

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA MÁQUINA
PARA PRODUCCIÓN DE PLATOS
BIODEGRADABLES A PARTIR DE AFRECHO**

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

AUTOR:

José Carlos Quintana Herrera

ASESOR:

Luis Enrique García Zevallos

Lima, agosto de 2020

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una solución frente la problemática del uso indiscriminado de materiales, tales como el tecnopor y el PET, usualmente empleados en la producción de envases de comida. Se plantea como alternativa sostenible el uso de afrecho, obtenido del proceso de la molienda de cereales y además se presenta como objetivo el diseño conceptual de una máquina para la fabricación de platos biodegradables a partir de esta materia. El proyecto se basa en la metodología VDI 2221 la cual consiste en la definición de una problemática, la determinación de funciones y estructuras del sistema a diseñar, la búsqueda de principios tecnológicos que cumplan estas y su posterior integración en un concepto de solución óptimo el cual es seleccionado a partir de evaluación técnico-económica. El sistema diseñado contempla el humedecimiento, dosificación, calentamiento, compresión y retiro del producto. Como resultado, se obtiene un sistema capaz de recibir afrecho de cereales y automáticamente realizar el proceso de prensado en caliente con el cual se obtienen platos de este material, sobre la base de variables de temperatura y presión seleccionadas por el usuario.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1.1 Problemática	3
1.2 Propuesta de solución.....	7
1.2.1 Alcance	7
1.2.2 Objetivos	7
1.3 Metodología aplicada	8
1.4 Estado del arte.....	9
1.4.1 Propiedades de la molienda de cereales y sus residuos	9
1.4.2 Máquinas comerciales para fabricación en envases y utensilios biodegradables	10
1.4.3 Patentes y tesis	15
1.4.4 Mecanismos.....	17
1.4.5 Sensores	25
1.4.6 Actuadores	33
1.4.7 Controladores	38
1.4.8 Interfaz.....	40
II. DISEÑO CONCEPTUAL.....	43
2.1 Lista de requerimientos	43
2.2 Estructura de funciones	46
2.2.1 Blackbox	47
2.2.2 Lista de funciones.....	49
2.3 Matriz Morfológica	53
2.4 Conceptos de solución.....	61
2.5 Evaluación técnica-económica.....	64
2.5.1 Descripción de los criterios económicos de evaluación	64
2.5.2 Descripción de los criterios técnicos de evaluación	65
CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS	72

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Deshechos en Lima-Callao por día (toneladas).....	4
Figura 1.2: Regulación de plásticos de un solo uso en el mundo.....	5
Figura 1.3: Partes del grano de cereal.....	6
Figura 1.4: Tiempo de biodegradación de productos de afrecho, papel y plástico ..	10
Figura 1.5: Máquina fabricadora de vajillas NANYA.....	12
Figura 1.6: Máquina de moldeo de pulpa XIANGTAN SHUANGHUAN	13
Figura 1.7: Máquina en prensado caliente de pallets.....	14
Figura 1.8: Calentador con temperatura controlable para moldes.....	17
Figura 1.9: Prensa hidráulica eléctrica de acero suave.	18
Figura 1.10: Prensa neumática	19
Figura 1.11: Plato con calentadores resistivos	20
Figura 1.12: Intercambiadores de calor típicos	21
Figura 1.13: Tornillos sin fin dosificadores y transportadores.....	22
Figura 1.14: Dosificador volumétrico de accionamiento lineal	23
Figura 1.15: Dosificador volumétrico de accionamiento rotacional	23
Figura 1.16: Sistema generador de vacío	24
Figura 1.17: Termocupla tipo K	25
Figura 1.18: Sensor de temperatura RTD PT100	26
Figura 1.19: Pirómetro infrarrojo	27
Figura 1.20: Sensor de presión capacitivo	28
Figura 1.21: Sensor de presión piezorresistivo con membrana de silicio.....	29
Figura 1.22: Sensor de presión eléctrico.....	30
Figura 1.23: Células de carga de compresión.....	31
Figura 1.24: Celda de carga hidráulica	32
Figura 1.25: Celda de carga neumática.....	32
Figura 1.26: Bomba de engranaje.....	34
Figura 1.27: Bomba de paletas	35
Figura 1.28: Bomba axial con placa oscilante.....	35
Figura 1.29: Electroválvula hidráulica de control direccional	36
Figura 1.30: Motor DC.....	37
Figura 1.31: Motor monofásico	37
Figura 1.32: Motor trifásico	38
Figura 1.33: PLC Siemens S7-300	39
Figura 1.34: Sistema embebido myRIO.....	40
Figura 1.35: Panel HMI	41
Figura 1.36: Teclado industrial de metal.....	42
Figura 1.37: Monitor industrial	42
Figura 1.38: Blackbox.....	52
Figura 1.39: Estructura de funciones del sistema	55
Figura 1.40: Concepto de solución 1	62

