agrícola rural es realizada en el Perú tanto por grandes productores, como por familias campesinas, representando estas últimas el 65% del total de productores del ramo según el censo ENAHO 2017 (Figura 1-1. b), y reafirmando así su importante participación dentro del sector agrario nacional (Pintado, 2017).



En las zonas rurales se cultivan una gran variedad de tipos de maíz, siendo el maíz amiláceo uno de los que más se producen al año. La demanda de maíz amiláceo en el país está en constante aumento anual, debido a la tendencia de alimentación saludable (Carrasco, 2018). Como se observa en la Figura 1-2. a, esta variedad de maíz fue cosechada por el 27.2% del total de productores en el año 2018 (INEI, 2018b). Además, su producción se concentra en 6 importantes departamentos del Perú: Cusco, Apurímac, Cajamarca, Ayacucho, La Libertad y Huancavelica (Minagri, 2018). Sin embargo, la producción de maíz amiláceo en Huancavelica, pese a representar la 2^{da} principal fuente económica de su población campesina después de la producción de papa, posee el valor en chacra más bajo, posicionándose por debajo de los

¹ INEI (2018) Perú Resultados definitivos Población Económicamente Activa

² Pintado (2017) Agricultura familiar y situación alimentaria en Huancavelica.

departamentos donde este precio supera los S/. 2, como se observa en la Figura 1-2. b (Minagri, 2018).

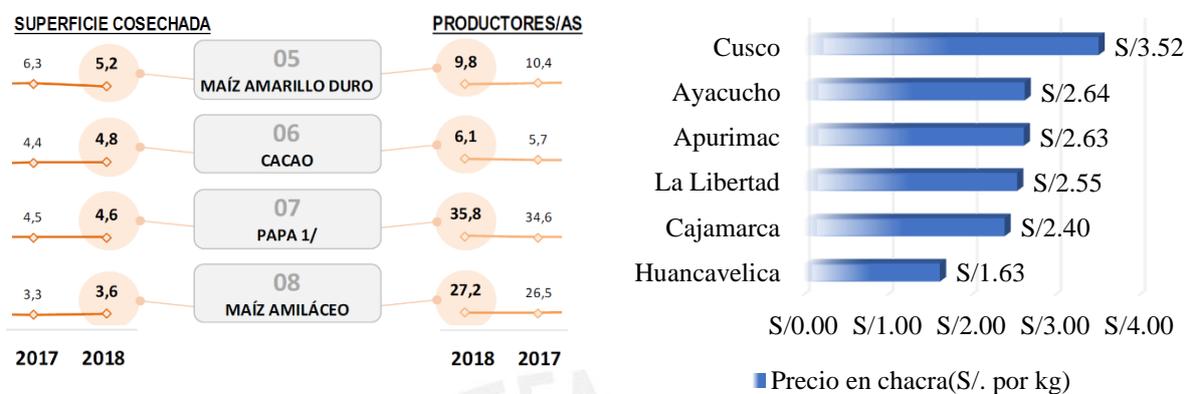


Figura 1-2. Superficie cosechada y el precio del maíz amiláceo en el Perú. a) Porcentajes de superficie cosechada y cantidad de pequeños/medianos productores anuales en el Perú del 2014 al 2018³. b) Precio en chacra del maíz amiláceo en soles por kilogramo en el año 2018⁴.

Además, como se observa en la Figura 1-3. a, la región de Huancavelica, pese a tener un rendimiento medio por encima de Ayacucho y Cajamarca (Figura 1-3. b); su producción total anual es la más baja entre los 6 departamentos. Este bajo rendimiento en la producción de Huancavelica se explica por el limitado acceso a recursos hídricos y financieros para la mejora de la cadena agro productiva del maíz; asimismo, la falta de uso de tecnología adecuada no les permite generar grandes volúmenes de producción, impidiéndoles obtener acceso a compradores en el mercado local (Esparza, 2019). Estos acopiadores y empresas comercializadoras, al tener mayor poder de negociación que los pequeños agricultores generalmente, establecen el precio de compra del maíz, no dándole capacidad a los productores rurales para establecer el precio final en chacra de sus cosechas (Dirección de Información Agraria, 2012).

³ INEI (2018) Principales resultados pequeñas, medianas y grandes unidades agropecuarias.

⁴ Minagri (2018) Anuario Estadístico de Producción Agrícola.

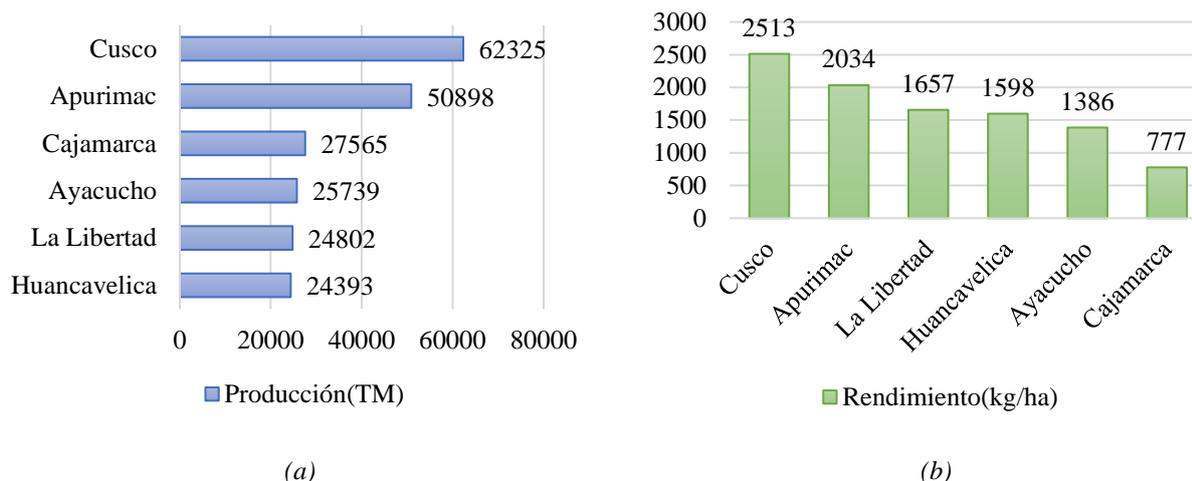


Figura 1-3. Producción de maíz amiláceo y su rendimiento en 6 departamentos del Perú. (a) Producción de maíz amiláceo en toneladas en el año 2018⁴. (b) Rendimiento de la producción de maíz amiláceo en kg/ha en el año 2018⁴.

Actualmente, el desgrane de maíz amiláceo es realizado manualmente por los agricultores rurales, generando como principales deficiencias la demora en producción, demanda innecesaria de mano de obra y riesgo de lesión a los trabajadores, por emplear los dedos como herramienta de desgrane (Figura 1-4. a) (Cacuango & Valencia, 2015). Además, los productores clasifican manualmente los granos por estado y tamaño, teniendo cuidado en obtener granos íntegros, no podridos y de tamaño aceptable para su comercialización (Jara Calvo, 2012). Este procesamiento manual se debe a la falta de máquinas que permitan la automatización de estos procesos; asimismo, en el extranjero no existen equipos al alcance del pequeño productor de maíz. Las principales empresas de maquinaria agrícola en el Perú, como IPESA, Stenica y Orbes Agrícola se dedican a la comercialización de tractores y cosechadoras, careciendo de máquinas desgranadoras y clasificadoras de granos de maíz. Por otra parte, la empresa italiana Zanin comercializa maquinaria de limpieza de granos de cereal, y la empresa Fabricación & Servicios el Iqueño fabrica desgranadoras de maíz de 12 T por hora, pero carecen de la funcionalidad de clasificado por estado o tamaño (ZANIN, 2020). Finalmente, la empresa china WEWEI Machinery ofrece desgranadoras de maíz, como la mostrada en la Figura 1-4. b, pero estas están diseñadas para el maíz amarillo dulce, una variedad distinta al maíz amiláceo en cuanto a tamaño, dureza y distribución de granos (WEIWEI, 2020).



(a)



(b)

Figura 1-4. Problemas de lesión por desgrane manual y falta de acceso a maquinaria. (a) Lesiones en los dedos por su uso como herramienta de desgrane. (b) Máquina china comercial desgranadora de maíz amarillo⁵.

Por consiguiente, los beneficios más importantes que traería la implementación de una solución tecnológica radicarán en la capacidad de desgranar el cultivo de maíz y clasificar sus granos de una forma rápida, sencilla y eficiente; reduciendo tiempos muertos, estandarizando la presentación del grano en miras a la exportación del mismo, y agilizando el proceso postcosecha. En el aspecto económico-comercial, esta solución permitirá al pequeño productor disminuir costos, aumentar la producción y hacer atractivo el producto final a los principales mercados (retails, ferias regionales, mercados internacionales, etc.) cumpliendo con sus estándares de calidad, tamaño uniforme del grano, buen color y estado de conservación. (Balcarce, 2007). Finalmente, en cuanto al aspecto social, se evitarán posibles lesiones al personal de trabajo y permitirá que el productor mejore su calidad de vida en el trabajo al dejar de realizar una labor desgastante y demandante en tiempo.

1.2. Propuesta de solución

Se propone el diseño de una máquina automática que desgrane maíz amiláceo y clasifique sus granos según su estado y tamaño. De esta manera, se obtienen granos íntegros, sanos y de tamaño comerciable con la finalidad de agilizar y estandarizar sus procesos postcosecha, y así

⁵ WEIWEI (2020) Corn Sheller 5TY-60.

facilitar su incursión a nuevos mercados, permitiendo una mejora en sus ingresos y, por consiguiente, en su calidad de vida.

1.2.1. Objetivos.

A continuación, se detalla el objetivo general y los objetivos específicos, planteados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

a) Objetivo general.

- Realizar el diseño conceptual de una máquina para el desgrane de maíz amiláceo y la clasificación de sus granos por calibre y calidad de conservación.

b) Objetivos específicos.

- Presentar el estado del arte de tecnologías que presenten las funcionalidades de desgrane de maíz y clasificación de granos.
- Elaborar una lista de requerimientos acorde a las características de tecnologías vigentes, a las necesidades de los interesados, y a las condiciones adecuadas de funcionamiento.
- Identificar las funciones parciales en los 6 dominios del sistema (mecánica, sensores, actuadores, energía, control e interfaz) y la interacción que se requiere entre estas para alcanzar el funcionamiento pleno del sistema.
- Proponer para cada función parcial, alternativas de principios de funcionamiento o portadores de solución.
- Desarrollar conceptos de solución integrados mediante la selección de los portadores de solución compatibles.
- Identificar el concepto de solución óptimo a partir de una evaluación técnica y económica, a partir de las soluciones integrales propuestas.

1.2.2. Alcance de la propuesta.

El presente trabajo de investigación consiste en el diseño conceptual de un sistema automático para desgrane y clasificación de granos de maíz amiláceo según su forma y estado de conservación, con una capacidad de procesamiento de 100 kg por lote de carga. La máquina obtendrá a su salida granos categorizados según su tamaño y estado de conservación externo, separando los defectuosos. Además, los granos seleccionados serán entregados íntegros, por calibre y limpios de impurezas o residuos.

1.2.3. Metodología a desarrollar.

- En el marco teórico, con el fin de establecer parámetros para el funcionamiento de la máquina, se realizará el estudio de las principales razas de maíz producidos en el sector rural del Perú, identificando sus principales propiedades y características físicas. Asimismo, se describirán las características que debe cumplir los granos para su comercialización en mercados, cumpliendo sus estándares de calidad.
- Se presentará el estado del arte del trabajo mediante el análisis del funcionamiento de máquinas comerciales, proyectos de tesis y artículos de investigación que tienen por finalidad el desgrane de maíz y la clasificación de sus granos por forma y tamaño. Entre estas tecnologías se realizará una comparación técnica y económica con el objetivo de integrar opciones de solución en cada subproceso para el desarrollo posterior del diseño conceptual de la máquina, según la metodología del diseño mecatrónico de la Asociación de Ingenieros Alemanes VDI.
- La lista de requerimientos reunirá todas las exigencias y deseos del cliente objetivo que deberá cumplir la máquina, como la función principal, las dimensiones del equipo, las materias primas de entrada y salida en el proceso, el tipo de fuente de energía, las señales de control, la fabricación, etc.

- El diagrama de funciones especificará los portadores de función en cada uno de los dominios de la máquina: mecánica, sensores, actuadores, control, energía e interfaz. Además, se describirán las relaciones de funcionamiento entre cada uno de ellos.
- La matriz morfológica se construirá a través de la identificación de portadores de función para cada función parcial en cada dominio de la máquina. Los principios de solución compatibles serán constituidos en los conceptos de solución preliminar del sistema.
- Se describirán los conceptos de solución del diseño mecatrónico desarrollados a partir de la lista de requerimientos, el diagrama de funciones y la matriz morfológica, mediante la integración de los portadores de función compatibles.
- Finalmente, los conceptos de solución serán evaluados según criterios técnicos y económicos para la obtención del concepto óptimo de solución, cuyas características de funcionamiento serán descritas.

1.3. Marco teórico

En la presente sección se describe las principales características físico-químicas del maíz amiláceo, así como las variedades más producidas en la sierra del Perú, con el objetivo de definir los parámetros de funcionamiento de la máquina. Asimismo, se presentan los requerimientos de calidad que el mercado exige para la comercialización del grano de maíz amiláceo.

1.3.1. El maíz amiláceo.

El maíz amiláceo (también denominado *Zea mays*), mostrado en la Figura 1-5, es una gramínea cuya composición interna se caracteriza por su alto contenido de 80% de almidón, 9% de proteína, pequeñas cantidades de aceite y trazas de minerales (AGRO RURAL, 2018). Además, los granos del maíz amiláceo son arenosos, blandos y de colores variados. La siembra

de este maíz es realizada en las regiones naturales de Yunga, Quechua y Suni, a alturas entre los 1500 y 3800 msnm (Dirección de Información Agraria, 2012). La producción del maíz amiláceo es principalmente destinada al autoconsumo de las familias agrícolas en forma de choclo, mote, cancha, harina (humita dulce y salada) y bebida (chicha). De todas estas formas, la producción para consumo de cancha y choclo es la fuente de ingreso más importantes para el campesino agrícola de la sierra del Perú (AGRO RURAL, 2018).



Figura 1-5. Variedades de maíz amiláceo⁶.

1.3.2. Razas del maíz amiláceo.

En el Perú existen diversas variedades de maíz amiláceo denominadas “razas”, identificándose un total de 55 razas organizadas en cinco grupos según su proceso evolutivo: primitivas, derivadas de las primitivas, de segunda derivación, introducidas e incipientes (Salhuana, 2004). Cada una de ellas reúnen especies de maíz amiláceo con características comunes de tipo morfológicas, fisiológicas y usos específicos (Dirección de Información Agraria, 2012). De este total de razas, 26 corresponden a la sierra siendo la raza San Gerónimo Huancavelicano, raza Cuzco y raza Morocho, las más cultivadas en esta región del Perú (Dirección de Información Agraria, 2012).

⁶ Cadena agro productiva de maíz amiláceo, MINAGRI (2012)

a) Raza San Gerónimo Huancavelicano.

Las mazorcas de la raza San Gerónimo Huancavelicano, mostradas en la Figura 1-6, son producidas en los departamentos de Junín, Huancavelica y Apurímac. En forma, son cónicas globulosas y en tamaño, pequeñas con 10 cm de largo y 6 cm de diámetro en promedio. Asimismo, presentan 12 hileras regulares de granos, los cuales son largos y gruesos. Por otro lado, presentan un endospermo (parte interna del grano) blanco y harinoso, y una cubierta externa que puede ser incolora, roja, marrón o variada (de varios colores). La tusa de esta raza de maíz puede ser incolora, de color rojo, marrón o variegada (Salhuana, 2004).



Figura 1-6. Maíz de raza Huancavelicano⁷.

b) Raza Morocho

El maíz de la raza Morocho, mostrado en la Figura 1-7, es cultivado en los departamentos de Ayacucho, Huancavelica y Apurímac. Son delgadas y de forma cónica, de 15 cm de largo y 10 hileras irregulares en promedio. Sus granos poseen una forma redondeada con endospermo de color amarillo en el exterior y harinoso en el interior, mientras que su pericarpio o cubierta externa es incoloro. La tusa de esta raza es generalmente de color blanco (Salhuana, 2004).

⁷ Diversidad y descripción de las razas de maíz del Perú, W. Salhuana (2014).



Figura 1-7. Maíz de raza Morocho⁷.

c) Raza Cuzco

Esta variedad de maíz, mostrada en la Figura 1-8, se cultiva en los departamentos de Cuzco, Cajamarca, Huancavelica, Áncash y las zonas bajas de Junín. Las mazorcas de esta raza se caracterizan por tener forma cilíndrica ovoidal con 15 cm de largo y 5 cm de diámetro en promedio. Además, estas poseen 8 hileras regulares de granos, los cuales son grandes y circulares, con un endospermo blanco harinoso y un pericarpio incoloro blanco por lo general (Salhuana, 2004). Esta variedad de maíz amiláceo es la de mayor producción en el Perú y la de mayor exportación a países tales como España, Japón y Estados Unidos (Dirección de Información Agraria, 2012).



Figura 1-8. Maíz de raza Cuzco⁷.

A continuación, se elaboró la siguiente Tabla 1-1 que resume las principales características externas (valores promedios) de las especies de maíz presentadas previamente.

Tabla 1-1.

Principales características físicas de 3 razas de maíz amiláceo.

	Característica	M. San Gerónimo Huancavelicano	M. Morocho	M. Cuzco
Mazorca	Dimensiones LxA (cm)	8.10 x 4.70	12.15 x 4.25	12.80 x 4.17
	Diámetro base (cm)	5.20	3.73	4.60
	Diámetro punta (cm)	4.10	3.05	3.77
	Numero de hileras	11.12	10.75	8.30
Granos	Dimensiones LxA (mm)	16.10 x 11.60	11.71 x 9.76	15.40 x 13.20
	Grosor (mm)	5.50	5.65	5.40
	Dureza	1.93	1.90	2.25

Fuente: Información tomada de Races of maize in Perú, por Grobman, 2010.

1.3.3. Requerimientos de calidad para la comercialización del grano de maíz amiláceo

El maíz amiláceo posee al Blanco Quispicanchi como variedad representativa, exportado con la denominación de Blanco Gigante del Cusco, el cual pertenece a la raza Cuzco. Esta variedad es producida con tecnología media a tradicional, por encima de los 3000 msnm. Asimismo, representa una importante fuente de ingreso para el país, pues sus granos son exportados a países tales como España y Japón, generando \$ 7 106 826 por 5 023.2 toneladas en el año 2011. Sus granos poseen una gran variedad de formas de consumo, tales como choclo, mote, tostado, cremas, mazamorra, etc. y su buena calidad cumple con ciertos requerimientos para su óptima comercialización (Jara Calvo, 2012) :

- **Humedad:** el maíz Blanco Quispicanchi se desgrana de forma manual cuando los granos presentan un porcentaje de humedad entre 13% y 14%.
- **Forma:** los granos deben estar íntegros y sanos, descartando a los granos manchados y podridos.

- **Tamaño:** los granos comerciales son clasificados con zarandas eléctricas en Calibre I, obtenido con zarandas de 15.5 mm, Calibre II, obtenido con zarandas de 13.5 mm y Calibre III, obtenido con zarandas de 12 a 11.5 mm.

1.4. Estado del arte

La siguiente sección tiene por objetivo presentar la investigación de bibliografía diversa referente a tecnologías de desgrane de maíz y clasificación de granos de estos mismos. Por ello, se describen las principales tendencias tecnológicas, extraídas de modelos comerciales, tesis, patentes y artículos de investigación, cuyas características de funcionamiento y componentes son útiles para el diseño de una máquina de desgrane y clasificación de maíz amiláceo.

Finalmente, se presentan diversas alternativas tecnológicas para los subsistemas encargados del funcionamiento pleno del sistema, tales como la recepción y transporte de material, desgrane y clasificación de maíz.

1.4.1. Soluciones comerciales.

A continuación, se describe el funcionamiento de las principales máquinas pertenecientes al sector agroindustrial y clasificados según su función.

a) *Para desgrane:*

- *Máquina desgranadora de maíz dulce LG-120 de Longer Food Machinery.*

La presente desgranadora de maíz dulce, mostrada en la Figura 1-9. a, separa los granos de la coronta del cultivo mediante el movimiento de rotación de una herramienta de corte. Además, la máquina puede procesar el maíz dulce fresco, congelado o cocido; y no se requiere secar el cultivo; pero sí, retirar su piel y pelo antes de insertarlo al transportador de alimentación mostrado en la Figura 1-9. b (Longer Company, 2010).



Figura 1-9. Desgranadora LG-120⁸ (a) Estructura general. (b) Alimentación de maíz.

El proceso de desgranado empieza con la inserción del maíz a un transportador automático, el cual está accionado por un motor eléctrico. La materia prima llega a unos rodillos de agarre (Figura 1-10. a), los cuales permiten direccionar el maíz hacia las cuchillas de corte (Figura 1-10. b), que permiten el separado de los granos de maíz (Longer Company, 2010).



Figura 1-10. Mecanismo de desgrane de la máquina LG-120⁹ (a) Rodillos de agarre. (b) Cuchillas de corte.

El transportador de alimentación funciona a velocidad constante y la dirección de movimiento se puede cambiar mediante el tablero de control, en caso ocurran atascamientos. Por otro lado, la velocidad de rotación de los rodillos de agarre es variable, gracias su variador de frecuencia, permitiendo una capacidad de producción de 300 a 500 kg/h. Además, esta máquina permite ajustar la distancia de los rodillos de agarre para diferentes tamaños de maíz dulce, así como, intercambiar las cuchillas de la herramienta de giro para ajustar la profundidad

⁸ Maize Threshing Machine, Longer Food Machinery (2010).

transversal de corte, según el tamaño de grano que presente el maíz. En la Figura 1-11 se muestra la materia prima inicial y final del proceso realizado en la máquina descrita (Longer Company, 2010).

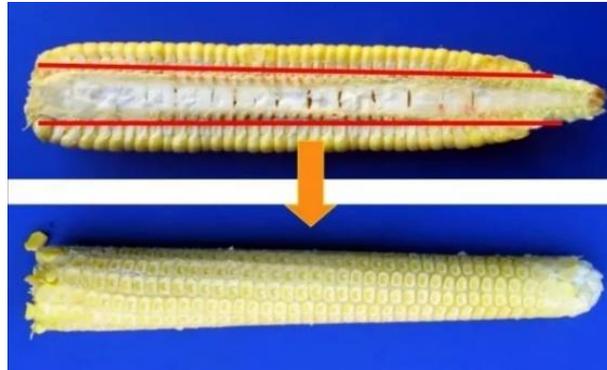


Figura 1-11. Mazorca antes y después del proceso de desgrane⁹.

- Máquina automática desgranadora de maíz TY-80D de TAIZY Machinery.

La presente máquina mostrada en la Figura 1-12, permite procesar 6 toneladas de maíz por hora, gracias a la potencia proveída por un motor Diesel de 15 HP o por un motor eléctrico de 7.5 KW. La estructura (Figura 1-13) se compone principalmente de un transportador automático de alimentación, un sistema de desgranado por rodillos, un sistema de limpiado de impurezas por soplado de aire y una zaranda vibratoria al final de la descarga de la coronta de maíz (Zhengzhou Taizy Trading Co., 2020).



Figura 1-12. Desgranadora TY-80D de la marca TAIZY⁹.

⁹ Shelling Corn Maize Machine, Taizy Machinery (2020)



Figura 1-13. Estructura de la desgranadora TY-80D¹⁰.

El proceso de desgranado empieza con la alimentación del maíz mediante el transportador automático (Figura 1-14. a), el cual permite ahorro de tiempo y energía humana. Seguidamente, el maíz se dirige a la cámara de desgranado donde, mediante rodillos de compresión, se separan los granos de la mazorca. Posteriormente, el sistema de soplado por viento permite la limpieza de los granos que puedan poseer residuos producto del desgranado. Finalmente, las impurezas son absorbidas a un saco, los granos son descargados por gravedad mediante una rampa (Figura 1-14. b); y las corontas son transportadas por una zaranda vibratoria (Figura 1-14. c), la cual a su vez permite tamizar los granos sobrantes en ellas (Zhengzhou Taizy Trading Co., 2020).



Figura 1-14. Mecanismo de carga y descarga de la máquina TY-80D¹⁰. a) Sistema de alimentación automático. b) Descarga del maíz desgranado. c) Descarga de las corontas por vibración.

- *Máquina trilladora de maíz multifunción MX1200 de Henan Manxon Machinery.*

Esta desgranadora eléctrica, mostrada en la Figura 1-15, se compone de una entrada de alimentación ubicada en la parte superior, un sistema de desgranado de tambores concéntricos, un soplador de aire ubicado al final del sistema de desgranado, una salida de impurezas con filtro y un sistema de cribado por vibración ubicado en la parte inferior de la máquina. El proceso inicia con el ingreso de maíz por la rampa de entrada superior (Figura 1-15. a).

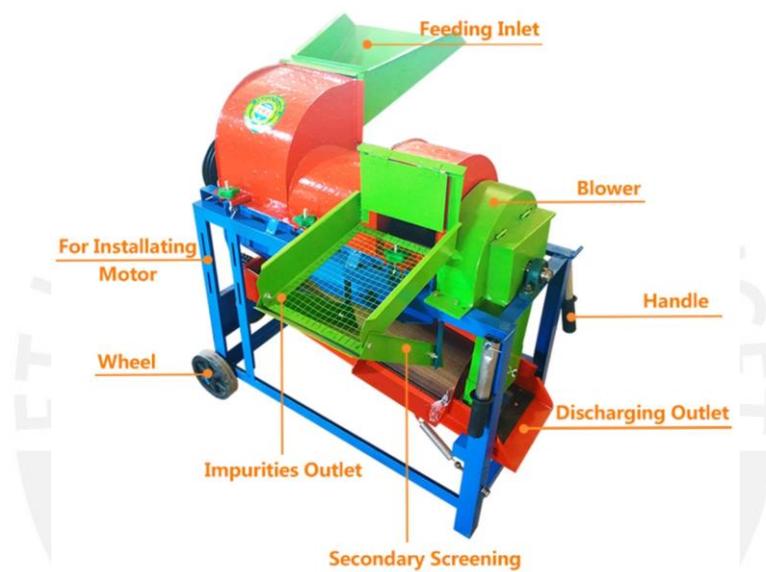


Figura 1-15. Máquina desgranadora MX120010.

Seguidamente el maíz ingresa al sistema de desgranado (Figura 1-16. b) compuesto por un eje con martillos soldados, los cuales golpean las mazorcas contra un tambor con agujeros ubicado concéntricamente al eje; de esta manera, los granos separados pasan a través de los agujeros hacia el cribador inferior. Luego del separado, los residuos son expulsados por el impeler del ventilador, ubicado en la parte final de los tambores de desgrane, hacia la salida ubicada al lado de la máquina. Como se puede observar en la Figura 1-17. a, esta salida presenta una malla, la cual permite volver a filtrar los restos, en caso aún posean granos separados. Los

¹⁰ Desgranadora de maíz, Henan Machinery (2020)

granos separados llegan al cribador (Figura 1-17. b), donde son limpiados mediante vibración y descargados a la salida de la máquina (Henan Manxon Machinery Equipment, 2020).



Figura 1-16. Mecanismo de desgrane de la máquina MX1200¹¹. (a) Tolva de alimentación de máquina MX1200. (b) Mecanismo de desgranado de máquina MX1200.

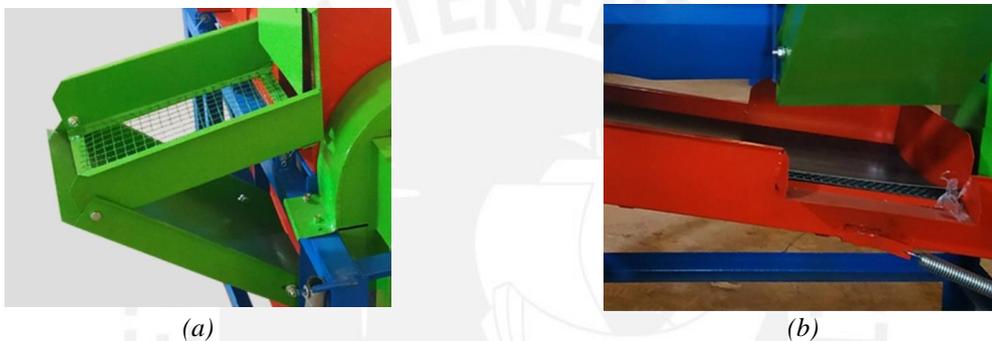


Figura 1-17. Mecanismo para limpieza de granos de la máquina MX1200¹¹. (a) Salida de residuos de máquina MX1200. (b) Criba vibratoria de máquina MX1200.

- Máquina desgranadora 5TY-60 de Weiwei Machinery.

La trilladora automática de tamaño pequeño y peso ligero presentada en la Figura 1-18, posee una alta eficiencia de producción de 1-1.5 toneladas por hora. Esta característica se debe a su sistema de desgrane, el cual cuenta con un tambor helicoidal que empuja el cultivo contra una superficie curva (Figura 1-19. a). La fricción y la compresión contra esta superficie genera que los granos se desprendan de la tusa del maíz. Además, a la entrada presenta un deflector de caucho (Figura 1-19. b) que evita que los granos separados salpiquen y puedan generar daños al operario de la máquina (WEIWEI, 2020). Finalmente, los granos son expelidos a la salida de la máquina (Figura 1-19. c).

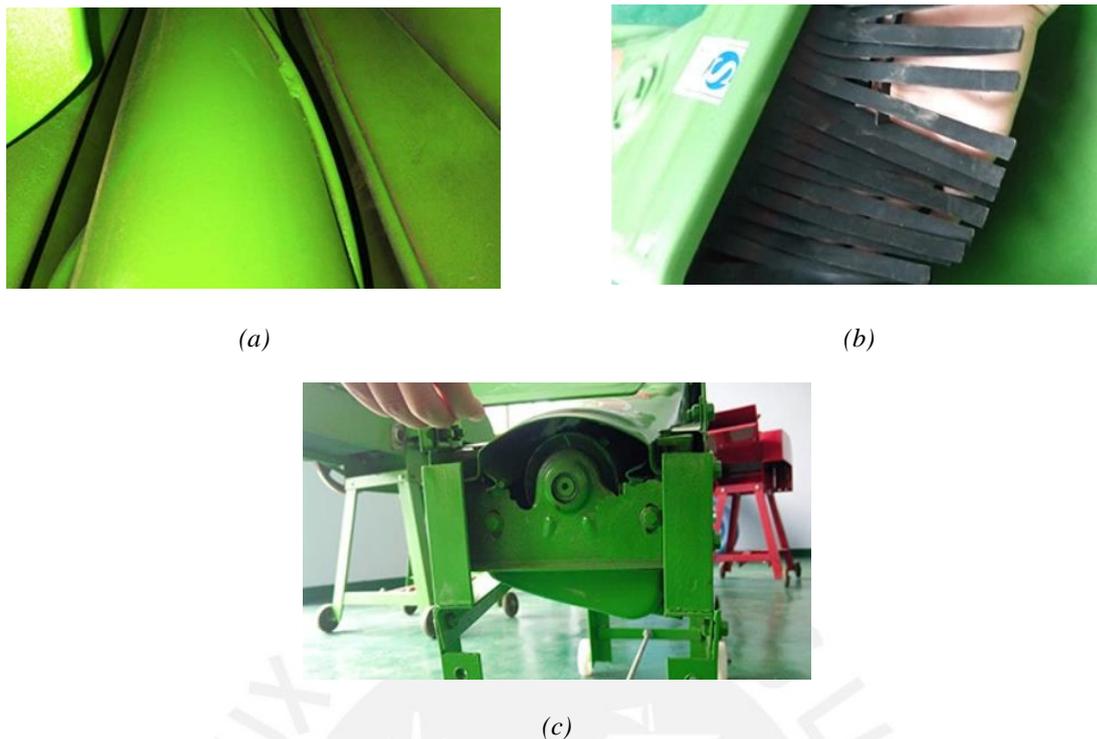


Figura 1-19. Estructura de la máquina 5TY-60¹². (a) Tambor de desgranado de máquina 5TY-60. (b) Deflector de caucho de máquina 5TY-60. (c) Salida de máquina 5TY-60.



Figura 1-18. Máquina desgranadora 5TY-60 de la marca WEIWEI11.

- **Comparación de modelos comerciales de desgrane.**

La siguiente Tabla de elaboración propia resume la información técnica de los modelos comerciales presentados en la sección anterior.

¹¹ Corn Sheller 5TY-60, Weiwei Machinery (2020)

Tabla 1-2.
Información técnica de desgranadoras comerciales de maíz.

Característica técnica	LG-120	TY-80D	MX1200	5TY-60
Potencia	1.1 kW	7.5 kW	3kW	0.75-1.5 kW
Tensión	220 V	220 V	220 V/380 V/personalizado	220 V/personalizado
Dimensión (L × W × H)	1320x670x1250 mm	3860x1360x2480 mm	1180x1100x1100 mm	1010x320x740 mm
Precio	\$1 000-\$3 000	\$1 600 – \$2 300	\$324 - \$456	\$80 - \$350
Capacidad	300-500 kg/h	6 000 kg/h	1 000-2 000 kg/h	1 000-1 500 kg/h
Peso	125 kg	350 kg	80 kg	32.6 kg
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero estructural	Acero estructural
País de origen	China	China	China	China

Fuente: Elaboración propia.

b) Para clasificación:

- Máquina clasificadora óptica PCS600BDS.

Esta tecnología corresponde a una máquina clasificadora de pellets de plástico según color y forma con una capacidad máxima de 4 t/h (Figura 1-20). Para ello, como se muestra en la Figura 1-21, los pellets son almacenados en la tolva ubicada en la parte superior de la máquina, y son dosificados mediante una bandeja vibratoria. Seguidamente, estos son transportados, mediante una faja automática, hacia el sistema de visión, el cual se encarga de la separación de los pellets según su forma y color, obteniendo al final del proceso dos salidas correspondientes a los pellets de buena calidad y los rechazados (SATAKE GROUP, 2015).



Figura 1-20. Máquina clasificadora óptica PCS600BDS¹².

¹² Optical Sorter for Plastic "Pellet Sorter DS", SATAKE GROUP (2015)

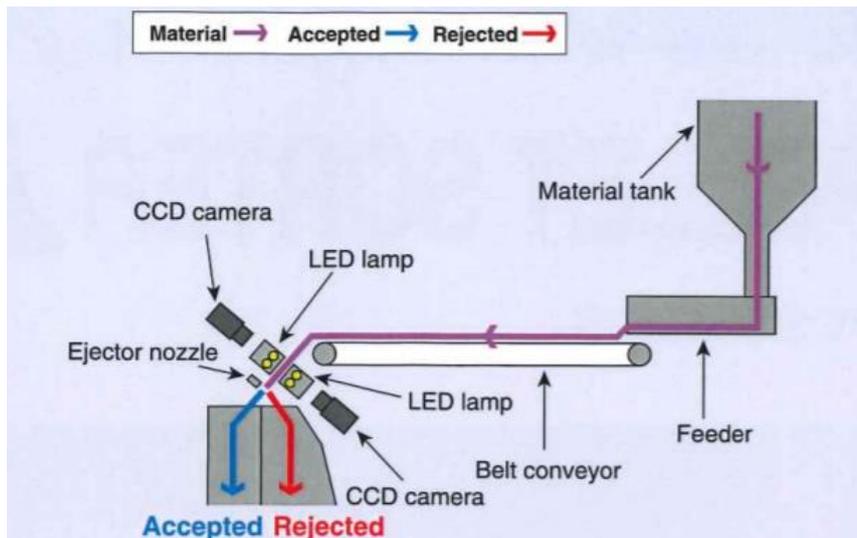


Figura 1-21. Funcionamiento de máquina PCS600BDS¹².

Este sistema de visión artificial se compone de cámaras monocromáticas CCD con una alta resolución de 0.06 mm/píxel, las cuales registran en imagen ambos lados de cada pellet para su análisis mediante tratamiento de imágenes; un sistema de iluminación de 6 lámparas fluorescentes, ubicadas óptimamente con el fin de reducir las sombras en la toma de imágenes; y un sistema de eyección por aire, el cual empuja con precisión a cada pellet detectado como rechazado (Figura 1-22). Finalmente, el algoritmo de detección de esta máquina se encarga de reconocer puntos negros por debajo de los 60 μm como impurezas pequeñas en el pellet, y regiones de color no uniforme de pellets parcial o completamente contaminados (Figura 1-23) (SATAKE GROUP, 2015).

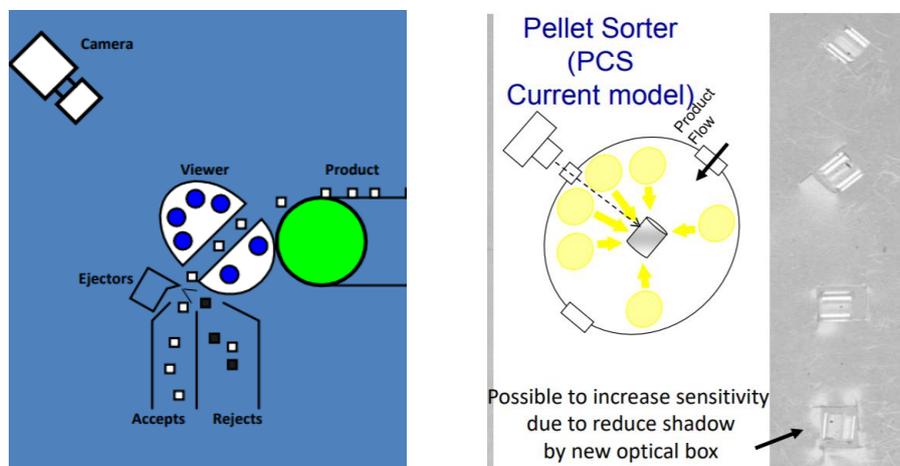


Figura 1-22. Cámara e iluminación de máquina PCS600BDS¹².

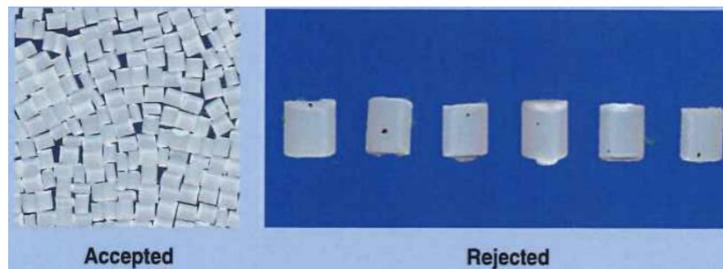


Figura 1-23. Resultado del proceso de máquina PCS600BDS¹².

- Máquina clasificadora óptica PIKASEN FMS2000-F.

La PIKASEN FMS2000-F (Figura 1-24) es una clasificadora óptica a todo color RGB que clasifica, por tamaño, forma y color, productos de tamaño pequeño y mediano, tales como retazos de plástico, granos de café, maíz y sésamo con una capacidad de 1 kg a 2000 kg de producto por hora. En cuanto al funcionamiento de esta máquina, la recepción y dosificación del producto de entrada se llevan a cabo mediante la tolva (1) y el alimentador vibratorio (2) mostrados en la Figura 1-25. Luego, el material es transportado hacia el sistema de clasificación mediante un tobogán (3) con canales de baja fricción, característica que permite acelerar y singularizar el producto para que cada uno pueda ser analizado y clasificado en la zona de visión (4) posteriormente (SATAKE GROUP, 2016).



Figura 1-24. Clasificadora óptica PIKASEN FMS2000-F¹³.

¹³ PIKASEN FMS2000, SATAKE GROUP (2016).

Este sistema de clasificación cuenta con dos cámaras RGB de alta resolución de 0.14 mm/píxel, las cuales junto a 4 fuentes de luz LED reciben la luz reflejada de ambas caras del producto y envían la información para ser amplificada y clasificada en producto aceptado o rechazado, según los parámetros ingresados por el usuario mediante la interfaz táctil de la máquina. Una vez la máquina determina que las características de color o forma del producto no cumplen con los parámetros establecidos, un eyector de alta velocidad es activado en el preciso instante que el producto pasa por la válvula eyectora. El producto aceptado continúa hacia adelante, mientras que el producto rechazado es removido hacia la otra salida de la máquina (SATAKE GROUP, 2016).

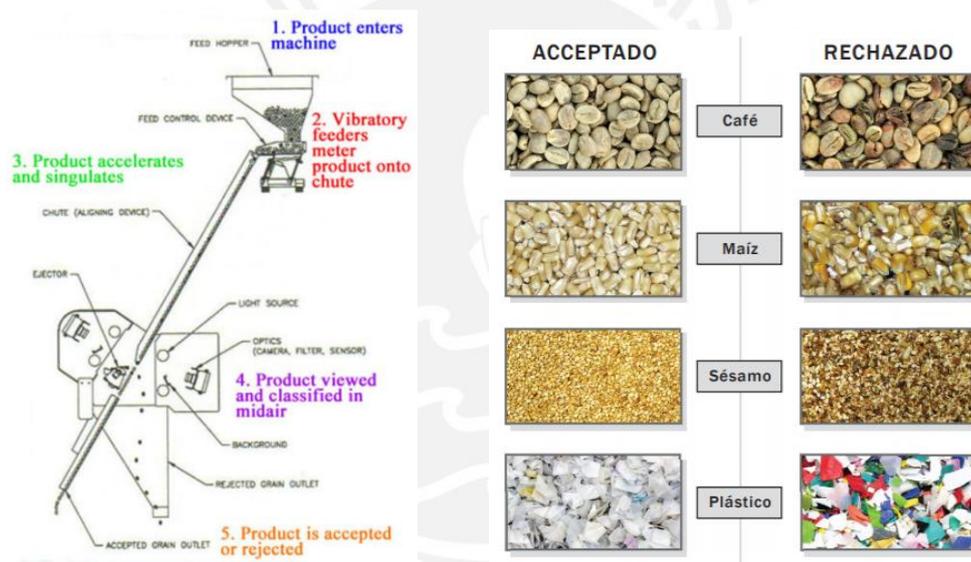


Figura 1-25. Estructura interna de máquina FMS2000-F¹³.

- Máquina clasificadora óptica DRYCE.

DRYCE es una máquina de clasificación óptica (Figura 1-26) que, con el uso de cámaras de alta resolución, examina el producto usando el sistema de doble visión lateral y transporte de material en caída libre (Figura 1-27). Este sistema permite analizar el 100% de la superficie de cada producto y está especialmente diseñado para clasificar alimentos secos o congelados, detectando defectos en su color, estado de conservación o residuos diferentes al producto de entrada (RAYTEC, 2016).

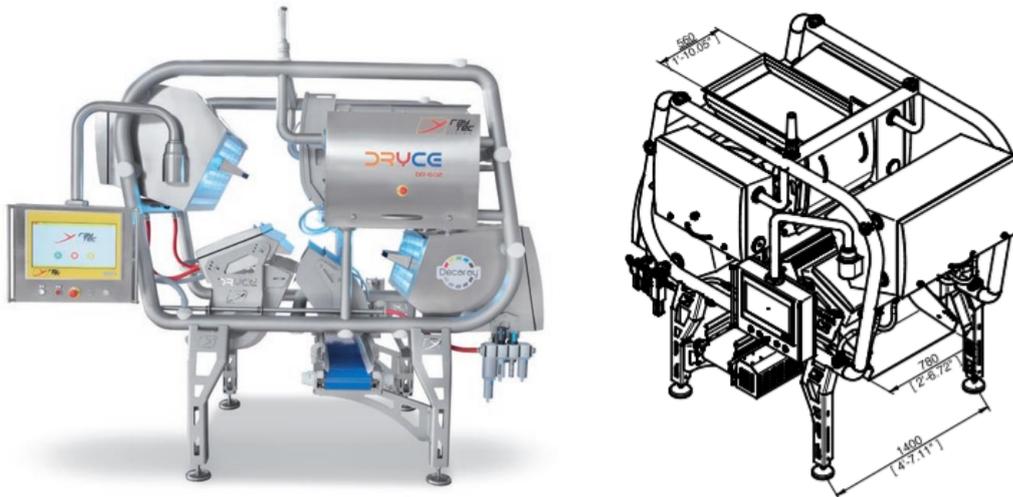


Figura 1-26. Máquina clasificadora óptica DRYCE¹⁴.

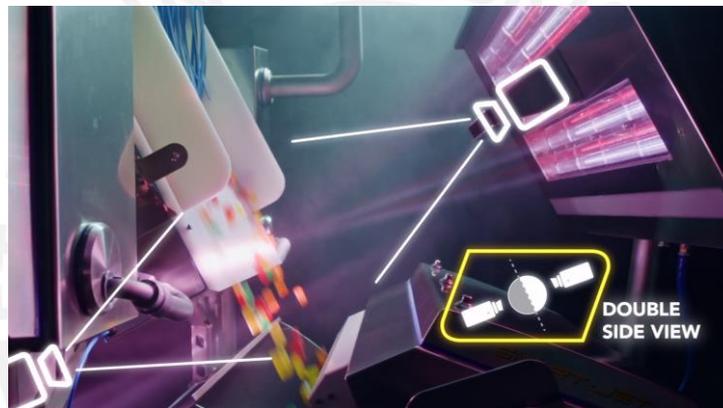


Figura 1-27. Cámaras y rampa de caída de máquina DRYCE¹⁴.

Para la detección de estos defectos, la máquina posee, entre sus principales tecnologías de visión artificial, tecnología NIR (Espectro Infrarrojo Cercano), el cual permite detectar la presencia de producto podrido o residuos externos; análisis de color visible, el cual permite detectar defectos en color, tales como productos amarillentos o verdosos; y análisis de forma, función que calcula parámetros matemáticos relacionados a las características geométricas del producto objeto analizado, tales como su excentricidad, compacidad y presencia de protuberancias (Figura 1-28). Finalmente, los productos detectados como rechazados, son

¹⁴ Dryce DR-602, RAYTEC VISION (2016).

expulsados mediante un sistema de 96 válvulas de eyección por aire (Figura 1-29), las cuales conducen los objetos con defectos hacia una segunda salida de la máquina (RAYTEC, 2016).



Figura 1-28. Características de visión de máquina DRYCE¹⁴.

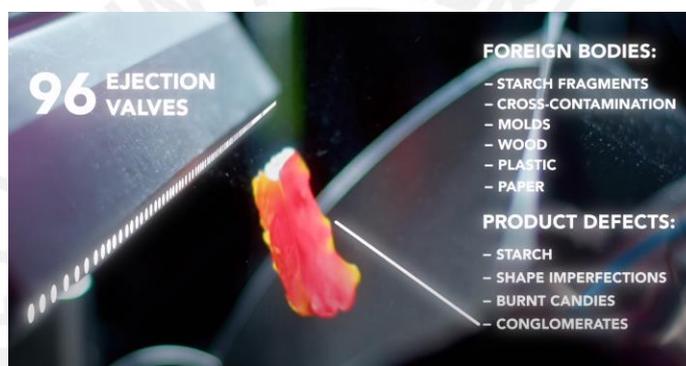


Figura 1-29. Válvulas de eyección de máquina DRYCE¹⁴.

Tabla 1-3.

Información técnica de clasificadoras ópticas comerciales de maíz.

Característica técnica	PCS600BDS	FMS2000-F	DR-602
Capacidad	0.1-4 t/h	1-2000 kg/h	1-2000 kg/h
Potencia	2 kW	0.6 kW	4 kW
Dimensión (L × W × H)	1.750x1.342x1.388 m	1.260x0.480x2.070 m	2.610x1.40x2.610 m
Resolución	0.06 mm	0.14 mm	0.5x0.5 mm
Fuente de luz	LED azul	LED	LED (12 frecuencias)
Peso	800 kg	158 kg	950 kg
Presión de eyector	120 nos. (pitch: 5 mm), 0.25 MPa	60 nos. (pitch: 5 mm), 0.25 MPa	96 nos. (pitch: 6 mm), 6-8 bar
País de origen	Japón	Japón	Italia

Fuente: Elaboración propia.

1.4.2. Patentes y artículos de investigación.

A continuación, se describen patentes y artículos de investigación de tecnologías diseñadas para suplir las tareas tanto de desgrane del maíz, como de la clasificación de sus granos según los métodos más relevantes hallados en la presente sección.

a) Para desgrane:

- *Desgranadora de maíz US 4986793 A.*

La siguiente invención, presentada en la Figura 1-30, consiste en una desgranadora de maíz por fricción, cuyo sistema de desgrane se compone de dos discos, uno estacionario 4 y el otro giratorio 6. El disco giratorio se encuentra acoplado al eje 26, de tal manera que forma un espaciamiento con el disco estacionario 4. La posición del disco giratorio y, por consiguiente, el espaciamiento entre los discos, dependerá del tamaño del maíz a ingresar. Ambos discos son de materiales suaves como caucho o plásticos con el fin de no dañar los granos durante el proceso de desgranado. Además, sus caras internas poseen un moleteado para generar una efectiva fricción a la hora de desgranar (Stanfield, 1991).

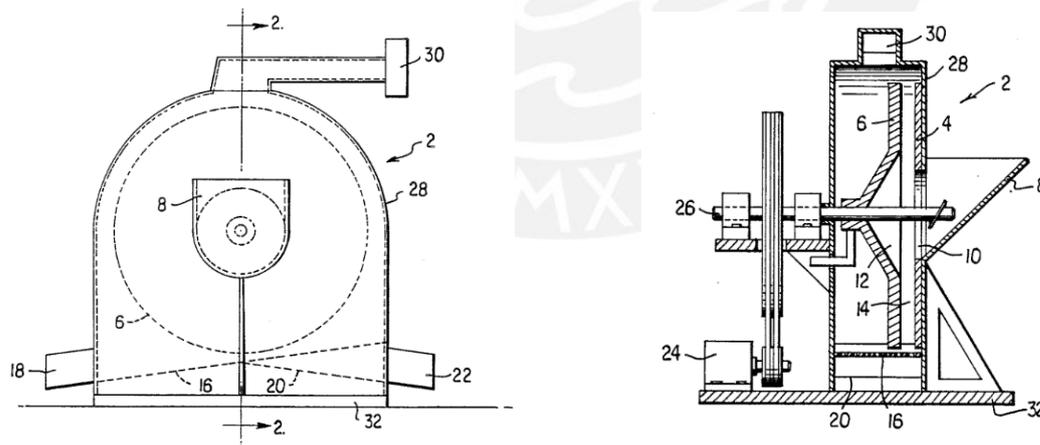


Figura 1-30. Vistas frontal y perfil de la máquina con patente US 4986793 A¹⁵.

El proceso inicia con la alimentación de las mazorcas a la máquina a través de la tolva 8. El maíz ingresa por el orificio ubicado en el centro de los discos. Seguidamente, el disco

¹⁵ Stanfield, Z. (1991). *Patente Núm. US4986793A.*

giratorio genera un movimiento helicoidal al maíz contra la pared del disco estático. La fricción entre las paredes y el movimiento helicoidal, permiten simular la acción del desgrane a mano, generando el desprendimiento de los granos de la coronta. A continuación, las corontas y los granos separados caen encima de la rampa perforada 16, la cual permite la salida de las primeras por el conducto 18. Finalmente, los granos pasan a través de los agujeros de la rampa 16, descargándose por el conducto 22. Otras características que destacar de esta máquina son el aspirador conectado al ducto 30, el cual extrae las impurezas producidas durante el desgrane; y el motor 24 que, mediante una transmisión de fajas y poleas, permite el movimiento rotatorio del eje 26 y el disco 6 (Stanfield, 1991).