Figura 1.41: Concepto de solución 2	63
Figura 1.42: Concepto de solución 3	64
Figura 1.43: Gráfico técnico-económico entre conceptos de solución	68
Figura 1.44: Vista isométrica concepto de solución óptimo modelado en CAD	69



INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Comparación de la composición nutricional del salvado en cereales	9
Tabla 1.2: Comparación productos comerciales.....	14
Tabla 1.3: Comparación entre prensas hidráulicas y neumáticas	19
Tabla 1.4: Comparación entre sensores de temperatura	27
Tabla 1.5: Comparación entre sensores de presión	30
Tabla 1.6: Comparación entre sensores de carga	33
Tabla 1.7: Comparación entre controladores	40
Tabla 1.8: Comparación técnica entre cada concepto de solución	66
Tabla 1.9: Comparación económica entre cada concepto de solución	67



INTRODUCCIÓN

El tecnopor y el PET son materiales comúnmente utilizados para la fabricación de utensilios y vajillas descartables; no obstante, entre sus principales defectos se menciona una lenta degradación, dificultad de reciclaje e incluso la liberación de agentes cancerígenos en determinadas condiciones de temperatura. Esto provoca que una mala gestión de su consumo durante y después de ser utilizados atenten contra la salud pública y el medio ambiente. Por lo tanto, con el propósito reducir la demanda de fabricación de utensilios y vajillas, específicamente platos, hechos a partir de estos insumos, se plantea el uso de afrecho obtenido de los residuos de la molienda de cereales. A partir de esto, el objetivo del presente trabajo es el diseño conceptual de un sistema capaz de procesar esta materia prima hasta lograr la fabricación de platos biodegradables hechos de este material.

El sistema diseñado involucra el proceso de humedecimiento por válvula solenoide y de dosificación haciendo uso de una tolva que en su parte inferior cuenta con un mecanismo de dosificación volumétrica que garantiza el procesamiento de una cantidad determinada de afrecho. Posteriormente, es movilizado por un mecanismo de traslado que consta de una platina en cuyo extremo cuenta con un recipiente que recibe el afrecho del subsistema anterior. Este elemento es girado hasta posicionarse por encima de la matriz del molde formador en la cual deposita el afrecho accionando una compuerta. En esta zona, se realiza el calentamiento hasta 150°C de la materia prima mediante resistencias calefactoras. Simultáneamente, el proceso de compresión es realizado por una prensa hidráulica que ejerce una presión de 5 – 10 MPa sobre el afrecho obteniendo así, un plato biodegradable prensado en caliente. El producto es

retirado a través de la succión realizada por un sistema de ventosas situado en el otro extremo de la platina del mecanismo de traslado y finalmente es depositado en una bandeja que apila los productos terminados y que se encuentra al alcance del usuario.

Por otro lado, el sistema será controlado a través de una interfaz HMI en la cual el usuario podrá ingresar datos de temperatura y presión deseadas, además de poder visualizar la cantidad de platos fabricados. Asimismo, el sistema contempla una parada de emergencia que podrá ser accionada por un pulsador tipo hongo conectado en serie con el suministro de energía.



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el siguiente capítulo se hace una presentación de la problemática actual sobre el uso del tecnopor y algunos plásticos como principales materiales para fabricar utensilios y los impactos negativos que tienen en nuestro ambiente. Asimismo, se menciona alternativas que hoy existen pero que presentan algunas incongruencias. A partir de esto, se realiza una propuesta de solución acompañada del estado del arte en el que se menciona tecnología existente que puede aportar el diseño conceptual del sistema. Finalmente se explica la metodología que se aplicará para realizar este proyecto.