- *Corn thresher capable of reducing loss rate of corn kernels CN 210143336 U.*

Este invento, mostrado en la Figura 1-31, consiste en una máquina desgranadora de maíz, cuya estructura se compone de dos tambores 5 y 7 abiertos internamente, dos motores 4 y 8 conectados a cada tambor, 2 bombas de aire 3 y 9, y una rampa de descarga 11. El proceso inicia con la inserción del maíz por la tolva 6, dirigiéndose hacia los tambores abiertos 5 y 7. El maíz ingresa por las aberturas 18 al interior de cada cilindro mostrado en la Figura 1-32. Seguidamente, las bombas 3 y 9 inflan las bolsas de aire ubicadas en la parte interior 19 de los cilindros 5 y 7; y los motores 4 y 8 se activan, girando en dirección opuesta y con un ángulo de desfase. De esta manera, los granos se desprenden de la coronta del maíz, simulando el proceso de desgrane manual. Finalmente, los granos caen a la cámara inferior 14, las bombas 3 y 9 desinflan las bolsas de aire, los motores 4 y 8 alinean las ranuras 18 de los cilindros con la entrada de la rampa inclinada 11 y la coronta sin granos se descarga a través de ella (Patent Núm. CN 210143336 U, 2020).

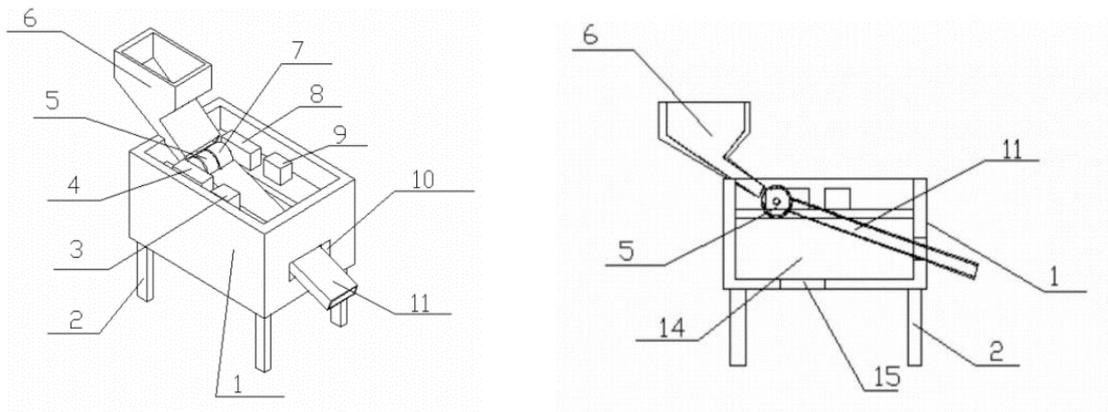


Figura 1-31. Vistas isométrica y perfil de la máquina con patente CN 210143336 U¹⁶.

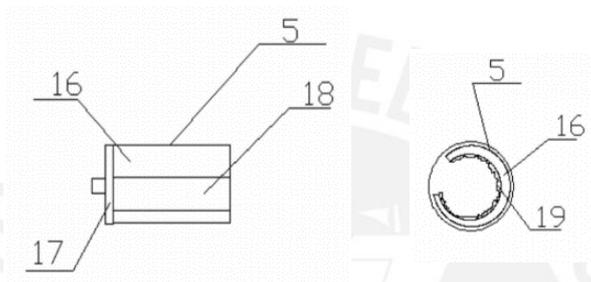


Figura 1-32. Cilindros para desgrane¹⁴.

- Implementación de una máquina agrícola de bajo costo para el proceso de desgranado de maíz seco suave originario de la sierra ecuatoriana.

El presente proyecto de investigación consiste en una desgranadora de maíz seco ecuatoriano, compuesto principalmente por un sistema de desgrane, soporte, separado, eléctrico y de control. Además, como se observa en la Figura 1-33, su estructura es modular, lo que permite acoplar y desacoplar fácilmente cada uno de los sistemas que lo componen. La principal característica de innovación de esta máquina, es su sistema compacto de 4 rodillos, que permiten realizar el guiado y desgranado del maíz a la vez (Tapia, Arla, & Tapia, 2017).

¹⁶ 王友军. (2020). Patente Núm. CN 210143336 U.

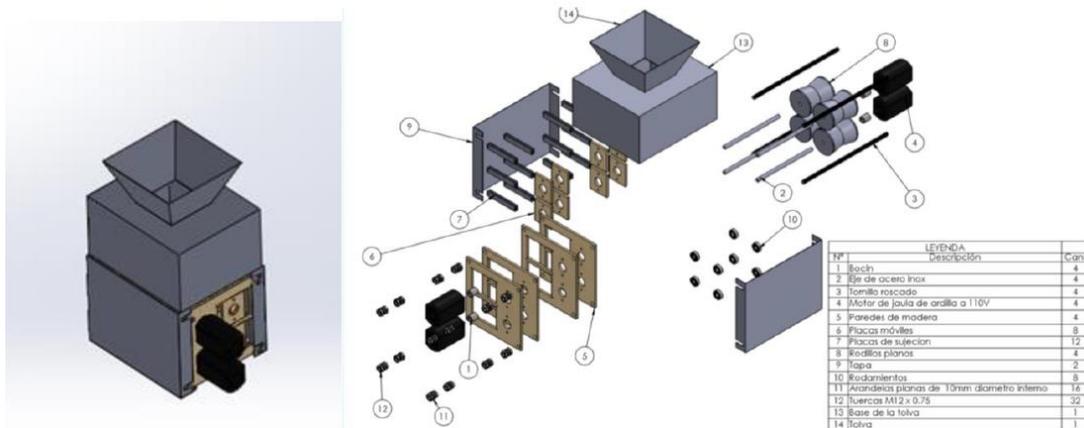


Figura 1-33. Estructura del diseño mecánico de la desgranadora de maíz seco suave¹⁷.

En la Figura 1-34, se muestra el sistema de desgranado en mención, el cual se compone de rodillos de doble cono hechos de caucho presurizado, cada uno accionado por un motor A/C. La fricción generada entre el caucho y los granos permite el separado de estos de la coronta. El primer par de rodillos desgrana el 50 % del cultivo y lo guía por gravedad hacia el segundo par, el cual termina el proceso de desgranado. Finalmente, los granos pasan a través de un tamiz con agujeros, impidiendo el paso de la coronta (Tapia et al., 2017).

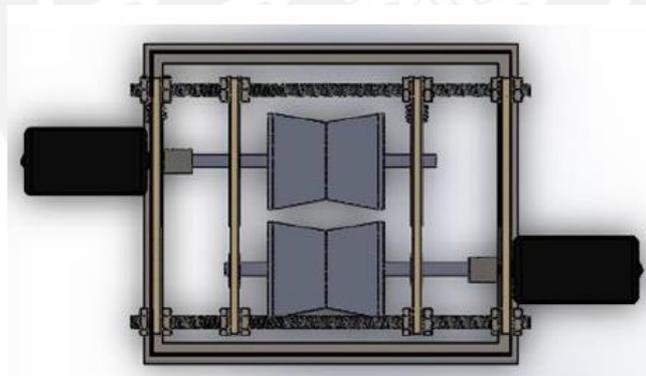


Figura 1-34. Sistema interno de rodillos de desgranado¹⁷.

Respecto al sistema eléctrico de la máquina, consiste en un circuito regulador de corriente, el cual permite controlar la velocidad de rotación de los motores A/C y con ello, la fuerza necesaria para el desgranado del maíz. En la Figura 1-35 se muestra el circuito electrónico, el cual se compone de un potenciómetro (R3), un tiristor TRIAC y un DIAC para controlar la

¹⁷ Tapia, M., Arla, S., & Tapia, E. (2017).

corriente. Finalmente, el circuito cuenta con una serie de capacitores cerámicos útiles para el filtrado del ruido eléctrico producido por los sobre picos de corriente y voltaje (Tapia et al., 2017).

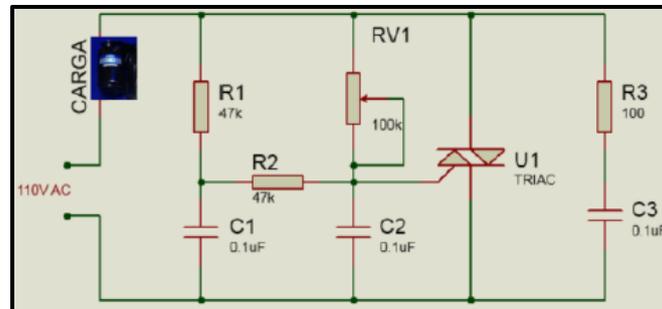


Figura 1-35. Circuito electrónico de regulación de velocidad del motor AC¹⁷.

Por otra parte, el sistema de control mostrado en la Figura 1-36, basado en un microcontrolador Arduino, se encarga del paro automático de la máquina ante posibles atascamientos de maíz en el sistema de desgranado. Para ello, con el uso de sensores de corriente y relés normalmente cerrados conectados a cada actuador, se detectan incrementos bruscos en la corriente consumida por los motores. Cuando sucede esto, los relés se accionan, desactivando el funcionamiento de los motores y evitando daños en los rodillos de desgrane (Tapia et al., 2017).

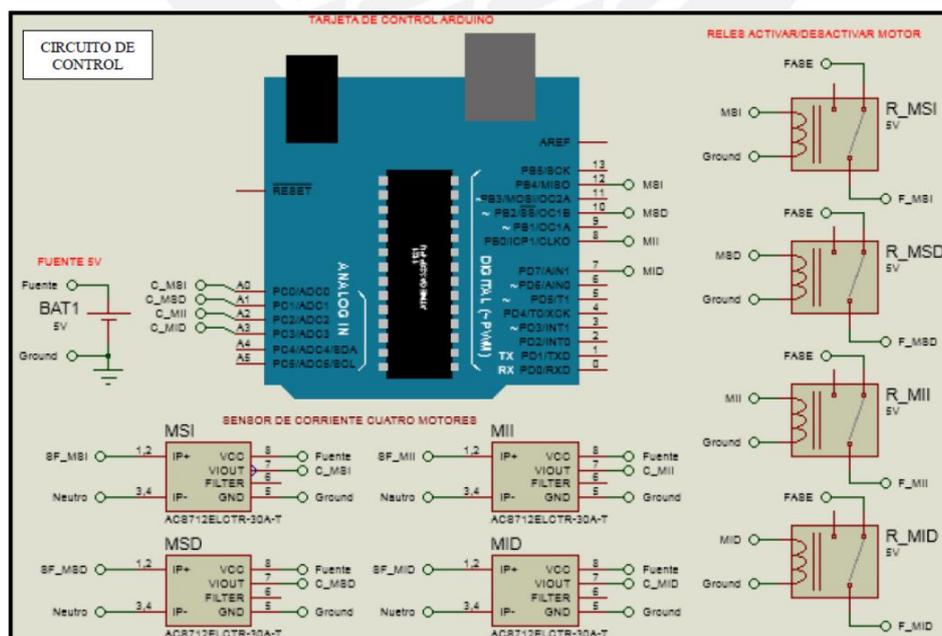


Figura 1-36. Diagrama esquemático de microprocesador de control y sensado de corriente¹⁷.

b) Para clasificación:

- *Clasificación de variedades de semillas de trigo usando visión por computadora.*

En este trabajo de investigación se aborda la problemática de identificar variedades de semillas de trigo, tarea lenta, tediosa y de baja repetibilidad; para ello, se propone como solución el uso de técnicas actuales de clasificación de imágenes mediante visión por computadora, tales como el uso de vectores de Fisher eFV y redes neuronales convolucionales CNN (Redolfi, Gonz, & Pucheta, 2016). La solución consta de un sistema automático de clasificación de 6 variedades de trigo, basado en ambas técnicas actuales, Vectores de Fisher y Redes Neuronales Convolucionales; asimismo, se propone el uso de un dataset (conjunto de imágenes) de semillas de las 6 variedades para el entrenamiento del modelo de clasificación basado en CNN, con lo cual se logra una efectividad del 95% en la clasificación (Redolfi et al., 2016).

Por un lado, el algoritmo inicial de vectores de Fisher eFV permite obtener una representación global de la imagen de granos, agrupando las características locales de la imagen. Luego, estas características globales, obtenidas en forma de vectores, son usadas posteriormente como entradas para un clasificador lineal. Esta clasificación usando eFV consta de varias etapas como se muestra en la Figura 1-37, inicialmente a la imagen de entrada se le extraen descriptores visuales en forma densa (DSCR), para luego reducir sus dimensionalidades y volverlos a codificar usando los modelos PCA y eMM respectivamente. Finalmente, los últimos descriptores son clasificados usando el modelo SVM; estos modelos son entrenados de forma no supervisada sobre el dataset de entrenamiento (Redolfi et al., 2016).

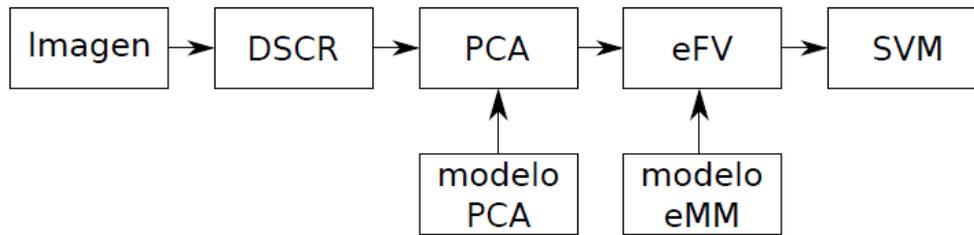


Figura 1-37. Algoritmo de clasificación de vectores de Fisher¹⁸.

Por otro lado, el algoritmo basado en redes neuronales convolucionales CNN consiste en una configuración de capas cuyos parámetros son entrenables como se muestra en la Figura 1-38. La red neuronal pre-entrenada propuesta en este trabajo corresponde a AlexNet, la cual consta de 8 capas: a la imagen ingresada a la entrada de la red se le aplican las primeras capas de convolución (C1-C5), las cuales aplican filtros de convolución; seguidamente, se aplican las capas “pooling” (P1-P5), las cuales realizan rectificaciones lineales y agrupamientos de datos para reducir la complejidad y dimensionalidad de la entrada; finalmente están las últimas capas totalmente conectadas (FC6-FC8), las cuales sirven como medida de confianza de cada una de las clases de clasificación. Esta red AlexNet fue entrenada previamente con más de 1 millón de imágenes de diversas clases, por lo que para el objetivo de este trabajo se reentrenaron solo las últimas capas con el dataset de las 6 variedades de semillas de trigo; de esta manera, se ajusta la red al problema mediante este proceso de reentrenamiento llamado ajuste fino o “fine-tuning” (Redolfi et al., 2016).

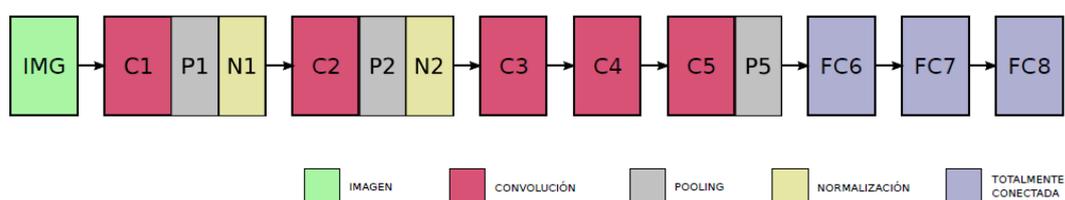


Figura 1-38. Algoritmo de clasificación basado en la red neuronal AlexNet¹⁸.

¹⁸ Clasificación de Variedades de Semillas de Trigo usando Visión por Computadora, Redolfi (2016).

1.4.3. Tesis.

A continuación, se presentan soluciones para el desgrane de maíz y la clasificación de sus granos, propuestas en trabajos de investigación o tesis.

a) Para desgrane:

- *Diseño y construcción de una desgranadora de maíz con capacidad de 15 qq/hora.*

La presente tesis desarrolla el diseño mecánico e implementación de una desgranadora y limpiadora de maíz con capacidad de 15 quintales o 690 kg por hora. En la Figura 1-39 se presenta la estructura general de la máquina, la cual consiste principalmente en una tolva en la parte superior para el ingreso del maíz, un sistema de desgrane, un ventilador para la limpieza de impurezas, un motor a gasolina y el sistema de transmisión de potencia (fajas y poleas). Según el estudio y análisis realizado en las opciones de sistemas de desgranado, se obtuvo que el desgrane mediante cilindro rotatorio dentado es el que da mejor solución al diseño, por su buen grado de confiabilidad, rendimiento, fácil mantenimiento y seguridad (Cacuango & Valencia, 2015).

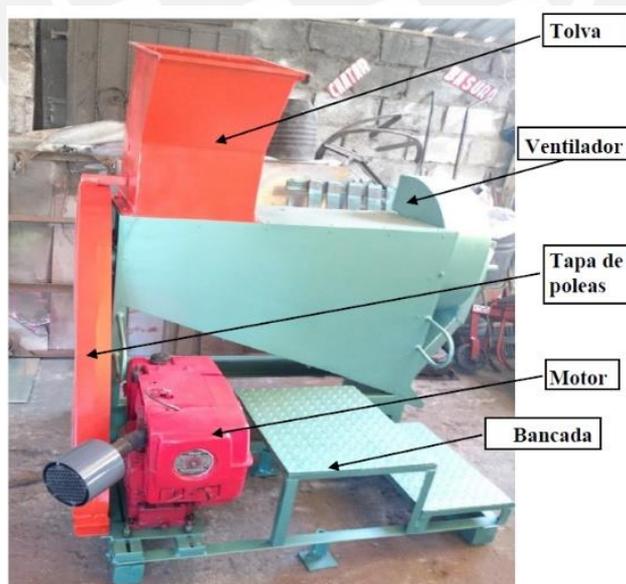


Figura 1-39. Máquina desgranadora propuesta en la tesis de Luis Christian Cholca ¹⁹.

¹⁹ Cacuango, L. C. C., & Valencia, G. A. M. (2015).

El sistema de desgranado se muestra en la Figura 1-40. a, y se observan los dados soldados sobre su cubierta. Estos son distribuidos en 3 hileras y en forma helicoidal o de tornillo, con el objetivo de transportar las tusas y cáscaras desde la parte inicial del cilindro hacia el lado opuesto (ventilador), para su extracción de la máquina. El motor seleccionado es de combustión interna a gasolina de 16 HP, debido a que el uso de la máquina está pensado para regiones de gran altura y sin acceso a fuentes eléctricas. Finalmente, la cribadora mostrada en la Figura 1-40. b, corresponde al cilindro perforado contra el cual se golpea las mazorcas con la rotación de los dados de desgrane, generando el desprendimiento de los granos; el material de construcción tanto de la criba como el marco estructural es acero inoxidable, ya que se procesa la materia prima secada con bajo porcentaje de humedad (Cacuango & Valencia, 2015).



Figura 1-40. Mecanismo de desgranado propuesto en la tesis de Joel Ureña¹⁵. (a) Tambor desgranador. (b) Cribadora de desgranadora.

- *Diseño y construcción de una máquina para el proceso de desgranado de maíz de la costa.*

La estructura de esta máquina, mostrada en la Figura 1-41, consiste en el sistema de alimentación y descarga de mazorcas, el sistema de desgranado, el sistema de separación de desperdicios por aire, así como la fuente de energía que alimenta a todos estos sistemas mencionados anteriormente. Respecto al método de desgrane, el estudio final de esta investigación determinó, según aspectos de alto rendimiento, fácil mantenimiento, mínimo consumo de energía y alto grado de seguridad, que el uso de un cilindro rotatorio con placas

desgranadoras (Figura 1-42. a) distribuidas radialmente en el eje es el sistema óptimo para este diseño (Ureña Espín, Joel Froilan; Villavicencio Calle, 2012).

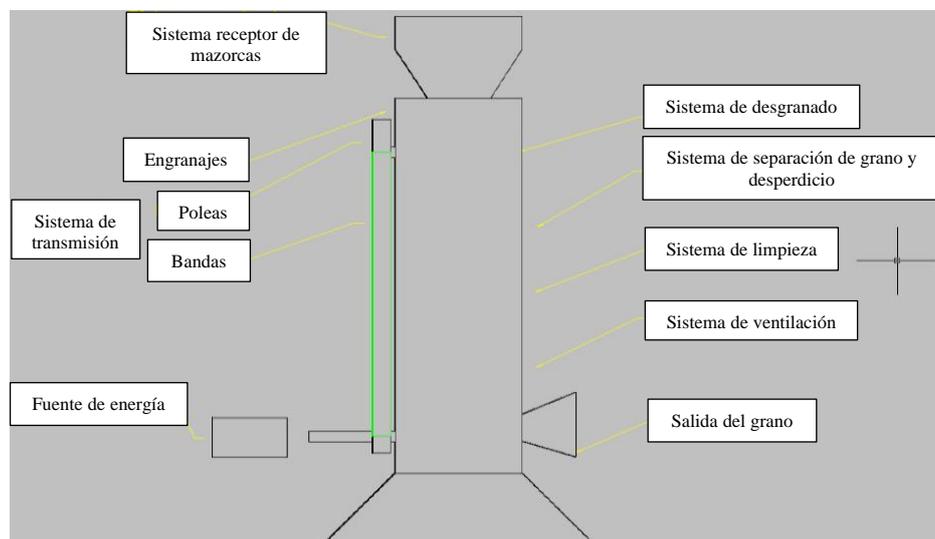


Figura 1-41. Estructura de la desgranadora de maíz propuesta en la tesis de Joel Ureña²⁰.

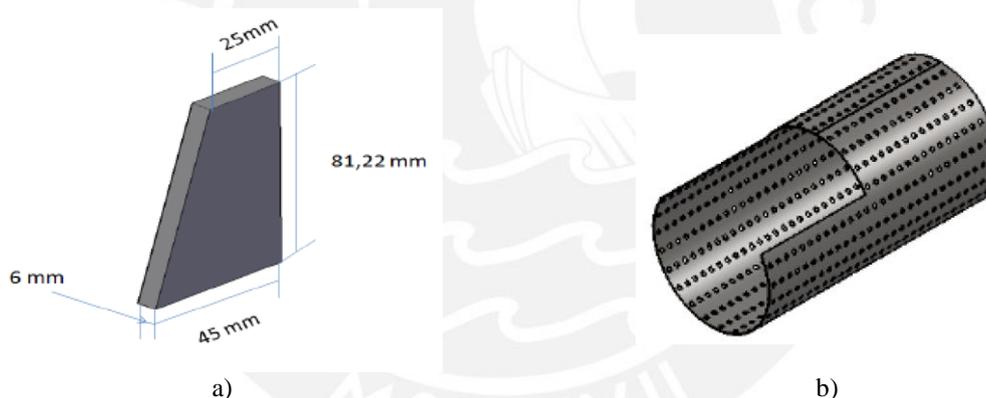


Figura 1-42. Aleta y criba diseñadas en la tesis de Joel Ureña¹⁶. (a) Diente de impacto para desgrane. (b) Cámara de cribado.

Este cilindro desgranador impacta las mazorcas contra una cámara perforada cilíndrica (Figura 1-42. b), logrando la separación de los granos y las corontas gracias a la fricción generada. La capacidad de esta máquina es de 2494.8 Kg/h, siendo su fuente de energía un motor a gasolina Briggs & Stratton de 16 HP. Finalmente, el sistema de limpieza de los residuos de maíz (tusas, cáscaras, pelos, etc.) se compone de un ventilador independiente centrífugo radial de aspas planas (Figura 1-43) y rendimiento de 55% a 69%. Este tipo de ventiladores es

²⁰ Ureña Espín, Joel Froilán; Villavicencio Calle, J. M. (2012).

recomendable para conducir corrientes de aire con alto contenido de polvo e impurezas (Ureña Espín, Joel Froilan; Villavicencio Calle, 2012).

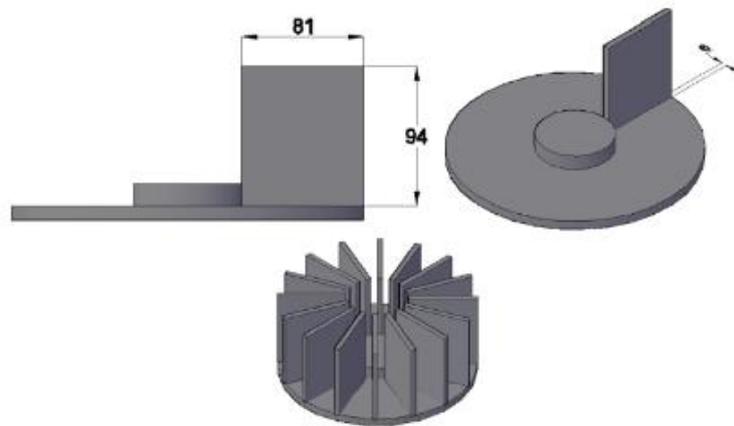


Figura 1-43. Aletas rectas del ventilador centrífugo en la tesis de Joel Ureña¹⁶.

b) Para clasificación:

- *Diseño y simulación de una máquina clasificadora vibratoria de granos de maíz según el tamaño.*

El diseño mostrado corresponde a una clasificadora de granos de maíz según su tamaño de diámetro con una capacidad de 1.5 T/día, cuyo funcionamiento se basa en el principio de vibración. Como se muestra en la Figura 1-44, la máquina cuenta con una tolva y criba con agujeros perforados, a través de la cual pasan los granos de tamaño menor a 8 mm. Esta estructura se encuentra soportada por 4 resortes de compresión, los cuales se encargan de amortiguar la vibración inducida por un par de motovibradores instalados en su parte inferior. Estos motovibradores se encuentran dispuestos en sentido de giro opuesto, de tal manera que las fuerzas centrífugas producidas puedan sumarse en una sola dirección, esta configuración es llamada vibración unidireccional. Finalmente, este diseño a comparación de otros principios de funcionamiento permite una mayor capacidad de procesamiento de forma fácil y rápida (Gómez, 2015).

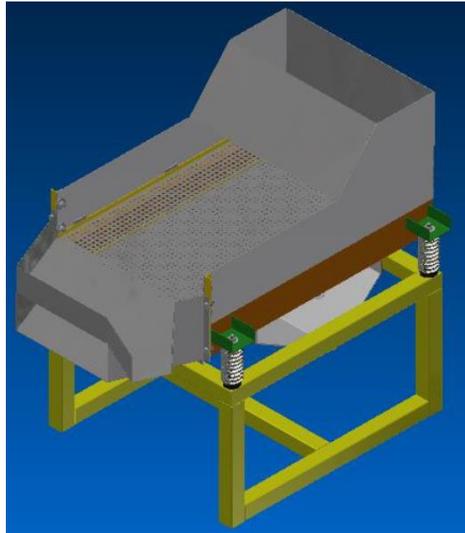


Figura 1-44. Diseño de clasificadora vibratoria propuesta en la tesis de Víctor López²¹.

- *Diseño de un sistema de visión por computadora para la clasificación de arándanos por tamaño y características asociadas al color.*

El prototipo mostrado en la Figura 1-45 corresponde a un sistema de clasificación de arándanos usando técnicas de procesamiento de imágenes y criterios de clasificación relacionados con el tamaño y color de estos frutos. Inicialmente, el prototipo posee una rampa (1) que recibe los arándanos, los cuales son singularizados por las fajas transportadoras mostradas (2). Seguidamente, los arándanos son enviados hacia la cubierta de iluminación (7), en donde las imágenes de cada fruto son capturadas por una cámara de uso industrial, instalada en la parte superior de la misma. Las imágenes son procesadas y enviadas para su análisis a una computadora, la cual, si determina que el arándano no cumple con los criterios de calidad de buen fruto, envía la señal de control al eyector de aire comprimido ubicado en la estructura de la última faja (8), expulsando los arándanos defectuosos. Finalmente, la Figura 1-46 muestra el algoritmo de clasificación, que consiste en un proceso de segmentación, delimitación de la región de interés y la conversión de la imagen a las capas HSV, cuyos valores luego de ser comparados con los valores umbrales obtenidos de ensayos realizados en la tesis de Takao

²¹ Gómez López, Geovanny Víctor (2015)

Shimabukuro, permiten concluir la categoría de arándano a la cual pertenece el fruto analizado (López, 2020).

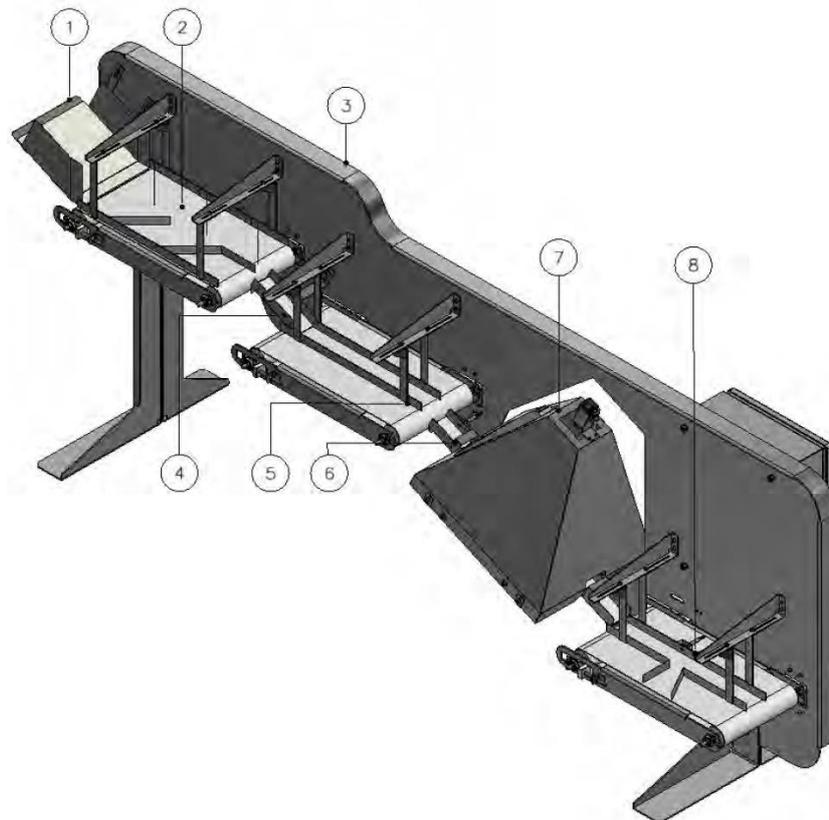


Figura 1-45. Prototipo de sistema de visión de arándanos propuesto en la tesis de Takao Shimabukuro²².



Figura 1-46. Algoritmo de clasificación de arándanos propuesto en la tesis de Takao Shimabukuro²².

²² López Shimabukuro, Roberto Takao (2020)



CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se explican y justifican los requerimientos que debe satisfacer el diseño de la máquina acorde a las necesidades de los productores de maíz amiláceo, a las condiciones adecuadas de funcionamiento, y a las características de la tecnología vigente desarrollada en el estado del arte. Luego, se identifican las funciones parciales en todos los dominios del sistema, y se presenta la interacción entre estas para lograr el funcionamiento íntegro de la máquina. Además, se propone para cada función parcial, alternativas de portadores de función en la matriz morfológica del sistema. Finalmente, se desarrollan conceptos de solución mediante la integración de portadores de función compatibles, propuestos en la matriz morfológica, para identificar el concepto óptimo de solución mediante una evaluación de tipo técnica y económica.

2.1. Lista de requerimientos

La presente sección resume los principales requerimientos que deberá suplir la máquina, con la aprobación tanto del diseñador como del cliente. El resumen de todos los requerimientos considerados para este diseño se encuentra en el Anexo 1 de la sección Anexos, correspondiente a este trabajo. A continuación, se describen y justifican los principales requerimientos, agrupados según el criterio a satisfacer.

- a) **Función principal:** Desgranar y clasificar granos de maíz amiláceo por calibre y estado de conservación de forma automática. En base al rendimiento anual de producción de maíz en departamentos tales como Huancavelica²³ y la capacidad de procesamiento de modelos comerciales, la máquina deberá procesar 100 kg de maíz por cada lote de carga como mínimo.
- b) **Materia:** La materia de entrada corresponde a las mazorcas de maíz amiláceo, previamente peladas y secadas, con una humedad de 13% a 14%. Por otro lado, los productos de salida de la máquina serán granos seleccionados (granos sanos e íntegros); granos malogrados, trozados, o muy pequeños (dimensiones menores a 11 mm); y residuos del proceso, tales como polvo, cáscaras o corontas de maíz.
- c) **Geometría:** La máquina ocupará un espacio no mayor a 2 x 1.5 x 1.7 m (Largo x Ancho x Alto), medidas establecidas sobre la base de las dimensiones promedio de los modelos comerciales previamente descritos (Tabla 1-2). El tamaño de cada subsistema que compone la máquina deberá ser lo suficientemente compacto y robusto, con el objetivo de garantizar un bajo costo de fabricación, así como evitar ocupar espacio innecesario que pueda interferir en el tránsito fluido de los agricultores u operarios.

²³ Rendimiento: 1598 kg/ha (Minagri, 2018)

d) Uso: La manipulación de la máquina estará dirigido al campesino agricultor, previamente capacitado. El lugar de uso de la máquina estará orientado a ambientes bajo techo, con el objetivo de evitar daños inminentes a la máquina por precipitaciones imprevistas. El espacio libre necesario para el uso de la máquina abarcará máximo 3 metros cuadrados de extensión, debido a que los residuos del desgranado (corontas, cáscaras, etc.) pueden ocasionar daños físicos a los operarios, al ser expulsados a gran velocidad.

Condiciones climáticas de uso:

- Temperatura de uso óptimo: 10 - 30 °C.
- Humedad relativa: 60% - 80%.
- Altitud: hasta los 3400 msnm.

e) Señales: El sistema deberá contar con señales de control, a su entrada, para el encendido de la máquina, inicio del proceso, parada del proceso y parada de emergencia. Respecto a las señales de salida, la máquina contará con indicadores para la señalización del estado del proceso (energizado, en operación y Stand By).

f) Energía: La máquina será alimentada por la línea eléctrica monofásica de 220 VAC a 60 Hz. La potencia necesaria en los sistemas de desgrane y limpieza, deberá suplir el procesamiento de 100 kg de maíz amiláceo por hora. La energía de salida será de tipo lumínica para los indicadores del proceso.

g) Fuerzas: Según las características de los modelos comerciales descritos en el capítulo previo (Tabla 2-1) y la capacidad requerida, el peso de la máquina no deberá superar los 600 kgf. La máquina será diseñada asegurando que su estructura sea capaz de soportar el peso de todos los componentes y materiales seleccionados, así como las fuerzas de flexión producidas por los mecanismos móviles que la componen.

- h) Electrónica:** La máquina deberá poseer un sistema electrónico de potencia de actuadores, sensores, interfaz, control, así como de seguridad en caso se produzcan fallas, ocasionados por posibles atascamientos. Los sistemas electrónicos poseerán grado de aislamiento IP54, según la norma ANSI/IEC 60529, es decir, el ingreso de polvo no debe afectar el funcionamiento correcto de estos, y las salpicaduras de agua no deben causar daños al interior de los mismos.
- i) Mantenimiento:** Los componentes más susceptibles a daños o desgastes se ubicarán en puntos de fácil acceso y estarán disponibles ampliamente en el mercado local, con el fin de asistir rápidamente a su óptimo mantenimiento. Además, se les realizará mantenimiento preventivo de limpieza, descartando mantenimiento por engrase o lubricación.
- j) Costo:** El costo de diseño será de S/.12 000, considerando un trabajo remunerado de S/.30 por hora, para un tiempo total de 400 horas aproximadamente. Sobre la base de los precios de los modelos comerciales encontrados en el capítulo anterior (Tabla 2-1), los costos de fabricación, materiales y componentes no superarán los S/. 130 000.
- k) Plazo:** Se plantea la realización del proyecto en un plazo de 245 días. La entrega de los documentos finales se realizará el 18 de diciembre del 2020.

2.2. Estructura de funciones

La siguiente parte del documento explica las entradas y salidas del sistema a diseñar, mediante un Black Box o caja negra; y las funciones del mismo, correspondientes a cada uno de sus dominios.

2.2.1. Black Box.

La presente sección describe, mediante el diagrama de la Figura 2-1, todas las entradas que participan en el proceso realizado por la máquina, así como, todas las salidas obtenidas al

término del mismo. Este diagrama corresponde a la caja negra de la máquina, una forma de abstraer el funcionamiento pleno del sistema, detallando las materias, formas de energía y señales que ingresan y salen del mismo.

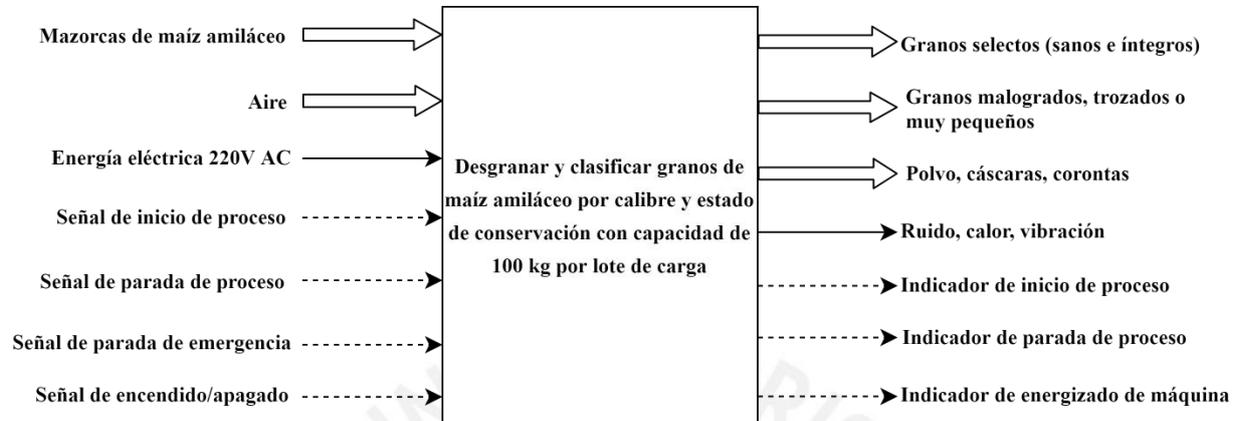


Figura 2-1. Black Box del sistema a diseñar.

a) **Entradas.**

- **Materia:** Las materias físicas a la entrada de la máquina serán aire y mazorcas de maíz amiláceo previamente peladas y secas con una humedad de 13% a 14%.
- **Energía:** El suministro de energía a la entrada estará a cargo de la línea eléctrica monofásica de 220 V a 60 Hz.
- **Señales:** Las señales ingresadas por el usuario serán la señal de inicio del proceso, la señal de parada del proceso y la señal de parada de emergencia.

b) **Salidas.**

- **Materia:** Las materias físicas obtenidas a la salida del funcionamiento de la máquina serán los granos selectos (granos sanos e íntegros), los granos defectuosos (granos malogrados, trozados o muy pequeños) y los residuos del proceso (polvo, cáscaras y corontas).
- **Energía:** La máquina expulsará energía en forma de calor, ruido y vibraciones.
- **Señales:** Las señales que el usuario podrá visualizar serán indicadores de inicio y parada del proceso, e indicador de energizado de la máquina.

2.2.2. Diagrama de funciones.

Esta sección identifica las funciones parciales realizada en los diferentes dominios de la máquina (mecánico, electrónico, energía, interfaz y control), mediante la estructura de funciones mostrada en la Figura 2-2. El diagrama completo se encuentra en el anexo 2 de la sección Anexos de este documento.

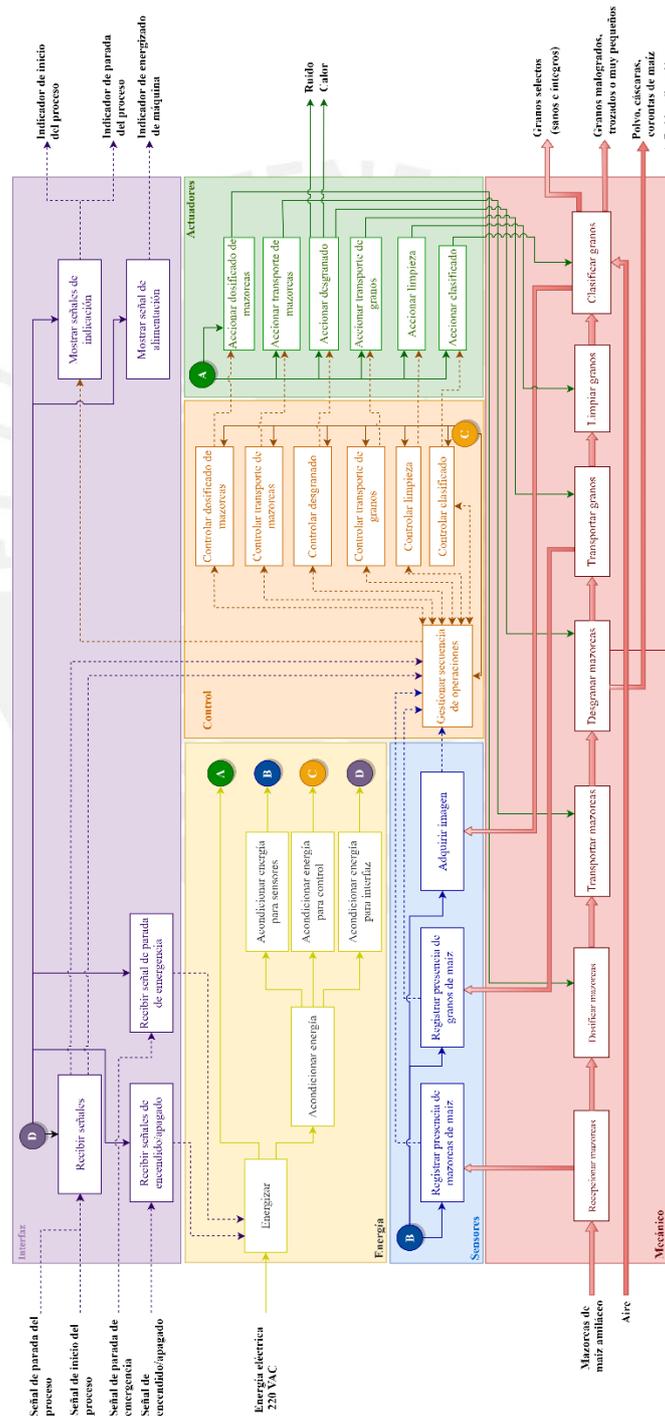


Figura 2-2. Estructura de funciones del presente diseño. Fuente: Elaboración propia.

a) Funciones del dominio mecánico.

La descripción de los procesos realizados en la máquina mediante sus componentes mecánicos (Figura 2-3) se detalla en la siguiente Tabla 2-1.

Tabla 2-1.

Funciones mecánicas del sistema a diseñar.

Función	Subsistema	Descripción
Recepcionar mazorcas	Dosificado de mazorcas	Las mazorcas de maíz amiláceo son recepcionadas por una tecnología de almacenamiento, en la cual permanecerán hasta el inicio del proceso de desgranado.
Dosificar mazorcas	Dosificado de mazorcas	Las mazorcas se dosifican volumétricamente hacia el mecanismo de desgrane.
Transportar mazorcas	Dosificado de mazorcas	Se transportan las mazorcas hacia el mecanismo de desgranado.
Desgranar mazorcas	Desgrane de mazorcas	Se realiza el desgrane del maíz amiláceo, obteniéndose los granos desprendidos, así como los residuos obtenidos del proceso (polvo, cáscaras, corontas de maíz)
Transportar granos	Dosificado de granos	Se transportan los granos hacia el mecanismo de limpieza.
Limpiar granos	Dosificado de granos	Se realiza la limpieza de los granos, obteniéndose los granos limpios separados de los granos muy pequeños (espesor menor a 11 mm).
Clasificar granos	Clasificado de granos	Los granos podridos, trozados o que no cumplan con el tamaño mínimo requerido son extraídos de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

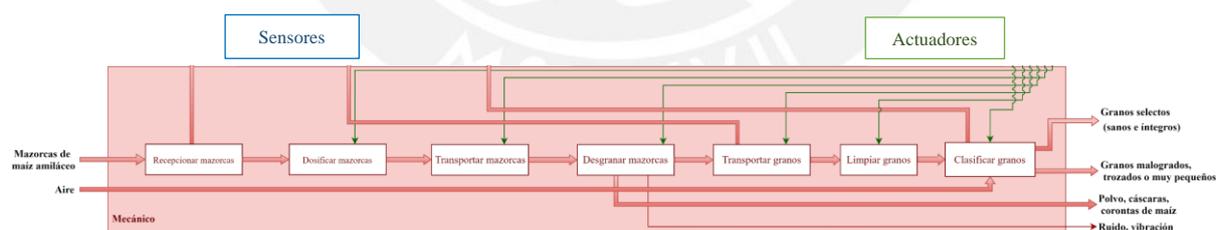


Figura 2-3. Dominio mecánico. Fuente: Elaboración propia.

b) Funciones del dominio electrónico.

La descripción de los procesos realizados en la máquina mediante sus sensores y actuadores (Figura 2-4) se detalla en la siguiente Tabla 2-2.

Tabla 2-2.

Funciones electrónicas del sistema a diseñar.

	Función	Descripción
Sensores	Registrar presencia de mazorcas de maíz	Registra la presencia de las mazorcas de maíz en el sistema de almacenado de la máquina, para dar inicio al proceso de transporte de estas hacia el sistema de desgranado.
	Registrar presencia de granos de maíz	Registra la presencia de los granos de maíz previamente procesados en el sistema de desgranado de la máquina, para dar inicio al proceso de transporte de estos hacia el sistema de limpieza.
	Adquirir imagen	Captura imágenes de los granos para su clasificación, en caso la solución haga uso de visión por computadora.
Actuadores	Accionar dosificado de mazorcas	Acciona el dispositivo de dosificado de las mazorcas.
	Accionar transporte de mazorcas	Acciona el dispositivo de transporte de las mazorcas.
	Accionar desgranado	Acciona el mecanismo de desgranado de la máquina.
	Accionar transporte de granos	Acciona el dispositivo de transporte de los granos de maíz previamente.
	Accionar limpieza	Acciona el mecanismo de limpieza de granos.
	Accionar clasificado	Acciona la clasificación de granos por tamaño.

Fuente: Elaboración propia.

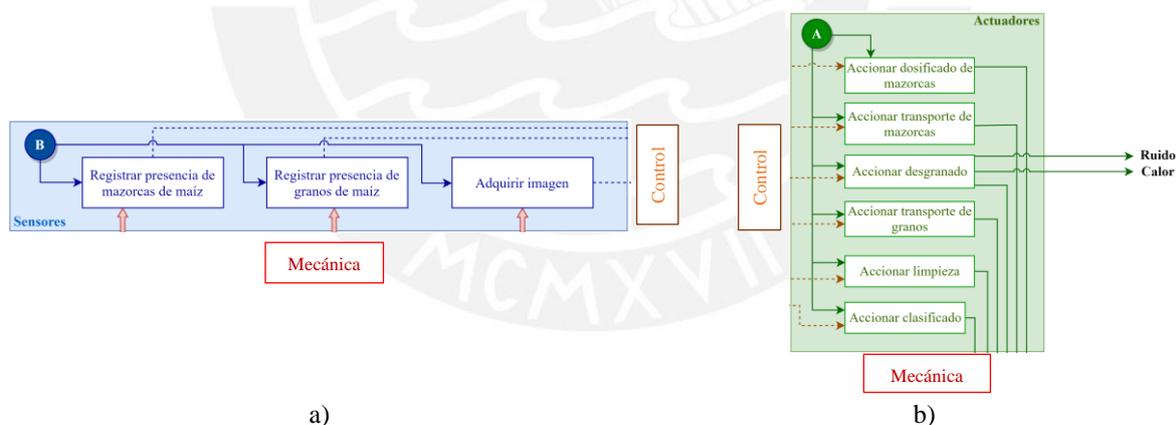


Figura 2-4. Dominio de sensores y actuadores. Fuente: Elaboración propia.

c) Funciones del dominio energía.

La descripción de los procesos realizados en la máquina mediante sus componentes de potencia y acondicionamiento eléctrico (Figura 2-5) se detalla en la siguiente Tabla 2-3.

Tabla 2-3.

Funciones de energía del sistema a diseñar.

Función	Descripción
Energizar	Alimenta eléctricamente todos los componentes de la máquina.
Acondicionar energía	Transforma la energía proveniente de la línea eléctrica de 220 V en energía apta para los componentes electrónicos de la máquina.
Acondicionar energía sensores	Alimenta eléctricamente todos los sensores que compone la máquina.
Acondicionar energía control	Alimenta eléctricamente los dispositivos de control.
Acondicionar energía interfaz	Alimenta eléctricamente el panel de interfaz usuario-máquina.

Fuente: Elaboración propia.

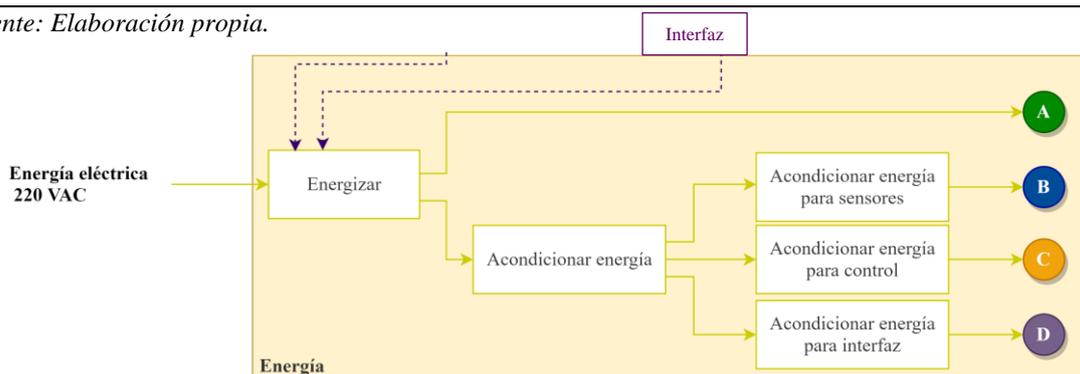


Figura 2-5. Dominio de energía. Fuente: Elaboración propia.

d) Funciones del dominio de control.

La descripción de los procesos realizados por los componentes de control de la máquina (Figura 2-6) se detalla en la siguiente Tabla 2-4.

Tabla 2-4.

Funciones de control del sistema a diseñar.

Función	Descripción
Gestionar secuencia de operaciones	Se procesan las señales provenientes de los sensores e interfaz usuario-máquina, controlando la secuencia de control de los procesos.
Controlar dosificado de mazorcas	Se controla el funcionamiento del dosificado de mazorcas.
Controlar transporte de mazorcas	Se controla el transporte de mazorcas.
Controlar desgranado	Se controla el desgranado de mazorcas.
Controlar transporte de granos	Se controla el transporte de granos.
Controlar limpieza	Se controla la limpieza de los granos previamente procesados.
Controlar clasificado	Se controla la separación de granos limpios y comerciales de los defectuosos.

Fuente: Elaboración propia.