1.1 Problemática

Actualmente el uso del tecnopor para distintos tipos de envases, vajillas y utensilios es muy frecuente ya que es el predilecto para el empaque, transporte y comercialización de alimentos y bebidas de manera segura. También conocido como poliestireno expandido (EPS), es un derivado del petróleo y para su elaboración solo se requiere inyectar aire, siendo esta la razón de que sea bastante liviano además de económico (Delgado, 2018); no obstante, la producción de este material tiene un impacto negativo en el planeta y en la salud pública. La OMS ha catalogado al tecnopor dentro de su lista de agentes cancerígenos y, además, el calentamiento de este material, producido durante el contacto con la comida que se vierte en este, provoca un desprendimiento

de cantidades de estireno dañinos para el bienestar del consumidor (Pronaturaleza, 2016).

Además de su lenta degradación, más de 500 años (Maldonado, 2018), su reciclaje es difícil, muy costoso y poco rentable por el escaso material que se puede recuperar ya que alrededor del 75% es aire (Delgado, 2018). La fragilidad del tecnopor ocasiona que este sea encontrado en pequeños pedazos cuando es desechado lo que hace más difícil su recuperación (Delgado, 2018). Por otro lado, el tecnopor ocupa mucho espacio en los rellenos sanitarios los cuales son escasos en el país (35 rellenos sanitarios de los 200 que son necesarios), por lo que la mayoría de los residuos terminan en botaderos, calles, bordes de ríos y finalmente en el mar (Maldonado, 2018). En la figura 1.1 podemos ver los datos extraídos de MINAN e INEI de los desechos en la capital que se pueden encontrar a diario.



Figura 1.1 Desechos en Lima – Callao por día (Toneladas).
Tomado de: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/8518>

En otra instancia, el polietileno tereftalato (PET) es otro de los materiales usualmente usados para la fabricación vajillas y utensilios, debido a sus propiedades físicas tales como su ligero peso, transparencia y rigidez que lo vuelve resistente frente a impactos ayudando a proteger los alimentos o líquidos dentro del envase (Rivera Távara, 2004). Precisamente los plásticos, al ser productos de síntesis, son materiales muy resistentes e inalterables a las condiciones del medioambiente por lo que presentan tiempos de residencia largos. Según el ministerio del ambiente, en el Perú solo se recicla el 0.3% de las 950 mil toneladas de plástico desechadas (Maldonado, 2018) y adicional a esto existe una carencia de botaderos lo que se refleja en una acumulación de estos residuos (Quintero Díaz, 2015).

En la figura 1.2 se muestra una relación de países que han implementado una regulación de plásticos de un solo uso. Entre las medidas adoptadas se encuentra la eliminación de plásticos de este tipo para el 2021 en Costa Rica, la prohibición del poliestireno expandido en algunos de estados de EEUU en 2017 y la prohibición de platos de plásticos en la Unión Europea para el 2021 (PRI, 2019).



Figura 1.2 Regulación de plásticos de un solo uso en el mundo.

Tomado de: <https://peru.oceana.org/es/blog/10-datos-graficos-sobre-los-plasticos-de-un-solo-uso>

En el Perú, mientras tanto, se ha aprobado un dictamen en la comisión de Pueblo Andinos del Congreso, el cual establece que a partir del 28 de julio de 2021 se prohibiría la fabricación, importación, distribución, entrega y comercialización de recipientes o envases de tecnopor (Sociedad Nacional de Industrias, s.f.). Esto ha significado un gran impacto para las industrias que procesan este material ya que actualmente genera 336 empleos directos, 290 indirectos y 1393 inducidos y se comercializa en al menos 297 mil puntos (El Comercio, 2018). Un estudio presentado por la Sociedad Nacional de Industrias, realizado por Macroconsult, determinó que los principales usuarios de los envases desechables para alimentos son aproximadamente 300 mil comercios, entre restaurantes y ambulantes de alimentos, quienes serán los principales impactados de la posible regulación de estos productos, bajo las condiciones que actualmente se proponen (Stakeholders, 2018). Dado estos motivos es imposible un cambio inmediato, por lo que las empresas se ven la necesidad de encontrar un sustituto rentable de los envases de este material.

En la actualidad existen alternativas para reemplazar al tecnopor y al PET como principales materias primas de utensilios y vajillas. En el Perú se comercializa recipientes biodegradables hechos a partir de fécula de maíz (AmericaTV, 2018), envases hechos a base de bagazo de caña de azúcar (Publimetro, 2018) como los utilizados en pollerías, y platos hechos a partir de hoja de plantas como plátanos (PerúRetail, 2019). No obstante, estos insumos reducen la rentabilidad del proceso de fabricación, dado que estos son la materia prima de procesos productivos ya existentes, tales como la elaboración de papel en el caso del bagazo, la producción de almidón de maíz para consumo humano, y en el caso de las hojas de plátano se requiere la poda de ciertos árboles.