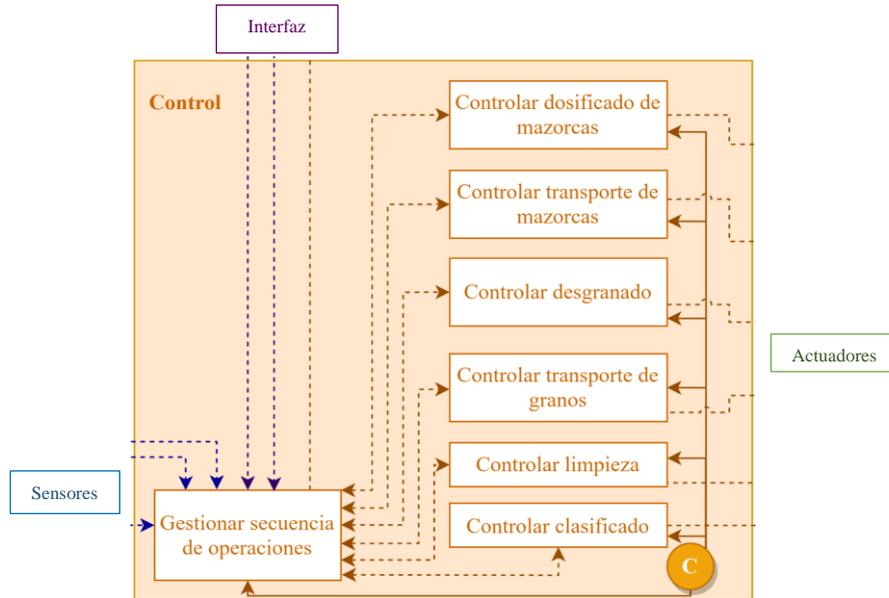


Figura 2-6. Dominio de control. Fuente: Elaboración propia.

e) Funciones del dominio de interfaz.

La descripción de los procesos realizados mediante la interfaz de la máquina (Figura 2-7) se detalla en la siguiente Tabla 2-5.

Tabla 2-5.
Funciones de control del sistema a diseñar.

Función	Descripción
Recibir señales	Se reciben las señales ingresadas por el usuario.
Recibir señales de encendido/apagado	Se reciben las señales de encendido y apagado.
Recibir señal de parada de emergencia	Se recibe la señal de parada de emergencia, en caso ocurran fallas en la máquina.
Mostrar señales de indicación	Se reciben las señales de los procesos gestionado en el dominio de control y se muestran las mismas mediante indicadores.
Mostrar señal de alimentación	Se reciben las señales cuantificables del dominio de control y se muestra la información resultante en dispositivos visuales.

Fuente: Elaboración propia

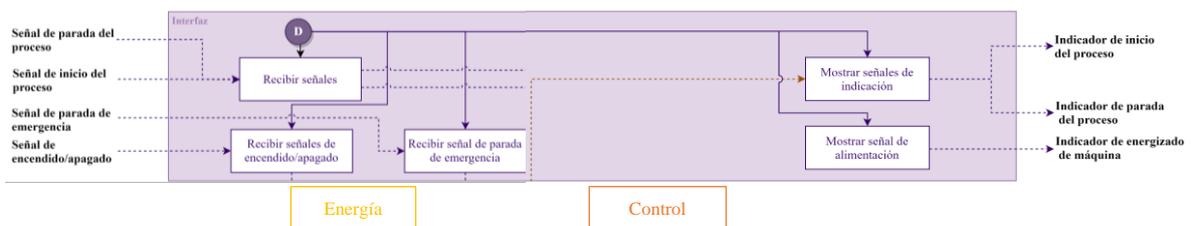


Figura 2-7. Dominio de interfaz. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Matriz morfológica

En la siguiente sección de diseño, se propondrán diversas soluciones tecnológicas que puedan cumplir eficientemente cada función que presenta la máquina en sus dominios mecánico, electrónico, energía, control e interfaz. Finalmente se realizará la combinación de los portadores de funciones convenientemente, para obtener 3 conceptos de solución de la máquina a diseñar. El diagrama completo de la matriz morfológica se encuentra en el anexo 3 del apartado Anexos del presente documento.

2.3.1. Dominio mecánico

La Tabla 2-6 muestra los conceptos de solución propuestos para el dominio mecánico.

Tabla 2-6.

Matriz morfológica del dominio mecánico.

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Recepcionar mazorcas	Tolva de alimentación	Bandeja	Tolva de alimentación	Bandeja
Dosificar mazorcas	Dosificador circular	Dosificador de tornillo sin fin	Dosificador lineal	Por vibración
Transportar mazorcas	Por gravedad	Por elevación	Por faja	Por vibración
Desgranar mazorcas	Rodillo con martillos y cribador	Rodillo helicoidal	Herramienta de corte y rodillos	Rodillo con martillos y cribador
Transportar granos	Por rampa	Por rampa	Por rampa	Por vibración
Limpiar granos	Ventilador centrífugo	Ventilador centrífugo	Zaranda vibratoria	Zaranda vibratoria
Clasificar granos	Zaranda vibratoria	Zaranda vibratoria		Sistema de visión.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Dominio electrónico

La Tabla 2-7 muestra las soluciones propuestas en el dominio eléctrico-electrónico.

Tabla 2-7.
Matriz morfológica del dominio electrónico.

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Registrar presencia de mazorcas	Sensor capacitivo	Sensor fotoeléctrico	Sensor ultrasonido	-
Registrar presencia de granos de maíz	Sensor capacitivo	Sensor fotoeléctrico	Sensor capacitivo	-
Adquirir imagen	-	-	-	Cámara digital CMOS
Accionar dosificado de mazorcas	Motor AC + Sistema de transmisión	Motorreductor	Motorreductor	Motor vibrador
Accionar transporte de mazorcas		Motorreductor		
Accionar desgranado	Motor AC	Motor AC + Sistema de transmisión	Motor DC	Motor AC
Accionar transporte de granos				
Accionar limpieza	Motor AC + Mecanismo	Motor vibrador	Motor vibrador	Motor vibrador
Accionar clasificado				Electroválvula de rápido accionamiento

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Dominio energía

La Tabla 2-8 muestra las soluciones propuestas en el dominio energía.

Tabla 2-8.
Matriz morfológica de dominio energía.

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Energizar				
Acondicionar energía	Fuente switching	Fuente switching	Fuente switching	Fuente switching
Acondicionar energía para sensores				
Acondicionar energía para control	Regulador Step Down	Regulador Step Down	Regulador Step Down	Regulador Step Down
Acondicionar energía para interfaz				

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Dominio control

La Tabla 2-9 las soluciones a nivel hardware y software pertenecientes al dominio control.

Tabla 2-9.

Matriz morfológica de dominio control.

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Gestionar secuencia de operaciones.				
Controlar dosificado de mazorcas.				
Controlar transporte de mazorcas.	PLC	PLC	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 4
Controlar desgranado	+	+	+	+
Controlar transporte de granos	Control ON-OFF	Control ON-OFF	+	+
Controlar limpieza clasificado			Control ON-OFF	Deep Learning
			Arduino	Google Coral

Fuente: Elaboración propia.

2.3.5. Dominio interfaz

La Tabla 2-10 muestra las soluciones propuestas en el dominio de interfaz.

Tabla 2-10.

Matriz morfológica de dominio interfaz.

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Recibir señales	Pulsador + selector	Panel táctil	Panel táctil	Pulsadores
Recibir señales de encendido/apagado	Interruptor	Interruptor	Interruptor	Llave termomagnética
Recibir señal de parada de emergencia	Pulsador tipo hongo	Pulsador tipo hongo	Pulsador tipo hongo	Pulsador tipo hongo
Mostrar señales de indicación	Indicadores luminosos	Indicadores luminosos	Indicadores luminosos	Indicadores luminosos
Mostrar señales de alimentación	HMI	HMI	Pantalla TFT	Indicadores luminosos

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Conceptos de solución

En esta sección se describirán los conceptos de solución resultantes de la matriz morfológica, previamente desarrollada. Además, se enlistarán los componentes y se detallará el funcionamiento de cada concepto de solución. Finalmente, estos conceptos serán evaluados técnica y económicamente para escoger el concepto más óptimo.

2.4.1. Primer concepto de solución.

En el primer concepto de solución, cuya vista externa y marco de soporte son mostrados en la Figura 2-8 y 2-9, las mazorcas son ingresadas por la tolva de alimentación, en la cual se encuentra el sensor capacitivo de presencia. Al registrar la presencia de mazorcas, se da inicio al proceso de desgranado, accionado mediante el cilindro con dados soldados y la criba (Figura 2-10). Los residuos del desgranado son absorbidos y extraídos de la máquina por el ventilador centrífugo instalado en el mismo eje del mecanismo desgranador.

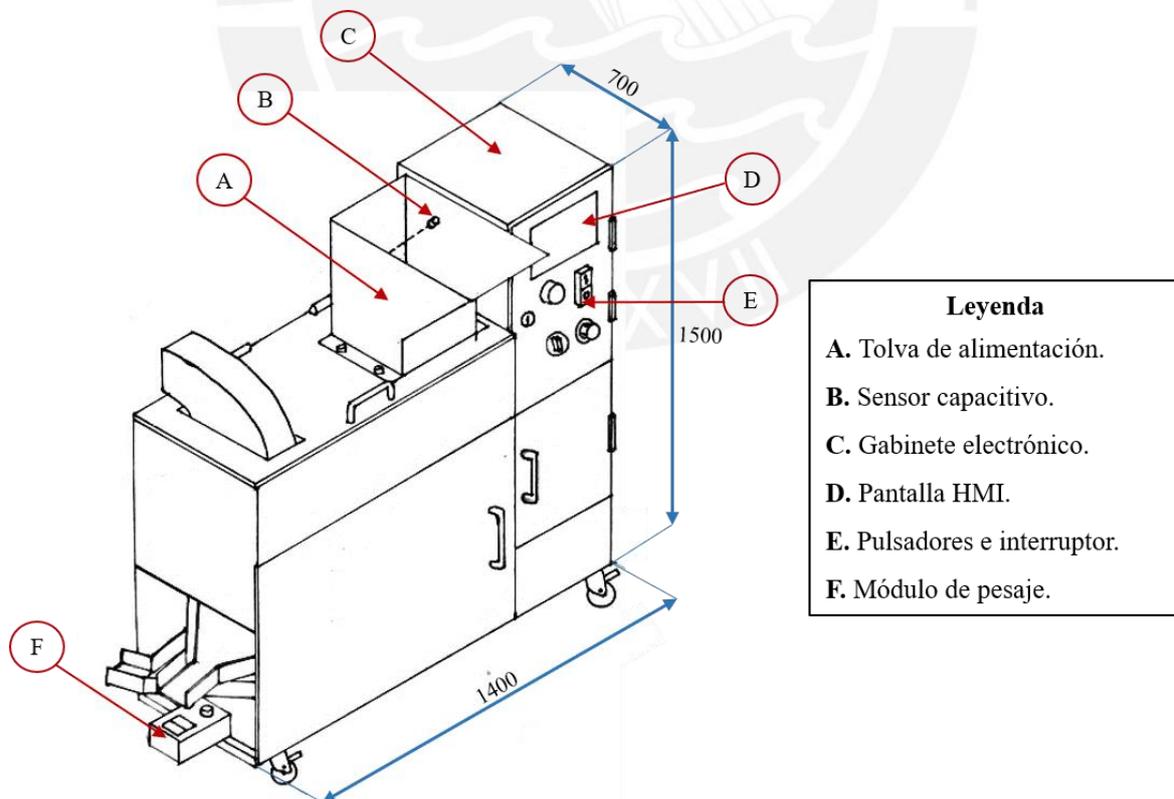


Figura 2-8. Vista externa del primer concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

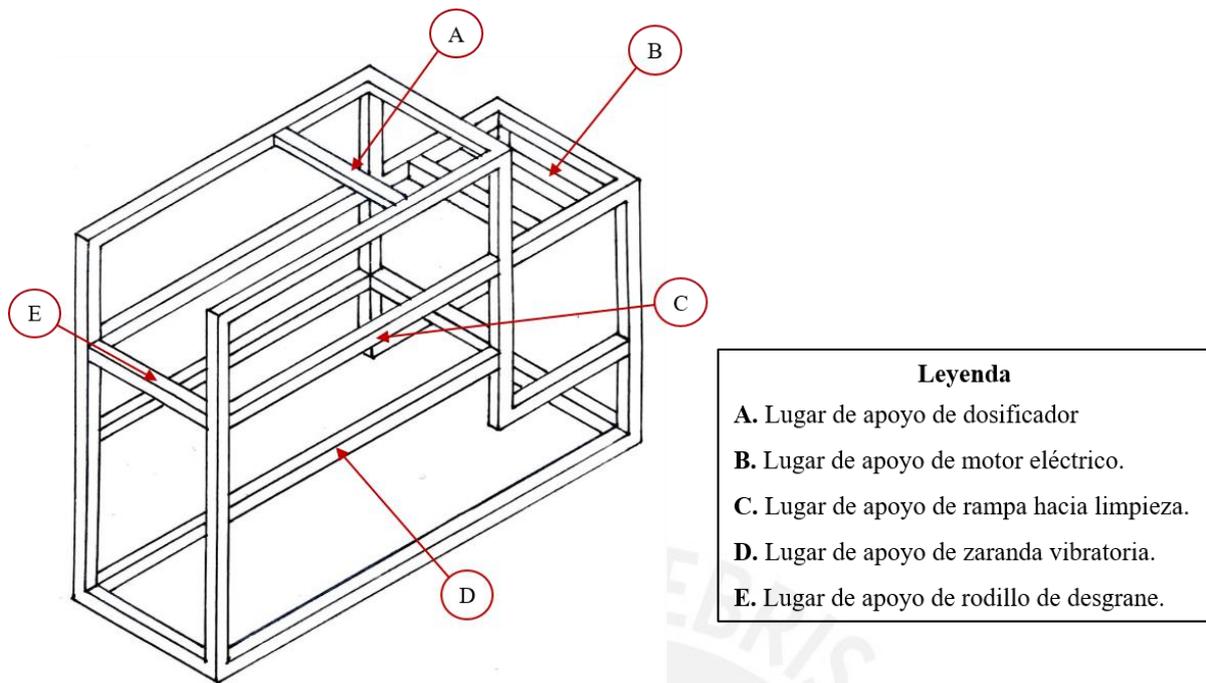


Figura 2-9. Marco de soporte de componentes de primer concepto. Fuente: Elaboración propia.

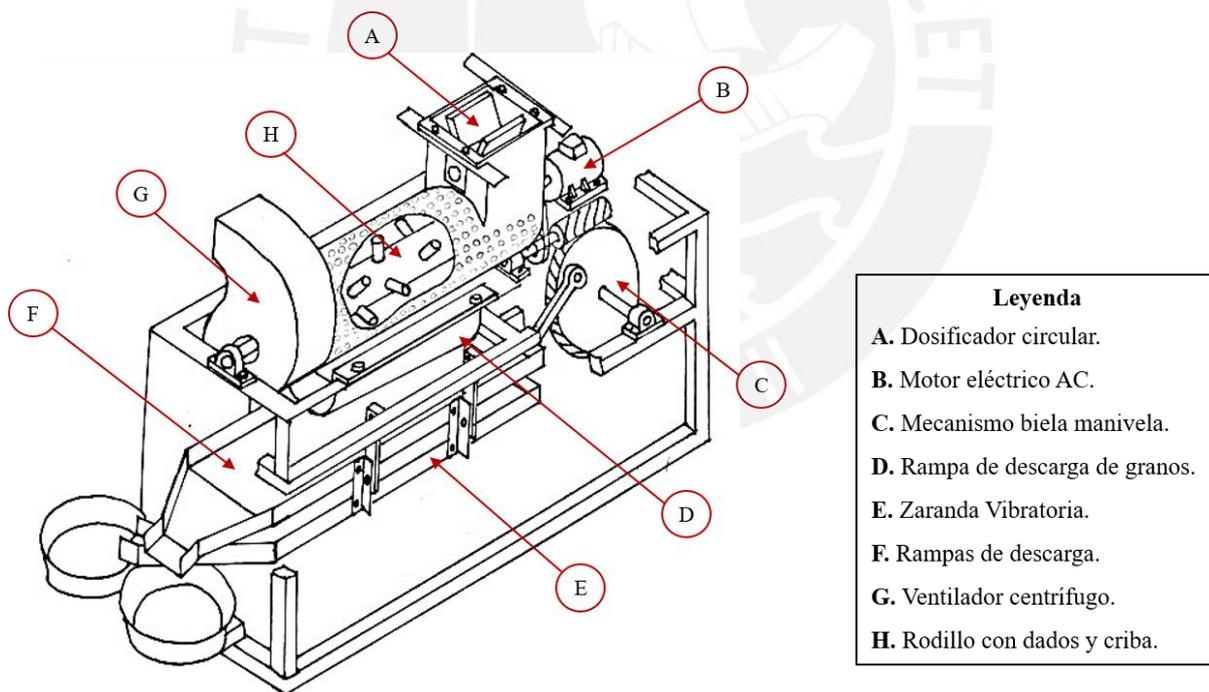


Figura 2-10. Estructura interna de máquina de primera solución. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, los granos resultantes son dirigidos hacia la entrada del sistema de limpieza mediante la rampa mostrada en el detalle de la Figura 2-11. a, la cual posee un sensor capacitivo de presencia instalada en su pared interna. Al registrar la presencia, se acciona el

mecanismo de clasificación compuesto por una zaranda vibratoria, la cual se acciona por un mecanismo biela-manivela, mostrado en la Figura 2-11. c. Finalmente, los granos son separados en dos bandejas diferentes, teniendo en el envase de descarga de los granos limpios un módulo de pesaje compuesto por una celda de carga mostrada en la Figura 2-11. b.

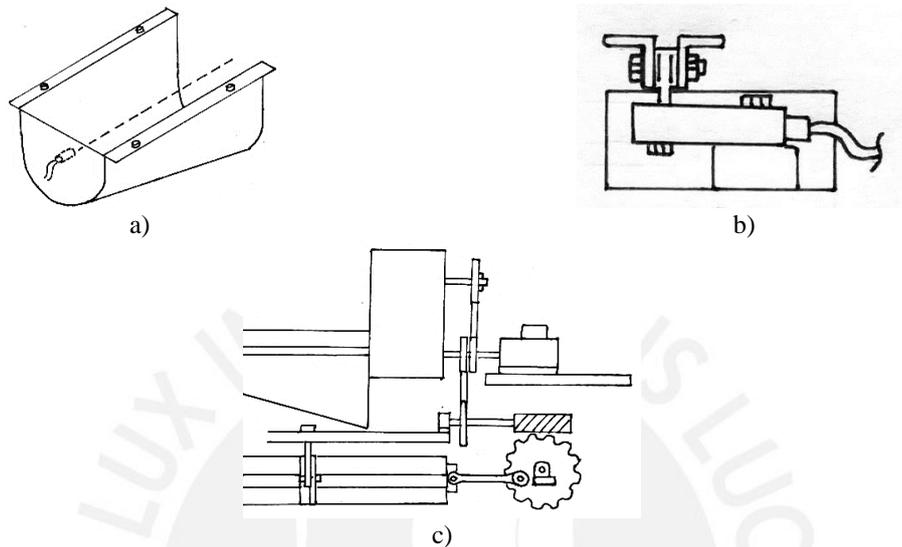


Figura 2-11. Vistas de detalles de primer concepto de solución. a) Rampa de descarga de granos. b) Estructura de módulo de pesaje. c) Mecanismo de zaranda vibratoria. Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Segundo concepto de solución.

En este siguiente concepto, mostrado en la Figura 2-12, las mazorcas son recepcionadas por una bandeja, en la cual estas son dosificadas por un tornillo sin fin, para luego ser transportadas mediante una faja de elevación hacia el mecanismo de desgranado. Luego de ello, las mazorcas son desgranadas mediante el mecanismo de tornillo helicoidal (Figura 2-13), el cual frota el maíz contra una superficie rugosa generando el desprendimiento de los granos. Finalmente, los residuos son extraídos por el ventilador centrífugo instalado al final del tornillo y los granos son clasificados por tamaño mediante la zaranda vibratoria, ubicada en la parte inferior. Los sensores de presencia, la celda de carga, así como todos los actuadores son controlados mediante un PLC ubicado en el gabinete electrónico mostrado en el marco estructural de la máquina (Figura 2-14).

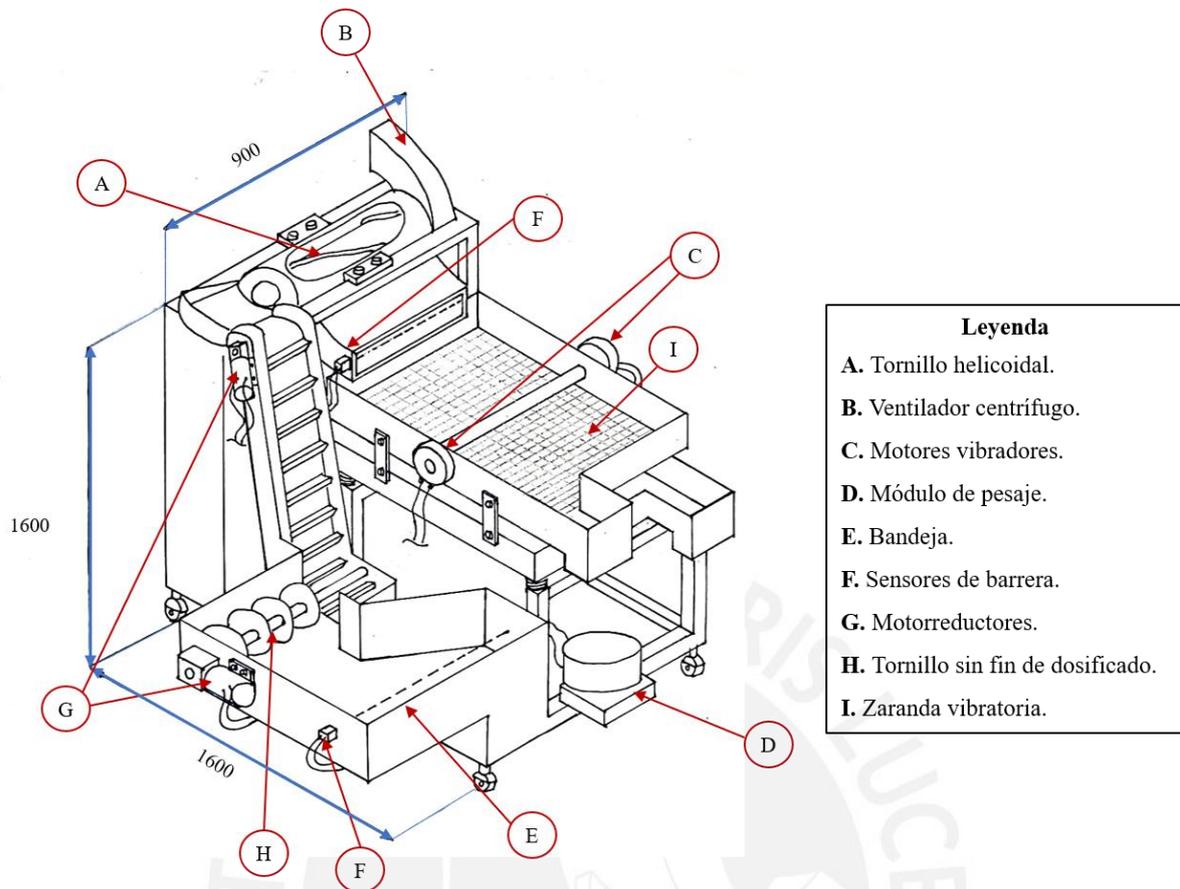


Figura 2-12. Segundo concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

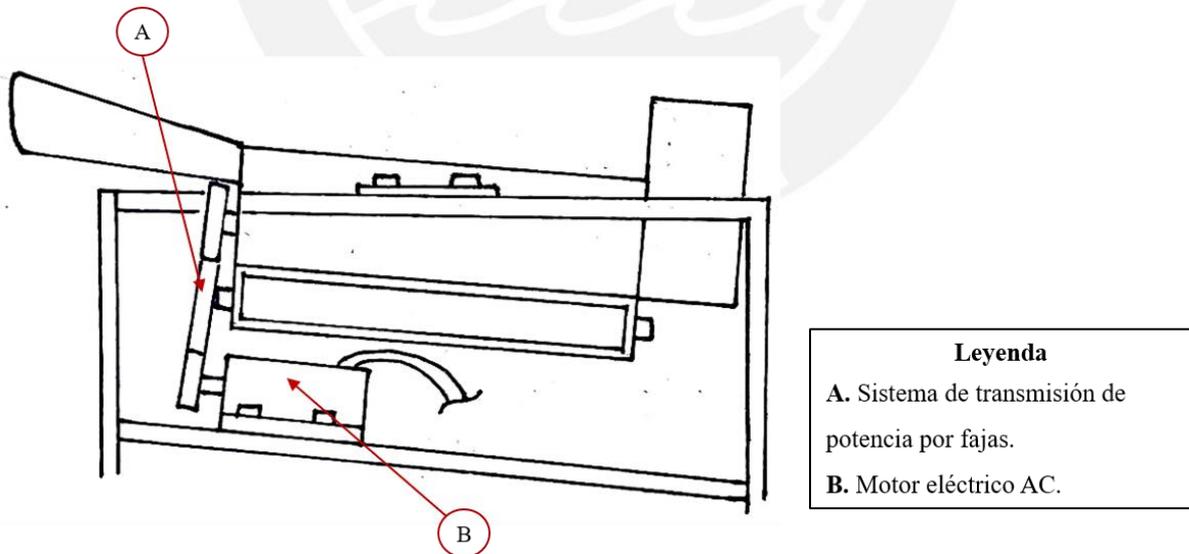


Figura 2-13. Disposición de mecanismo de desgranado de segundo concepto. Fuente: Elaboración propia.

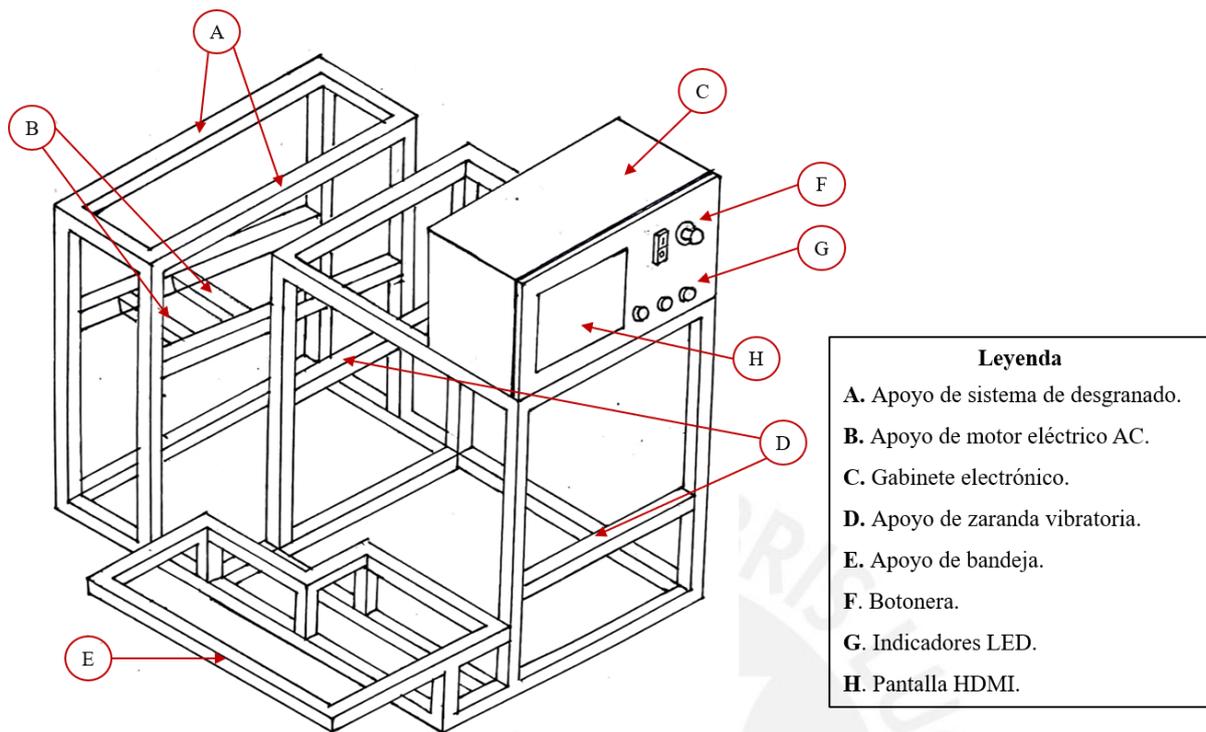


Figura 2-14. Marco estructural de segundo concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Tercer concepto de solución

En este concepto, mostrado en la Figura 2-15, las mazorcas son recepcionadas por una tolva, la cual está conectada a una faja que realiza la función de dosificar y transportar las mazorcas una por una hacia el mecanismo desgranador. En esta solución, las mazorcas son desgranadas mediante corte, para ello ingresan al sistema de desgranado mediante los dos pares de rodillos cónicos mostrados en la Figura 2-16. a. Estos rodillos dirigen a cada mazorca hacia una cuchilla de corte mostrada en la Figura 2-17. b, la cual permite el corte de todas las filas de granos, obteniendo como residuos solo las corontas. Finalmente, las corontas son expulsadas mediante otro par de rodillos cónicos hacia el exterior de la máquina y los granos son separados por tamaño mediante la zaranda vibratoria ubicada al final del proceso.

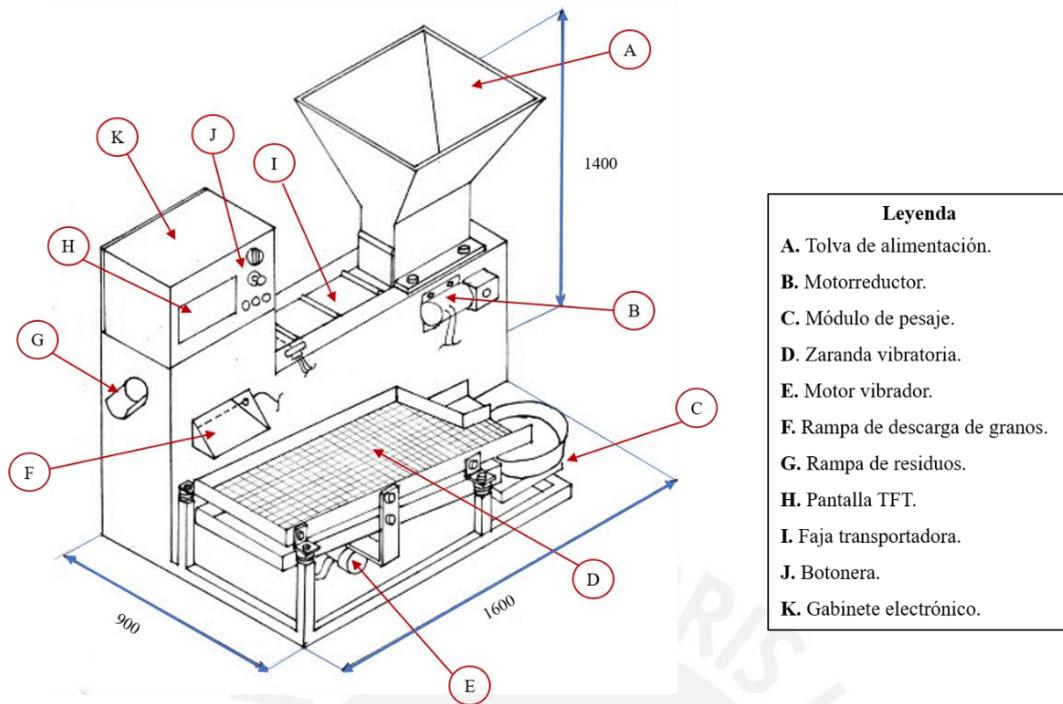


Figura 2-15. Tercer concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

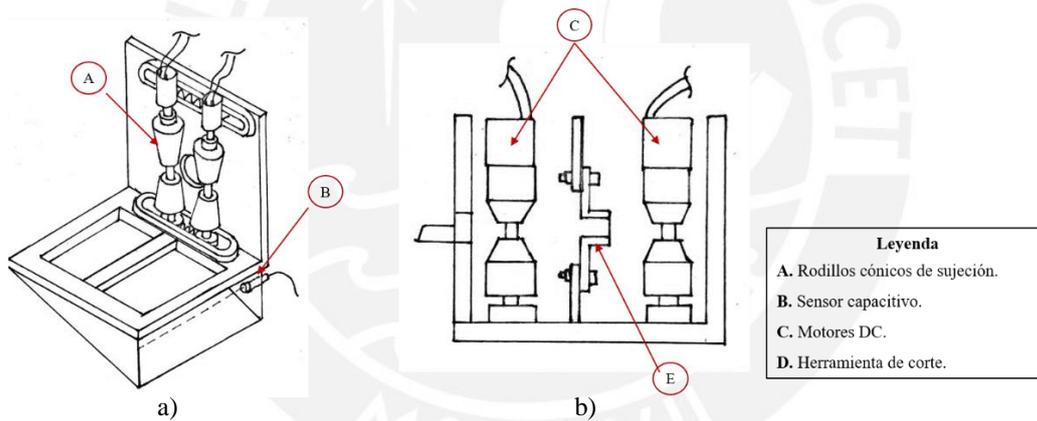


Figura 2-16. Vistas de sistema de desgranado de tercer concepto de solución. a) Vista isométrica de un par de conos. b) Vista de perfil de sistema de desgrane por corte. Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Cuarto concepto de solución

El cuarto y último concepto, mostrado en la Figura 2-17, se compone de 4 subsistemas: un dosificador vibratorio de mazorcas (A), otro de granos (E), un desgranador de mazorcas por rodillo con dados soldados (C, D) y un clasificador de granos por visión por computadora (F). El proceso, controlado por la interfaz mostrada en H, inicia con la recepción de mazorcas, las cuales luego de ser desgranadas, sus granos son limpiados y transportados por la zaranda ubicada en E. Finalmente, los granos son transportados hacia la bandeja inclinada del sistema

de visión F, donde estos son analizados en ambos lados por las dos cámaras mostradas en la Figura 2-18. Este análisis se realiza mediante un algoritmo de clasificación basado en redes neuronales y aprendizaje profundo, para ello se requiere del minicomputador Raspberry, el cual, junto al USB Accelerator Google Coral, se encarga del procesamiento de este modelo de clasificación. Luego del análisis del grano según tamaño y estado de conservación, si se determina que es un grano defectuoso, los eyectores de aire comprimido, compuestos por electroválvulas de rápido accionamiento mostradas en la Figura 2-19, empujan al grano en la fila donde este cae hacia la bandeja ubicada en D de la Figura 2-18. Si el grano corresponde a la categoría de grano bueno y sano, este seguirá su trayecto de caída hacia la bandeja ubicada en C de la Figura 2-18, terminando así el proceso.

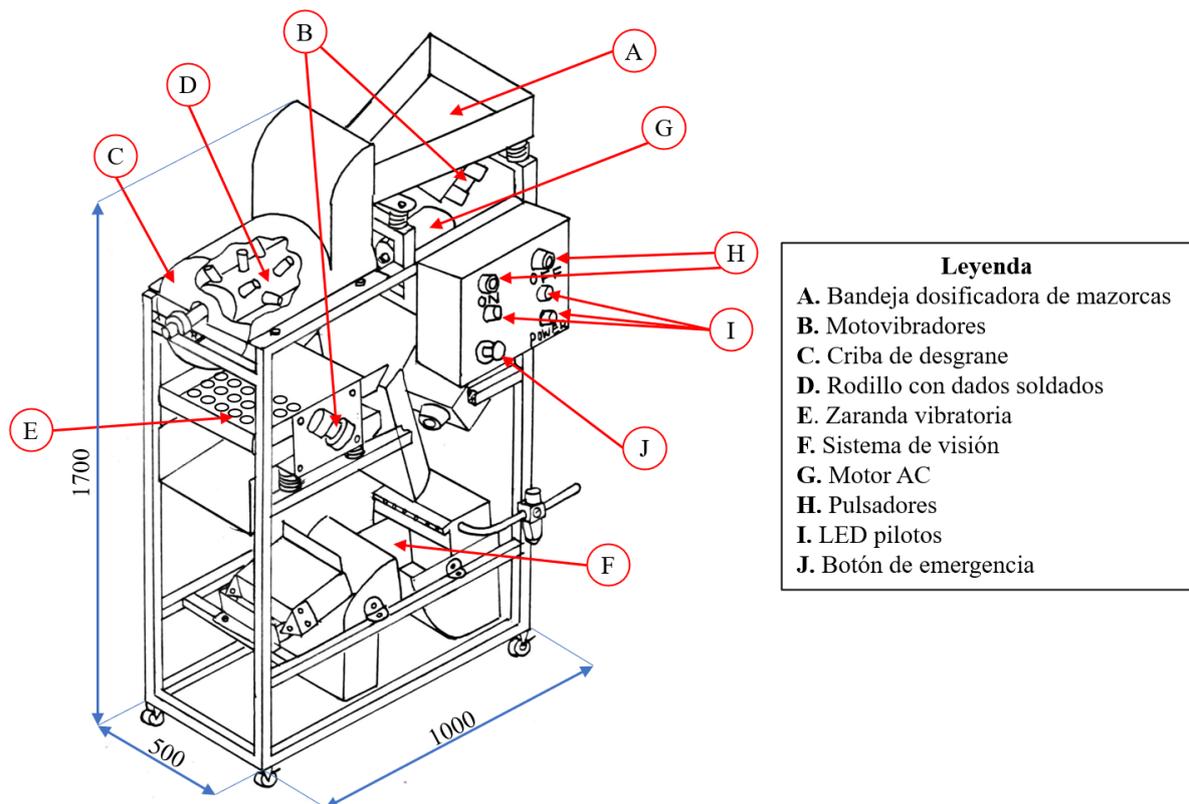


Figura 2-17. Cuarto concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

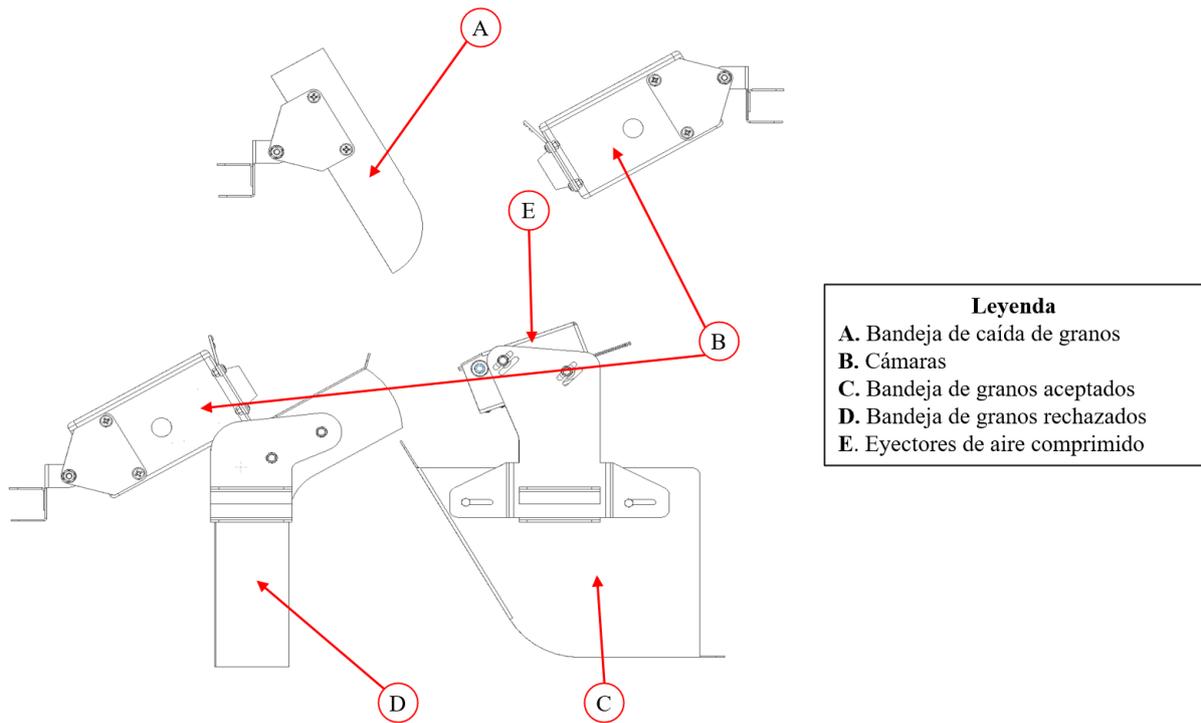


Figura 2-18. Sistema de visión del cuarto concepto de solución. Fuente: Elaboración propia.

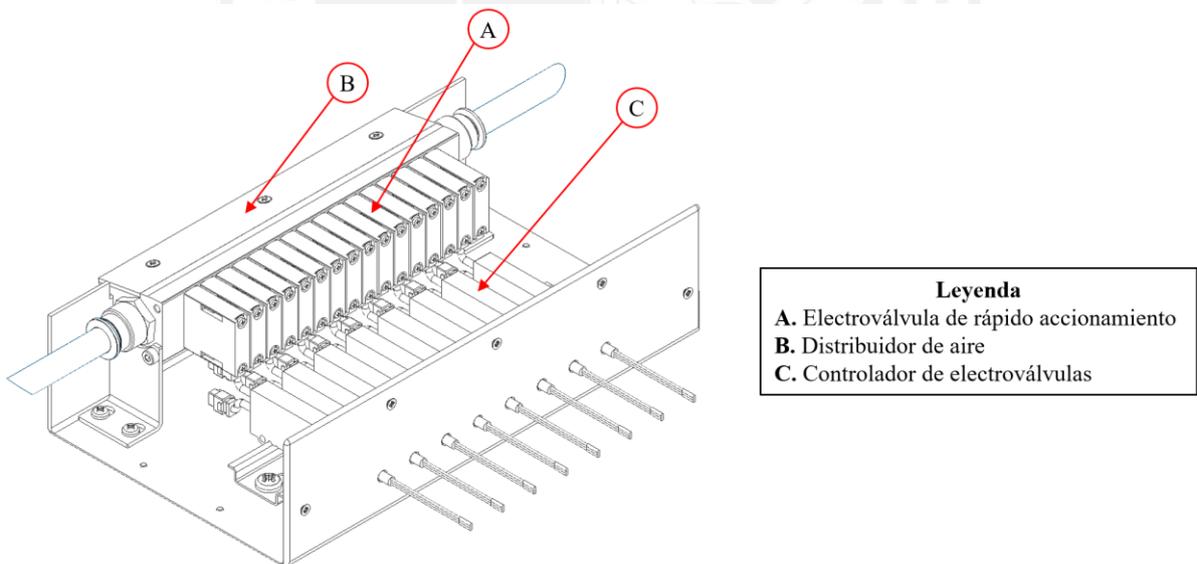


Figura 2-19. Válvulas de rápido accionamiento. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5. Evaluación técnica-económica.

En el siguiente apartado de la metodología del diseño conceptual, se justificarán los pesos de los criterios de evaluación técnicos y económicos más relevantes en el diseño de la máquina automática de desgranado y limpieza de maíz amiláceo. Además, se asignará a cada una de las tres soluciones, presentadas en la sección anterior, un puntaje de 0 a 4 en cada criterio de evaluación para la elección del diseño óptimo. Finalmente, los puntajes totales de los tres conceptos serán representados en gráficas de dispersión, así como, gráficos radiales para identificar el concepto con la tendencia más cercana a la solución ideal.

a) *Criterios técnicos.*

- ***Función principal:*** el diseño de esta máquina debe desgranar maíz amiláceo, previamente secado, con una eficiencia mayor al 95% para asegurar el cumplimiento óptimo de este criterio. Además, el subsistema de limpieza debe permitir obtener granos de maíz libres de residuos y con un tamaño comerciable (espesor de grano mayor a 11 mm). Debido a las razones previamente explicadas, se justifica la gran importancia de este criterio con un peso de 4, según la metodología VDI 2225.
- ***Tamaño y diseño:*** el peso de este criterio corresponde a 3, debido a que es importante que la máquina ocupe un espacio menor a 2 x 1.5 x 1.5 m (Largo x Ancho x Alto), pues el lugar de uso será en ambientes bajo techo. Asimismo, la simpleza del diseño de los subsistemas (desgranado y limpieza) es igual de importante para la elección de la solución óptima.
- ***Seguridad:*** al igual que el criterio anterior, este posee un peso igual a 3, pues es importante que el operario de la máquina no esté expuesto directamente a los mecanismos de desgranado y limpieza, los cuales representan un riesgo a su salud.
- ***Fabricación:*** debido a que los procesos de manufactura usados para la fabricación de los conceptos de solución preliminares son comunes entre sí (trabajo en chapa,

soldadura, unión atornillada), este criterio recibe suficiente importancia con un peso igual a 2.

- **Montaje:** este criterio es muy importante con un peso igual a 3, ya que se busca que los pequeños y medianos productores puedan ensamblar esta máquina rápida y fácilmente para la producción del maíz cosechado. De esta manera se evita pérdidas en tiempo y dinero.
- **Mantenimiento:** este criterio es suficientemente importante con un peso de 2, pues se espera que el periodo de uso de la máquina sea estacional (solo durante época de cosecha del maíz, de diciembre a abril), es decir, el mantenimiento de la máquina no será riguroso para el cumplimiento de esta tarea.

A continuación, se muestran los pesos P asignados a cada concepto de solución en la Tabla 2-11 y en la gráfica radial de la Figura 2-20.

Tabla 2-11.

Evaluación técnica de los conceptos de solución.

Proyecto: Máquina automática de desgranado y limpieza de maíz amiláceo.										
P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225)										
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)										
G: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación										
Variantes de concepto/Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4	
Nº	Criterio de Evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Función principal	4	2	8	2	8	2	8	3	12
2	Diseño	3	2	6	2	6	3	9	3	9
3	Seguridad	3	3	9	2	6	2	6	3	9
4	Fabricación	2	2	4	3	6	2	4	3	6
5	Montaje	3	3	9	3	9	2	6	3	9
6	Mantenimiento	2	3	6	3	6	2	4	3	6
7	Tamaño	3	3	9	2	6	3	9	3	9
Puntaje Máximo		80	18	51	17	47	16	46	21	60
Valor Técnico Xi			0.6375		0.5875		0.575		0.75	

Fuente: Elaboración propia.

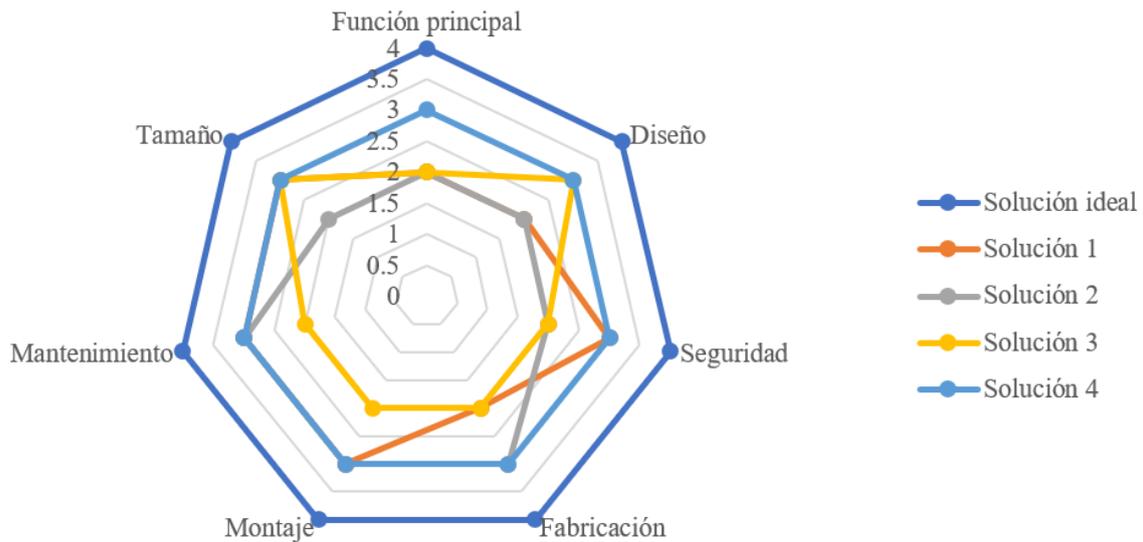


Figura 2-20. Gráfica radial de evaluación técnica de los conceptos de solución. Fuente: Elaboración propia.

De lo observado en las gráficas previas, la **función principal** de desgranar maíz es realizada muy bien por la solución 1, 2 y 4, ya que las tecnologías de desgranado por tornillo de impacto y criba poseen un rendimiento aproximado de 97.04 %; mientras que, el rendimiento de la solución 3 es aceptable, pues al ser una herramienta de corte, para un rango limitado de diámetro de mazorcas, no abarca la totalidad de tamaños del maíz amiláceo (40.7 - 36.5 mm de diámetro); respecto a la función de clasificar los granos, la solución que destaca es la 4, ya que gracias al sistema de visión basado en modelos de clasificación de Deep Learning, permite clasificar granos por tamaño y estado de conservación, en cambio las demás soluciones solo clasifican granos por tamaño; por lo tanto, los puntajes asignados son 2, 2, 2 y 3 respectivamente. Por otro lado, acerca del **tamaño y diseño**, la solución 3 y 4 presentan un buen diseño modular (puntaje igual a 3), mientras que las soluciones 1 y 2 presentan un diseño complejo debido a la cantidad elevada de actuadores que posee, así como, a su gran tamaño (puntaje igual a 2).

Respecto a la **seguridad**, debido a que la exposición de los componentes de la solución 2 es mayor a la de las soluciones 1, 3 y 4, estos diseños presentan un buen nivel de seguridad (puntaje igual a 3), mientras que la solución 2 posee una capacidad aceptable de proteger al usuario contra accidentes (puntaje igual a 2). Por otra parte, en cuanto a la complejidad en la

fabricación de los componentes, los tres primeros conceptos presentan similar dificultad (puntaje igual a 2) ya que requieren de trabajo en chapa para componentes de almacenamiento (tolvas, bandejas, carcasas, rampas, etc.), y mecanizado para los componentes de desgranado y clasificación (rodillos, cribas, ejes, aspas, racks para motores, etc.); en cambio la solución 4 requiere solo de trabajo en chapa y soldadura, procesos de manufactura de mejor costo.

Acerca del **montaje**, la complejidad para el montaje de las piezas de las soluciones 2 y 3 es mayor que la de la solución 1 y 4, debido a que la segunda solución se caracteriza por su elevado número de componentes y la tercera, por su mecanismo complejo de corte, lo cual incrementa el tiempo necesario para sus ensamblajes (puntaje igual a 1). En cambio, la primera solución no presenta mucha dificultad para su instalación, por el tamaño compacto de sus piezas. Finalmente, el grado de facilidad de **mantenimiento** de las soluciones 1, 3 y 4 es buena (puntaje igual a 3), mientras que la solución 2 no presenta un fácil acceso a sus componentes por el gran tamaño de la máquina (puntaje igual a 1).

b) Criterios económicos.

- **Costo de materiales:** se busca que el balance de costos de todos los componentes sea el más económico posible, pues esta máquina va dirigida a productores que perciben ingresos de escala media y baja. Por lo explicado anteriormente, se asigna a este importante criterio un peso igual a 3.
- **Costo de mantenimiento:** este criterio posee un peso igual a 2, pues debido al tipo de tarea (desgranado y limpieza) de la máquina, su gasto en mantenimiento será suficientemente importante para la elección del diseño óptimo.
- **Costo de diseño:** este criterio posee un peso de 3, ya que está relacionado directamente con el precio final de la máquina, el cual pretende ser competitivo con máquinas similares en el mercado (no mayor a S/. 130 000).

- **Costo de fabricación:** al igual que el criterio anterior, se asigna un peso de 3 pues es muy importante que la solución óptima tenga el costo de fabricación más económico, que permita poner su adquisición al alcance del pequeño y mediano agricultor.
- **Costo de instalación:** el ensamblaje de máquinas muy grandes o con gran cantidad de componentes requiere de maquinaria como montacargas o polipastos, cuyo uso incrementa considerablemente su costo de instalación. Por lo tanto, se asigna un peso de 3 a este criterio, teniendo en cuenta la gran importancia de escoger la solución que menos demande el uso de estos tipos de maquinarias.

A continuación, se muestran los pesos asignados a cada concepto de solución en la Tabla 2-12 y en la gráfica radial de la Figura 2-21.

Tabla 2-12.

Evaluación económica de los conceptos de solución.

Proyecto: Máquina automática de desgranado y limpieza de maíz amiláceo.										
P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225)										
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)										
G: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación.										
Variantes de concepto/Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4	
Nº	Criterio de Evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Costo de materiales	3	3	9	1	3	3	9	3	9
2	Costo de mantenimiento	2	3	6	3	6	3	6	3	6
3	Costo de diseño	3	3	9	2	6	3	9	3	9
4	Costo de fabricación	3	2	6	1	3	2	6	3	9
5	Costo de instalación	3	2	6	1	3	3	9	3	9
Puntaje Máximo		56	13	36	8	21	14	39	15	42
Valor Técnico Yi			0.643		0.375		0.482		0.75	

Fuente: Elaboración propia.

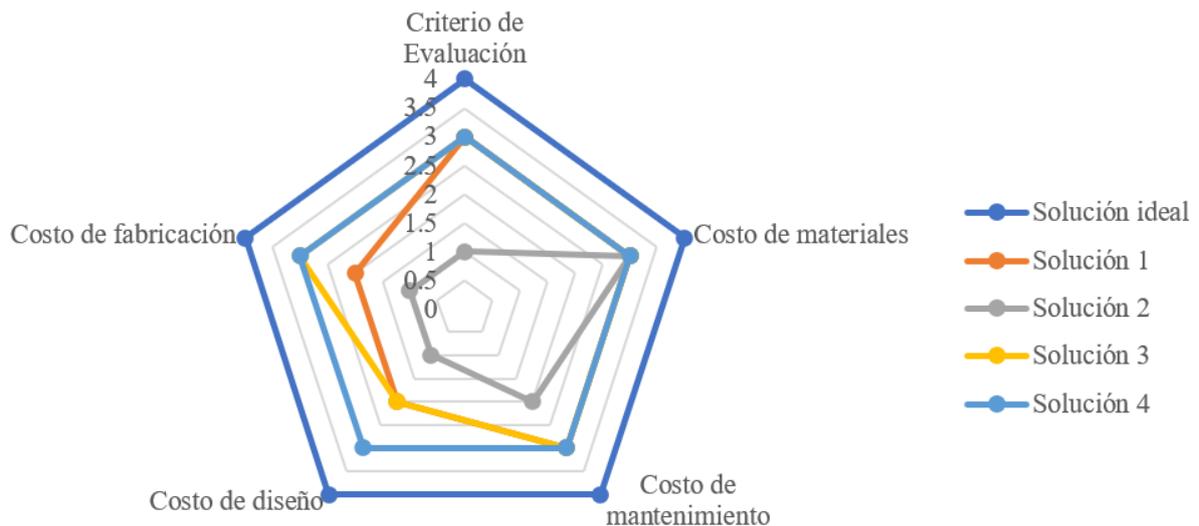


Figura 2-21. Gráfica radial de evaluación económica de los conceptos de solución. Fuente: Elaboración propia.

Según lo observado en las gráficas, la solución 1 presenta menor número de componentes que las demás soluciones, por lo que su **costo de materiales** es menor recibiendo un puntaje igual a 3, mientras que la segunda y tercera solución reciben un puntaje de 1, 2 y 4 respectivamente. Además, el **costo de mantenimiento** en las tres soluciones recibe el mismo puntaje de 3, puesto que el mantenimiento no demanda de personal especializado y el mismo usuario lo puede realizar sin problema alguno.

Acerca del **costo de diseño**, debido al complejo diseño de la solución 3, esta recibe un puntaje de 1, mientras que la primera y segunda solución reciben 2 como puntaje, ya que su nivel de diseño es similar, con la única diferencia que la segunda es de mayor tamaño. La solución 4 posee el mejor costo de diseño (puntaje 3), ya que al ser modular (4 subsistemas) es más viable para su realización. Por otro lado, según el **costo de fabricación**, la primera, tercera y cuarta solución reciben un puntaje de 3, frente a la segunda solución con un puntaje de 1, debido a que esta presenta una cantidad mayor de piezas a fabricar que las dos primeras, lo que significa un mayor coste de manufactura. Finalmente, respecto al **costo de instalación**, la segunda y tercera solución reciben un puntaje de 1 debido a la gran cantidad de piezas y su complejo diseño respectivamente, mientras que la primera solución recibe 2 de puntaje al poseer menos

componentes y tener un diseño aceptable. La solución 4, por otra parte, presenta mejor coste de instalación (puntaje 3) por su estructura modular ya explicada. A continuación, se muestra en la Figura 2-22 una gráfica de dispersión que resume la evaluación técnica-económica realizada previamente y muestra la tendencia de cada concepto de solución respecto a la solución ideal.

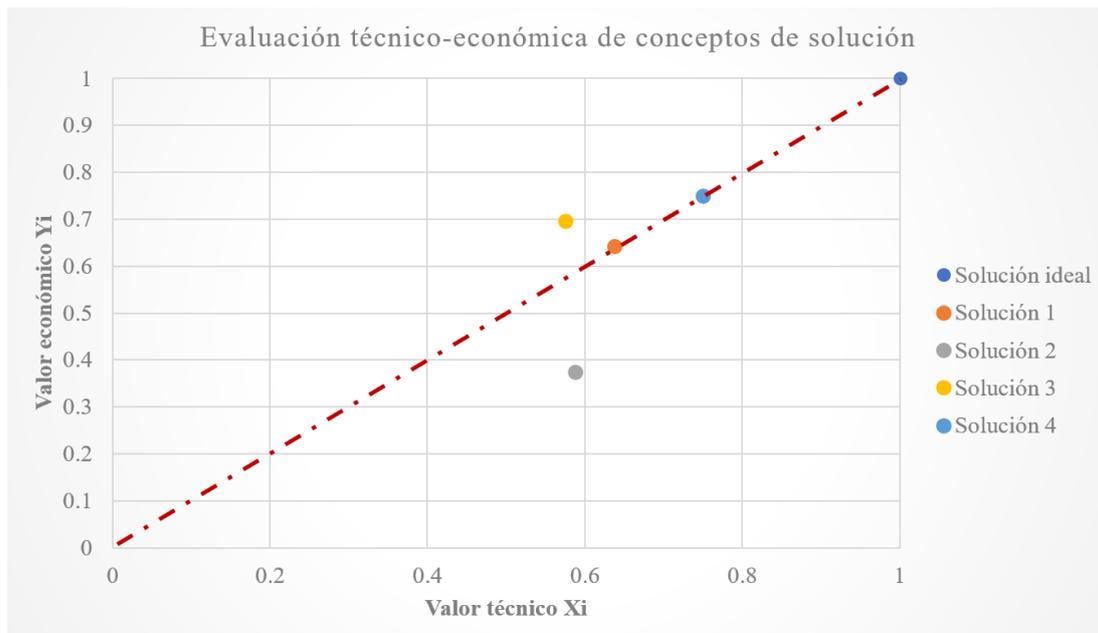


Figura 2-22. Gráfica de dispersión Valor técnico vs Valor económico. Fuente: Elaboración propia.

Según lo observado en la gráfica de dispersión, la solución 1 y 4 se acercan a la línea de tendencia ideal; sin embargo, el concepto de solución 4 es el más cercano al punto de la solución ideal, resultando el concepto óptimo de solución.

2.4.6. Concepto de solución óptimo.

El concepto de solución óptimo, resultado del análisis técnico y económico realizado previamente, se muestra en la Figura 2-23. Asimismo, en la Figura 2-24, 2-25 y 2-26 se muestran los subsistemas, el gabinete de control del sistema y la electrónica de control del sistema de visión, respectivamente.

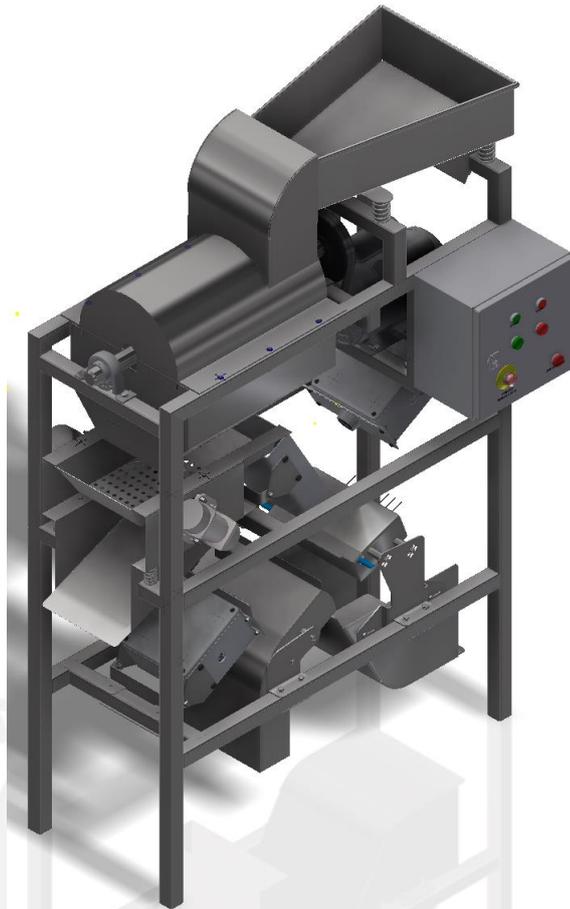


Figura 2-23. Vista isométrica del concepto de solución óptimo. Fuente: Elaboración propia.

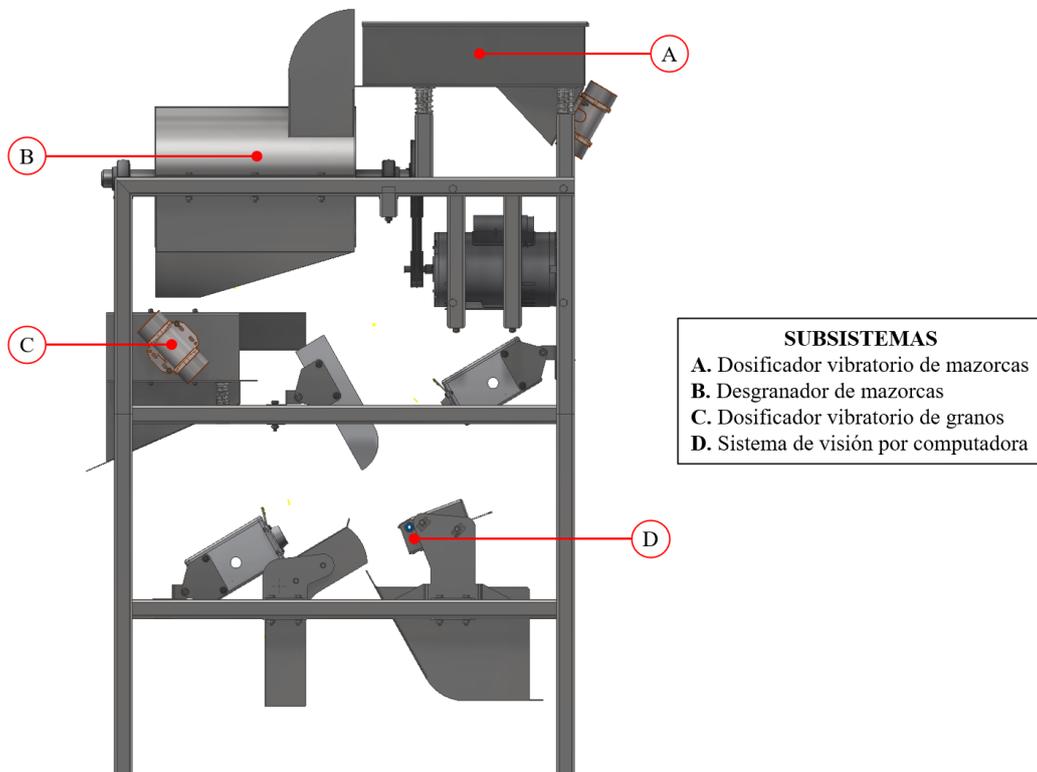


Figura 2-24. Subsistemas del concepto de solución óptimo. Fuente: Elaboración propia.

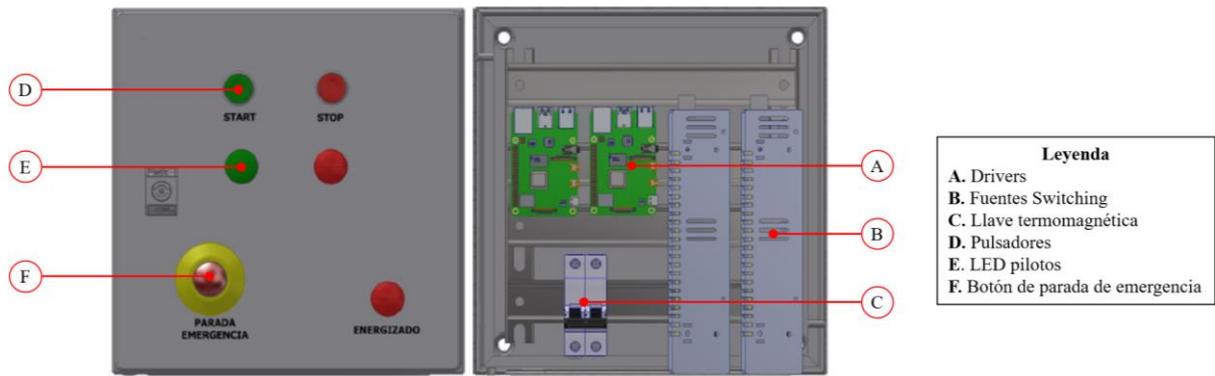


Figura 2-25. Gabinete de componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia.

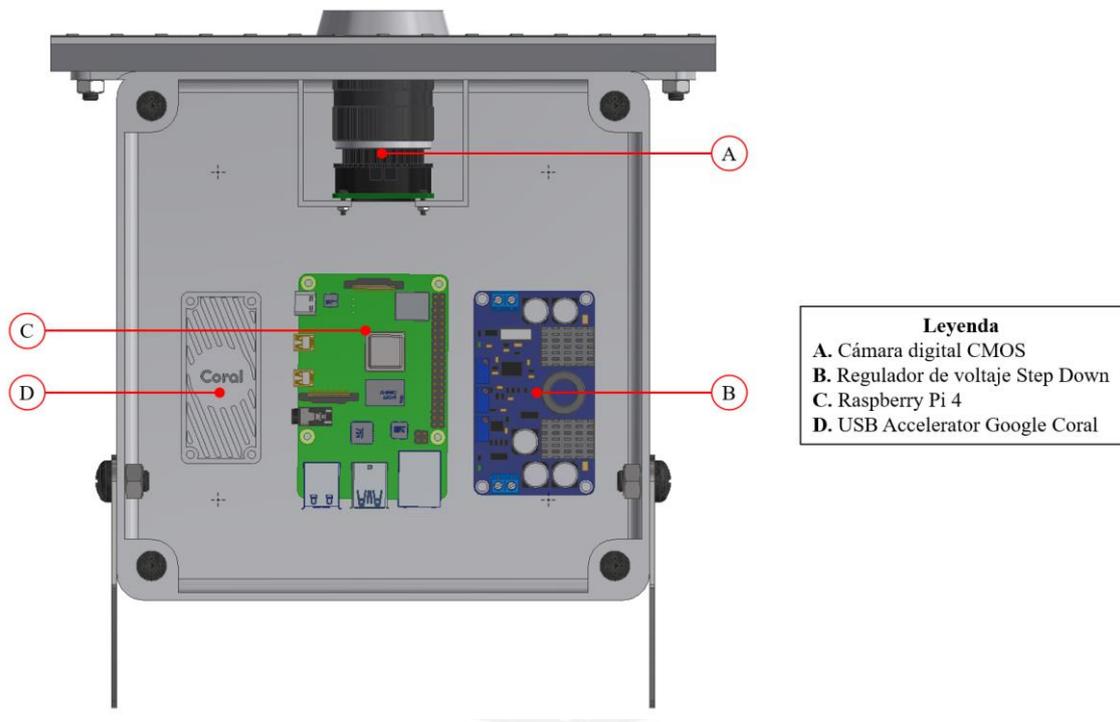


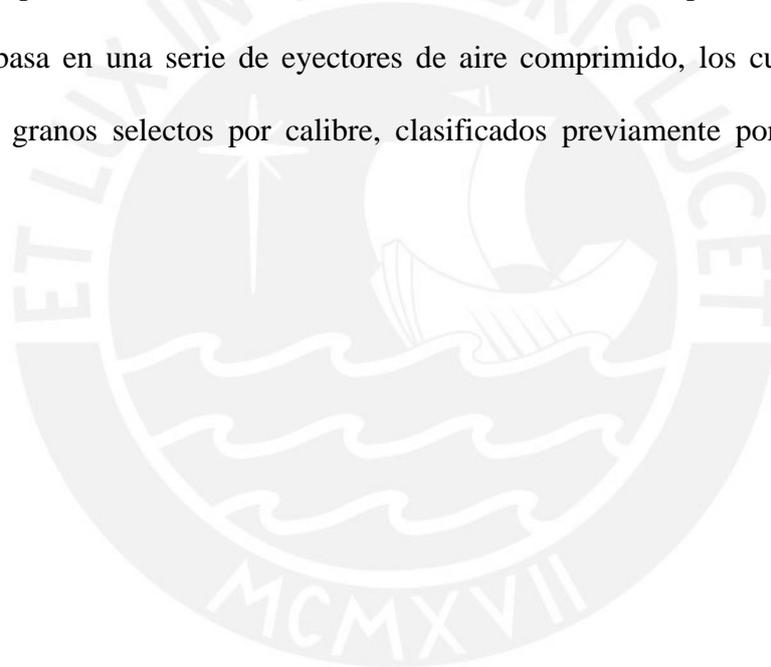
Figura 2-26. Electrónica de control del sistema de visión. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación de la metodología de diseño mecatrónico, se logró el diseño conceptual de una máquina automática que permite desgranar maíz amiláceo y clasificar los granos según su tamaño y estado de conservación. Esta solución es capaz de agilizar y estandarizar los procesos de postcosechas de los pequeños y medianos agricultores de maíz del Perú, permitiéndoles el acceso a grandes mercados como los retails, así como una mejora en sus ingresos y por consiguiente en su calidad de vida.
- A partir del estudio de tecnologías en el estado del arte, se logró obtener por un lado tecnologías de desgrane, tales como mecanismo de rodillo con dados de impacto y criba, sistema de tornillo helicoidal, así como herramientas de corte axial. Por otro lado, se obtuvieron tecnologías de clasificación por tamaño y estado de conservación, tales como zarandas vibratorias y sistemas de visión basados en algoritmos pre-entrenados de clasificación de objetos (redes neuronales convolucionales y Deep Learning) respectivamente.
- Mediante el estudio de la problemática de baja rentabilidad de la cosecha de maíz, se logró identificar los requerimientos del pequeño y mediano agricultor de maíz amiláceo, elaborando una lista de exigencias y deseos, los cuales fueron tomados en cuenta para el desarrollo del diseño óptimo de la máquina.
- Se logró identificar las principales funciones, en los 6 dominios, integrando los portadores de función más compatibles en 4 conceptos de solución. El primer concepto se basa en desgrane por dados de impacto y clasificación por tamaño. El segundo concepto consiste en desgrane por tornillo helicoidal y zaranda vibratoria, el tercero se basa en desgrane por herramienta de corte y clasificación por zaranda vibratoria. Finalmente, el último concepto obtenido consiste en un sistema de desgrane por rodillo con dados de impacto y la

clasificación de granos mediante un sistema de visión por computadora basado en redes neuronales y Deep Learning.

- Se logró obtener la solución óptima de este trabajo a partir de una evaluación técnica y económica de los 4 conceptos de solución. Este diseño óptimo es capaz de recibir y desgranar maíz amiláceo tipo Cusco (100 kg por lote de carga) con un mecanismo de rodillo con dados de impacto, accionado por un motor eléctrico. El sistema de clasificación consiste en un par de cámaras, las cuales, mediante un algoritmo de Deep Learning desarrollado sobre conceptos de redes neuronales, permiten determinar si un grano es de tamaño comerciable y posee buen estado de conservación. Finalmente, el proceso de disgregación obtenido se basa en una serie de eyectores de aire comprimido, los cuales separan con precisión los granos selectos por calibre, clasificados previamente por el algoritmo de clasificación.



BIBLIOGRAFÍA

- AGRO RURAL. (2018). *MANUAL DE ABONAMIENTO CON GUANO DE LAS ISLAS*. Recuperado de [https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL DE ABONAMIENTO CON G.I..pdf](https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL_DE_ABONAMIENTO_CON_G.I..pdf)
- Balcarce, I. (2007). Engormix. Recuperado el 20 de abril de 2020, de Maíz. La calidad del grano website: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/calidad-grano-de-maiz-t27171.htm>
- Cacuango, L. C. C., & Valencia, G. A. M. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESGRANADORA DE MAÍZ CON CAPACIDAD DE 15QQ/HORA. En *Tesis*. Quito.
- Carrasco, J. C. L. (2018, septiembre 4). Agraria. *Exportaciones peruanas de maíz amiláceo crecieron 170% en los últimos diez años*. Recuperado de <https://agraria.pe/noticias/exportaciones-peruanas-de-maiz-amilaceo-crecieron-170-en-los-17369>
- Dirección de Información Agraria. (2012). *Cadena agroproductiva del MAÍZ AMILÁCEO*. Recuperado de <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomiamamazamilaceo.pdf>
- Esparza, L. O. J. (2019). La agricultura andina y su problemática. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(1), 1–2.
- Gómez, G. V. (2015). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA VIBRATORIA DE GRANOS DE MAÍZ SEGÚN EL TAMAÑO. (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7518/6/UPS-KT00888.pdf>
- Henan Manxon Machinery Equipment. (2020). Desgranadora De Maíz. Recuperado el 3 de mayo de 2020, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-selling-rice-thresher->

philippines-maize-sheller-machine-corn-thresher-

62388777777.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.5.62541230csXze2

INEI. (2018a). *PERÚ Resultados Definitivos Población Económicamente Activa*. Recuperado

de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1600/

INEI. (2018b). *Principales resultados pequeñas, medianas y grandes unidades*

agropecuarias.

Jara Calvo, W. (2012). Manejo Del Maíz Amiláceo. *INIA, 1*, 1–24.

Longer Company. (2010). LONGER Food Machinery. Recuperado el 26 de abril de 2020, de

Corn/Maize Threshing Machine/Corn Cutter Machine website: <https://www.longer-machinery.com/>

López, R. T. S. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE VISIÓN POR COMPUTADORA*

PARA LA CLASIFICACIÓN DE ARÁNDANOS POR TAMAÑO Y CARACTERÍSTICAS

ASOCIADAS AL COLOR. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

Minagri. (2018). Sistema Integrado de Estadística Agraria. Recuperado el 20 de abril de

2020, de 2018 Anuario Estadístico de Producción Agrícola website:

<http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-agricola>

Pintado, M. (2017). *Agricultura familiar y situación alimentaria en Huancavelica*. (Núm. 2).

Recuperado de [http://nuestratierra.org/wp-content/uploads/2018/03/Estudio-](http://nuestratierra.org/wp-content/uploads/2018/03/Estudio-Huancavelica-final.pdf)

[Huancavelica-final.pdf](http://nuestratierra.org/wp-content/uploads/2018/03/Estudio-Huancavelica-final.pdf)

RAYTEC. (2016). Dryce DR-602. Recuperado de RAYTEC VISION website:

<https://www.raytecvision.com/en/prodotto2.asp?ID3=26&con=1>

Redolfi, J. A., Gonz, D., & Pucheta, A. (2016). Clasificación de Variedades de Semillas de

Trigo usando Visión por Computadora. *8° Congreso de AgroInformática*, 29.

Salhuana, W. (2004). Diversidad y descripción de las razas de maíz del Perú. *Programa*

Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM): logros y perspectivas. 50° aniversario,

204–251. Recuperado de

[https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad y razas de maiz en Peru.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Diversidad_y_razas_de_maiz_en_Peru.pdf)

SATAKE GROUP. (2015). Optical Sorter for Plastic “Pellet Sorter DS”. Recuperado de SATAKE website: <https://satake-group.com/news/new-release/151203-1.html>

SATAKE GROUP. (2016). PIKASEN FMS2000. Recuperado de SATAKE USA website: <https://www.satake-usa.com/fms2000/>

Stanfield, Z. (1991). *Seed corn sheller*. United States.

Tapia, M., Arla, S., & Tapia, E. (2017). Implementación de una máquina agrícola de bajo costo para el proceso de desgranado de maíz seco suave originario de la sierra ecuatoriana. *Enfoque UTE*, 8(2), 1–14. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.152>

Ureña Espín, Joel Froilan; Villavicencio Calle, J. M. (2012). *Diseño Y construcción de una máquina para el proceso de desgranado de maíz de la costa*. 153.

WEIWEI. (2020). WEIWEI MACHINERY. Recuperado el 20 de abril de 2020, de Corn Sheller 5TY-60 website: http://www.weiweimachinery.com/products/corn_sheller_5ty_60.html#botu

WEIWEI MACHINERY. (s/f). Corn Sheller 5TY-60. Recuperado el 3 de mayo de 2020, de http://www.weiweimachinery.com/products/corn_sheller_5ty_60.html

ZANIN. (2020). ZANIN. Recuperado el 20 de abril de 2020, de LIMPIADORES DE TAMICES website: <https://www.zanin-italia.com/prodotti.html>

Zhengzhou Taizy Trading Co., L. (2020). TAIZY. Recuperado el 26 de abril de 2020, de Shelling corn maize machine website: <https://www.agriculture-machine.com/>

王友军. (2020). *Patent Núm. CN 210143336 U*. Recuperado de

<https://patentimages.storage.googleapis.com/1e/4a/0c/5967fab52a2c7/CN210143336U.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: LISTA DE REQUERIMIENTOS

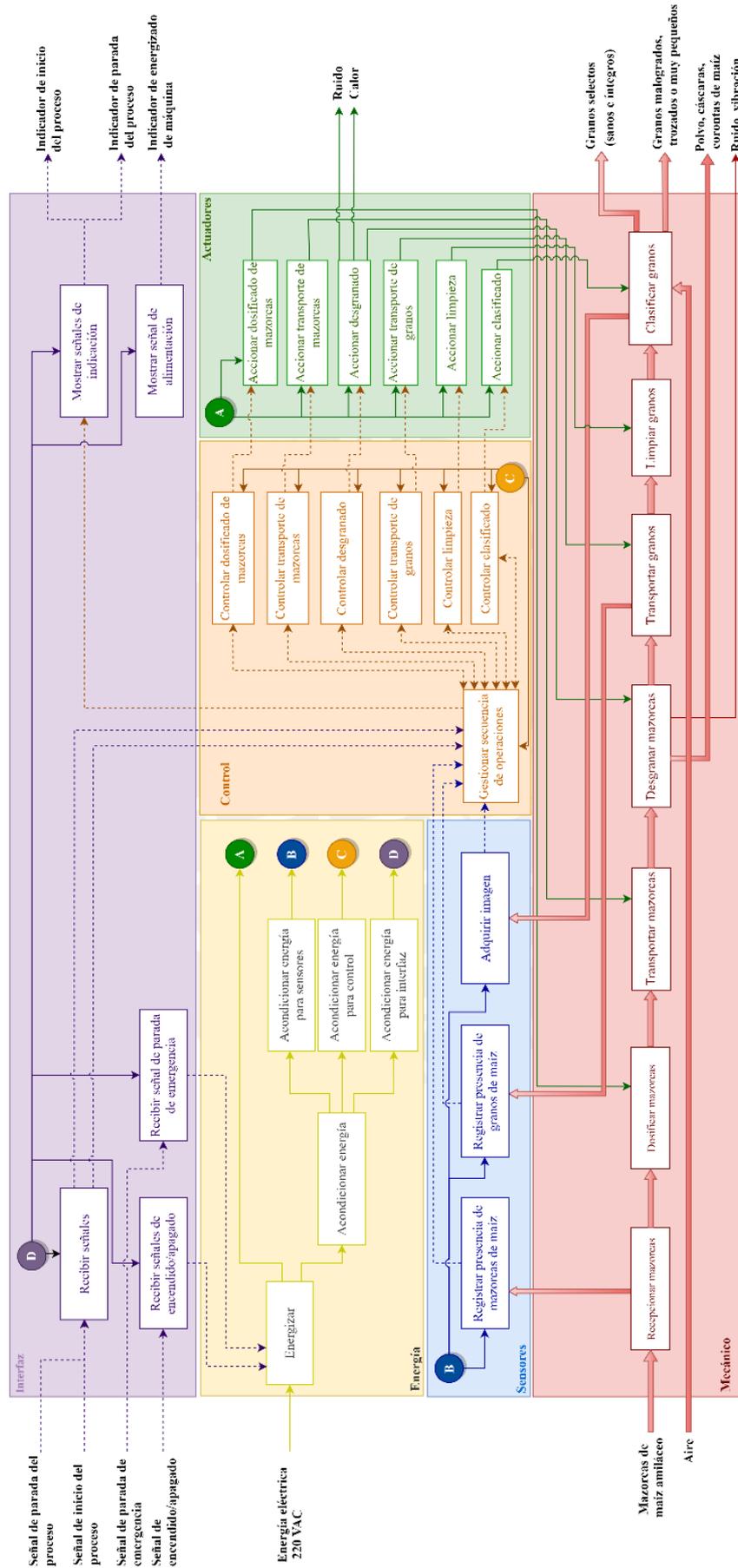
LISTA DE REQUERIMIENTOS			Edición: Rev2
PROYECTO	Diseño conceptual de un desgranador y clasificador de granos de maíz amiláceo por calibre y estado de conservación		Fecha: 10/05/2020
Cliente: Pequeño productor agrícola del departamento de Huancavelica			Revisado: L.E.G.Z.
Fecha (Cambios)	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
Función principal			
12/05/2020	E	Desgranar y clasificar maíz de tipo amiláceo según el tamaño y estado de conservación de los granos de forma automática, con una capacidad de 100 kg/h por lote de carga.	S.R.R.G.
Materia			
12/05/2020	E	<p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mazorcas peladas de maíz amiláceo seco con humedad relativa entre 10 a 15%. <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> Granos limpios de maíz amiláceo. Granos malogrados, trozados, o muy pequeños (menor a 5.5 mm de espesor). Polvo, cáscaras, corontas de maíz y residuos del proceso. 	S.R.R.G.
Geometría			
01/04/2020	E	La máquina ocupará un espacio no mayor a 2 x 1.5 x 1.5 m (Largo x Ancho x Alto).	S.R.R.G.
Uso			
01/04/2020	E	La manipulación de la máquina estará dirigido al campesino agricultor, previamente capacitado. El ambiente de uso de la máquina estará orientado a ambientes bajo techo.	S.R.R.G.
18/05/2020	D	<p>Condiciones climáticas de uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura de uso óptimo: 10°C - 30°C Humedad relativa: 60% - 80%. Altitud: hasta los 3400 msnm. 	S.R.R.G.
Señales			
18/05/2020	E	<p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> Señal de encendido de la máquina. Señal de inicio del proceso. Señal de parada del proceso. Señal de parada de emergencia. 	S.R.R.G.

		<p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador de inicio de proceso de desgranado y clasificación. • Indicador de parada de proceso de desgranado y clasificación. • Indicador de energizado de máquina. 	
Energía			
12/05/2020	E	<p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica monofásica de 220 VAC a 60 Hz. <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía lumínica para los indicadores. • Energía sonora para las alarmas. 	S.R.R.G.
Fuerzas			
12/05/2020	E	El peso de la máquina no deberá superar los 200 kg.	S.R.R.G.
01/04/2020	E	La máquina debe ser capaz de soportar una carga de 100 kg de maíz como mínimo, manteniendo su rigidez y estabilidad.	S.R.R.G.
01/04/2020	E	La estructura será capaz de soportar el peso de todos los componentes y materiales seleccionados, así como las fuerzas de flexión producidas por el desgranado de maíz.	S.R.R.G.
Material			
12/05/2020	E	Los materiales de fabricación deben ser resistente a la corrosión, de tipo alimentario (Reglamento N.º1935/2004) y resistentes a vibración.	S.R.R.G.
Cinemática			
01/04/2020	E	La máquina producirá internamente movimientos rotacionales y rectilíneos, necesarios para el desgranado y el transporte del maíz hacia los subsistemas.	S.R.R.G.
12/05/2020	E	Las velocidades de operación en los subprocesos de desgranado y limpieza deben garantizar la sincronía de estos, así como la capacidad de producción requerida de 100 kg/h.	S.R.R.G.
12/05/2020	E	La máquina no deberá desplazarse mientras esté en funcionamiento.	S.R.R.G.
Electrónica			
12/05/2020	E	<p>La electrónica de la máquina contará con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema electrónico de potencia para actuadores. • Sistema electrónico de condicionamiento de energía alterna. • Sistema electrónico para la interacción del controlador con los sensores y actuadores. • Sistema electrónico de seguridad de monitoreo de corriente. • Sistema electrónico de regulación de corriente usada para desgranar maíz. • El grado de aislamiento del tablero electrónico de control será IP54. 	S.R.R.G.

Control			
12/05/2020	E	El encendido de la máquina, inicio del proceso y parada de emergencia será manual.	S.R.R.G.
12/05/2020	E	El proceso de desgranado se realizará de forma automática, siempre y cuando haya materia disponible.	S.R.R.G.
12/05/2020	E	Se debe desarrollar el control de velocidad de los mecanismos de desgrane y limpieza.	S.R.R.G.
Comunicación			
12/05/2020	E	La comunicación entre los equipos actuadores y sensores con el sistema de control será mediante uso de cables con protocolos de comunicación estándar.	S.R.R.G.
Interfaz de usuario			
12/05/2020	E	Se requiere un panel de control para la interacción hombre-máquina.	S.R.R.G.
12/05/2020	E	La interfaz usuario-máquina debe ser intuitivo.	S.R.R.G.
01/04/2020	D	Se desea la realización de un programa orientado a objetos para la interacción hombre máquina mediante pantallas táctiles o monitoreo remoto a distancia.	S.R.R.G.
Seguridad			
01/04/2020	E	El sistema debe cumplir los requisitos esenciales de seguridad y salud de la norma EN ISO 12100 referente a bordes cortantes, riesgo de contacto con partes móviles, riesgo de aplastamiento y riesgo de descarga eléctrica.	S.R.R.G.
Mantenimiento			
01/04/2020	E	Los componentes más susceptibles a daños o desgastes reunirán las siguientes características para facilitar el mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> • Ubicación en puntos de fácil acceso • Mantenimiento preventivo de limpieza • Uso común o estándar, disponibilidad amplia en el mercado local 	S.R.R.G.
Ergonomía			
01/04/2020	E	Se debe cumplir con la Norma aprobada por la Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR referente a Ergonomía y Evaluación de Riesgo Disergonómico, considerando el plano de trabajo, para tareas demandantes de fuerza moderada, a la altura de los codos.	S.R.R.G.
Montaje			
12/05/2020	E	Para el montaje de la estructura modular se requerirá de: <ul style="list-style-type: none"> • Uso de uniones mediante pernos. • Maquinaria de montaje (montacargas, polipastos, etc.). 	S.R.R.G.

Costos			
01/04/2020	E	El costo de diseño será de S/.12 000, considerando un trabajo remunerado de S/. 30 por hora, para un tiempo total de 400 horas aproximadamente.	S.R.R.G.
31/05/2020	E	Los costos de fabricación, materiales y componentes no superarán los S/. 130 000.	S.R.R.G.
31/05/2020	E	El precio de la máquina será competitivo con los precios de desgranadoras del mercado internacional.	S.R.R.G.
Transporte			
01/04/2020	E	Para su transporte, requiere ser desmontada en módulos de no más de 10 kg cada uno, con el objetivo de poder ser movilizados por 4 operarios hacia un vehículo de carga. La máquina podrá ser trasladada apoyada en su base mediante mecanismo de traslación por rodamiento.	S.R.R.G.
Plazo de entrega			
01/04/2020	E	Se plantea la realización del proyecto en un plazo de 245 días. La entrega de los documentos finales se realizará el 4 de diciembre del 2020.	S.R.R.G.

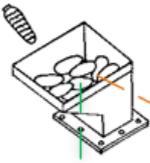
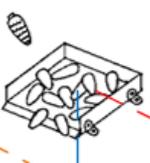
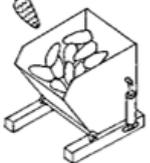
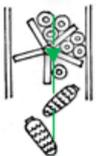
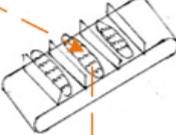
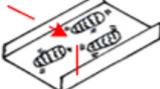
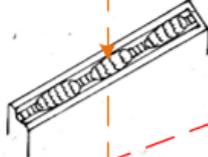
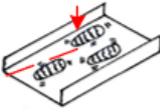
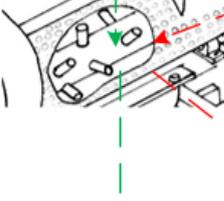
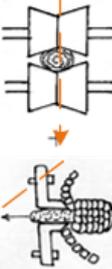
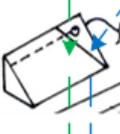
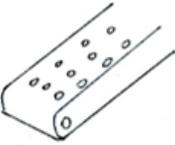
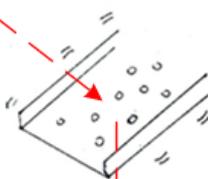
ANEXO 2: DIAGRAMA DE FUNCIONES

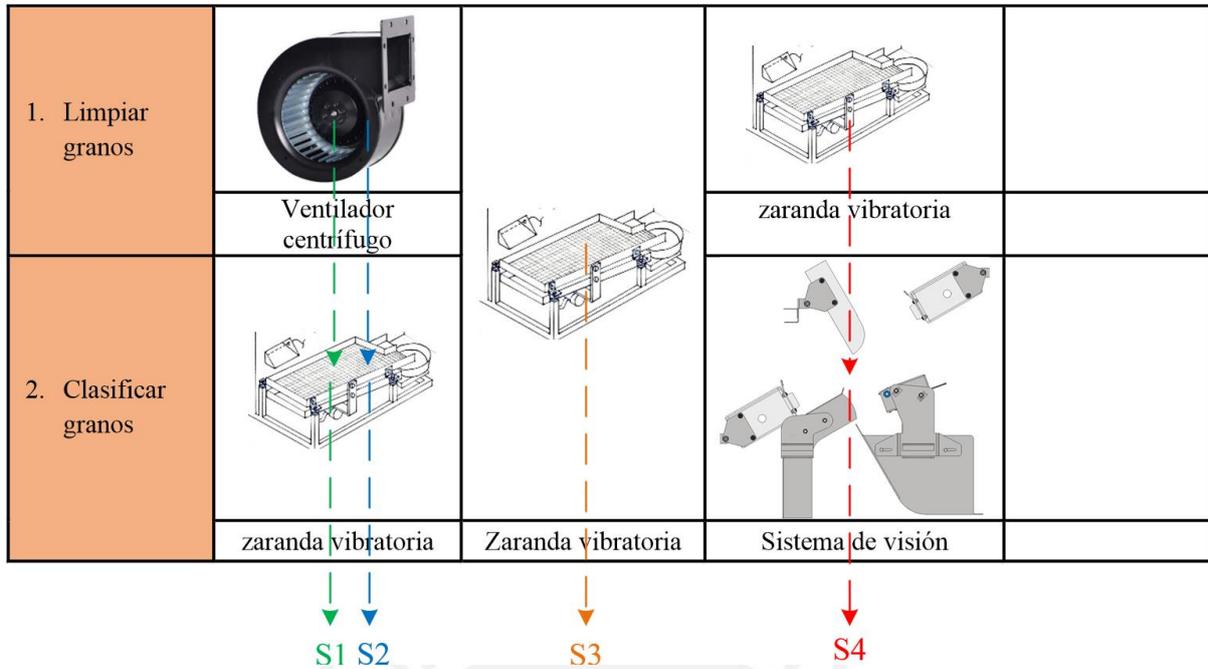


ANEXO 3: MATRIZ MORFOLÓGICA

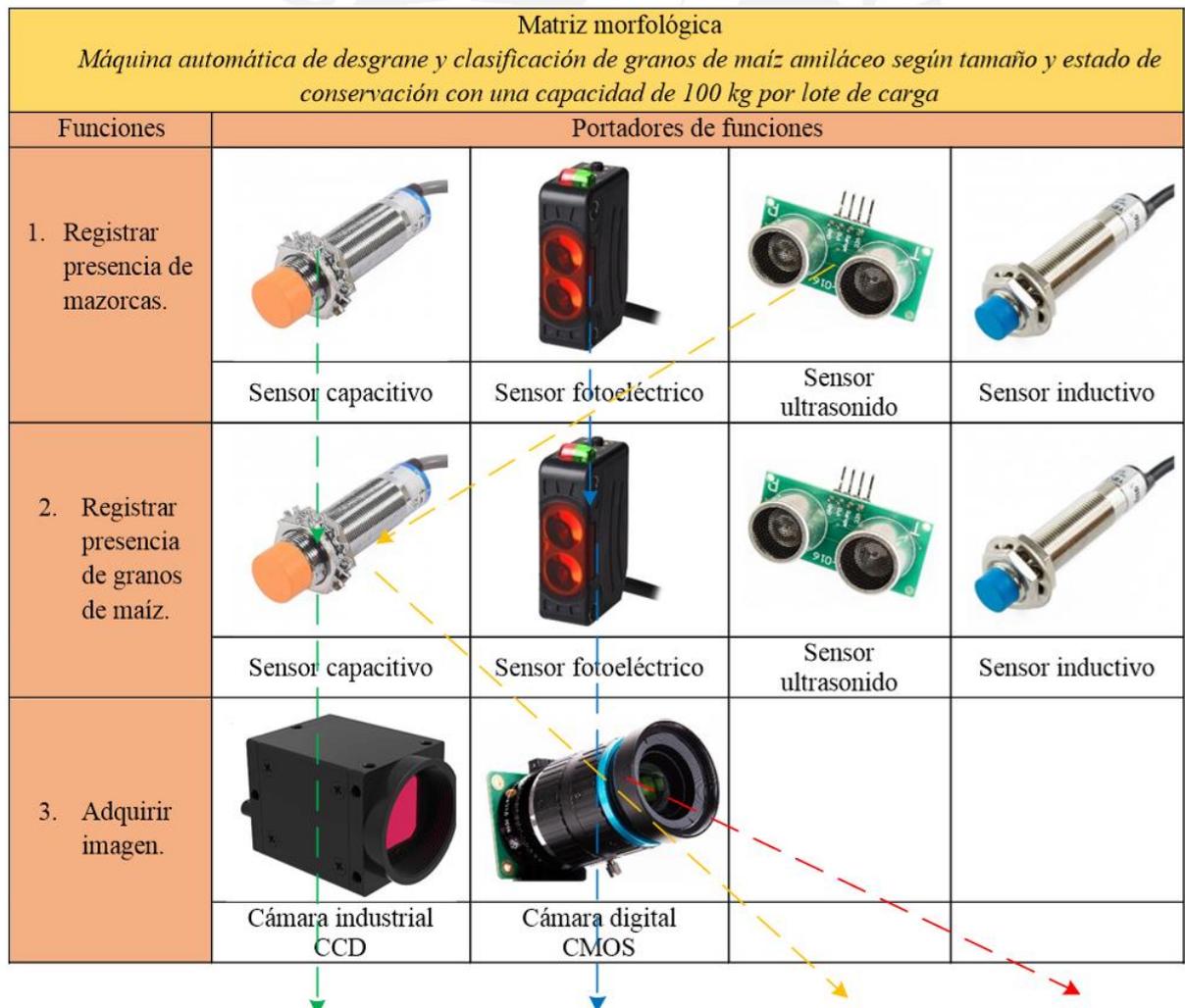
Concepto de solución 1 →	Concepto de solución 2 →	Concepto de solución 3 →	Concepto de solución 4 →
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

• **Dominio mecánico:**

Matriz morfológica				
<i>Máquina automática de desgrane y clasificación de granos de maíz amiláceo según tamaño y estado de conservación con una capacidad de 100 kg por lote de carga</i>				
Funciones	Portadores de funciones			
1. Recepcionar mazorcas				
	Tolva de alimentación	Bandeja	Contenedor basculante	
2. Dosificar mazorcas				
	Dosificador circular	Dosificador de tornillo sin fin	Dosificador lineal	Por vibración
3. Transportar mazorcas				
	Por gravedad	Por elevación	Por faja	Por vibración
4. Desgranar mazorcas				
	Rodillo con martillos y cribador	Rodillo helicoidal	Herramienta de corte y rodillos	
5. Transportar granos				
	Por rampa	Por faja	Por vibración	

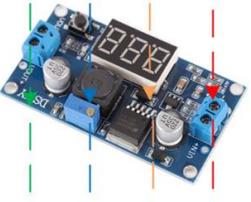


• **Dominio electrónico:**



4. Accionar dosificado de mazorcas.	 + 	 Motorreductor		
5. Accionar transporte de mazorcas.	 Motor AC + Sistema de transmisión	 Motorreductor	 Motorreductor	 Motor vibrador
6. Accionar desgranado.			 Motor DC	 Motor AC
7. Accionar transporte de granos.			 Motor DC	 Motor AC
8. Accionar limpieza.	 Motor AC	 Motor AC + Sistema de transmisión	 Motor DC	 Motor vibrador
9. Accionar clasificado	 +  Motor AC + Mecanismo	 Motor vibrador	 Motor vibrador	 Electroválvula de rápido accionamiento
	 S1	 S2	 S3	 S4

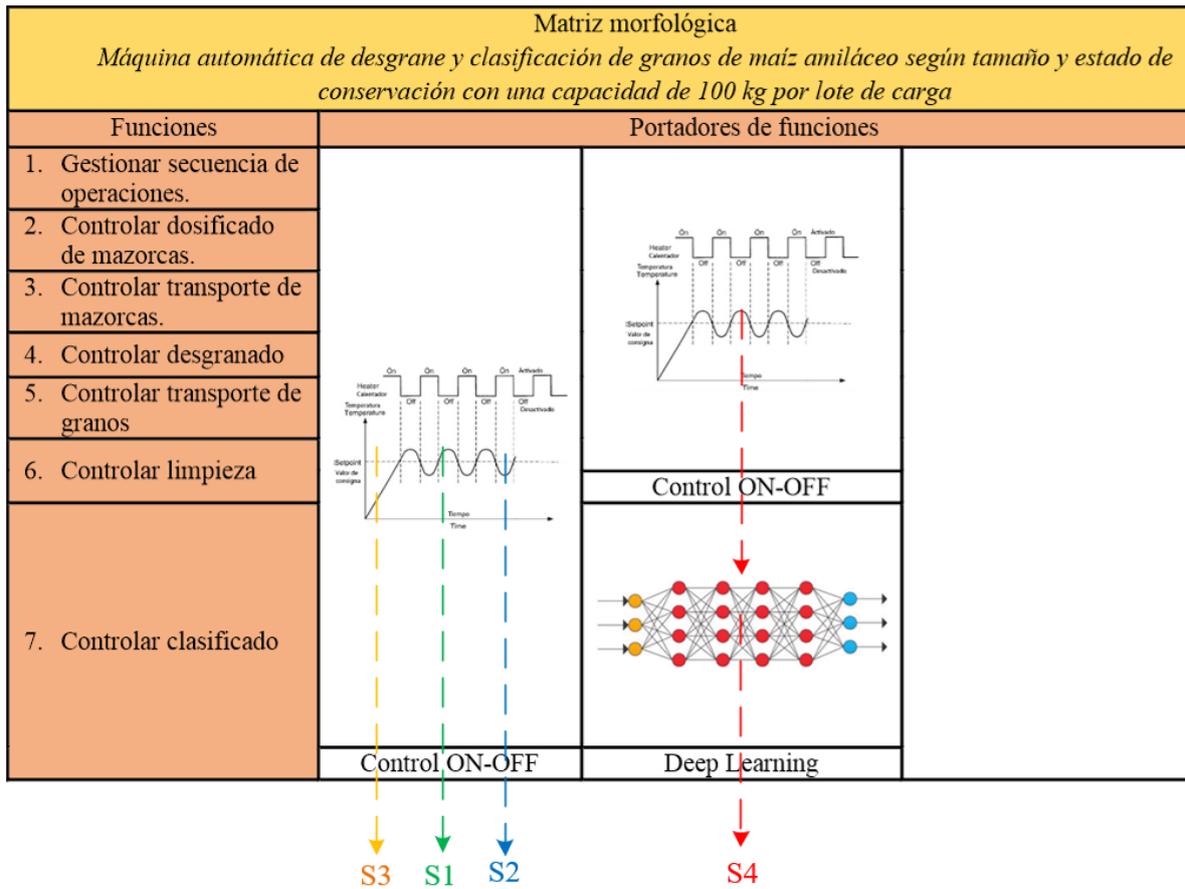
• **Dominio energía.**

Matriz morfológica			
<i>Máquina automática de desgrane y clasificación de granos de maíz amiláceo según tamaño y estado de conservación con una capacidad de 100 kg por lote de carga</i>			
Funciones	Portadores de funciones		
1. Energizar	 Fuente switching	 Fuente lineal	
2. Acondicionar energía			
3. Acondicionar energía para sensores	 Regulador de voltaje step-down	 Regulador de voltaje lineal	
4. Acondicionar energía para control			
5. Acondicionar energía para interfaz			
	S1	S2	S3
	S4		

• **Dominio control-Hardware.**

Matriz morfológica			
<i>Máquina automática de desgrane y clasificación de granos de maíz amiláceo según tamaño y estado de conservación con una capacidad de 100 kg por lote de carga</i>			
Funciones	Portadores de funciones		
1. Gestionar secuencia de operaciones.	 Raspberry Pi 4	 PLC	 +  Raspberry Pi 4 + Google Coral USB Accelerator
2. Controlar dosificado de mazorcas.			
3. Controlar transporte de mazorcas.	 Arduino		
4. Controlar desgranado.			
5. Controlar transporte de granos.			
6. Controlar limpieza.			
7. Controlar clasificado			
	S3	S1	S2
			S4

• **Dominio control-Software.**



• **Dominio interfaz.**