En el plano internacional también existen otros ejemplos de materias utilizadas para la fabricación de utensilios biodegradables. Entre estos se encuentra el salvado de trigo como materia prima para la fabricación de vajillas (Mundo Diverso, 2018). También conocido como afrecho, este es obtenido de la molienda de algunos cereales y es considerado un problema para dicha industria debido al espacio que ocupan los residuos del procesamiento, pues si bien su peso respecto al grano representa solo el 30%, su volumen como residuo cubre el 100% del grano original (ver figura 1.3). Asimismo, requiere espacio de almacenamiento, manejo y no puede almacenarse más de 5-7 días (Mundo Diverso, 2018). En el caso del arroz blanco comercial, se eliminan los gérmenes y el salvado, porque los aceites de germen y salvado tienden a experimentar ranciedad rápidamente, lo que reduce la vida útil de los alimentos (Patel S. , 2012). Esto no solo significa un costo de movilidad de transporte de deshechos sino también un gran desperdicio de material que puede ser utilizado para otros fines.

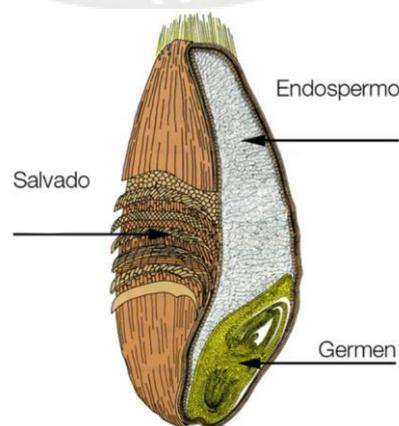


Figura 1.3 Partes del grano de cereal.

Tomado de: https://www.emoalimentacion.com/arroz_integral/

1.2 Propuesta de solución

En este trabajo de investigación, se plantea el diseño conceptual de un sistema automático que se encargue de la fabricación de platos biodegradables a partir de los residuos, considerados desechos, de la molienda de ciertos cereales (maíz, avena, arroz, etc.) permitiendo darles un valor agregado a estos subproductos y además darle una opción saludable al medio ambiente. El proceso de moldeado, desde la materia prima hasta el producto finalizado, será automático con el propósito que pueda desarrollarse una producción en serie que haga rentable la solución.

1.2.1 Alcance

El diseño conceptual presentado cubrirá los siguientes puntos los cuales representan el alcance de este trabajo de investigación:

- Se desarrollará el diseño conceptual de un sistema automático que sirva para fabricar platos a partir de afrecho.
- El automatismo del sistema contempla tanto el surtido de la materia prima, como el retiro del producto terminado.
- No forma parte del presente trabajo identificar los valores de presión, humedad y/o temperatura requeridos para un determinado tipo de afrecho.

1.2.2 Objetivos

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo.

Objetivo general

Desarrollar el diseño conceptual de una máquina que produzca platos biodegradables a partir de afrecho.

Objetivos específicos

- Identificar la problemática asociada al uso de tecnopor y PET en la elaboración de vajillas y utensilios de la cual surge la necesidad de buscar una alternativa sostenible.
- Investigar sobre las tecnologías involucradas actualmente en la fabricación de platos biodegradables.
- Realizar una lista de requerimientos que exprese las exigencias y deseos que se deben tomar en cuenta para la elaboración del diseño conceptual.
- Determinar las funciones parciales que debe cumplir el sistema además de las entradas y salidas que este debe procesar.
- Determinar los conceptos de solución que desarrolle la función principal del sistema: producir platos biodegradables a partir de afrecho
- Obtener el concepto de solución óptimo teniendo en criterios económicos y técnicos.

1.3 Metodología aplicada

Para el desarrollo de la solución, este trabajo de investigación se basará en la metodología de diseño mecatrónico (VDI 2206) y de la metodología de diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221).

En este caso la metodología será aplicada de la siguiente manera:

- Establecer una lista de requerimientos que rigen las características del proyecto final.
- Definir las entradas y salidas del sistema, que pueden ser señales, materia o energía. A partir de esto, realizar una estructura de funciones global.
- Realizar una matriz de morfológica con distintos principios de solución para cada función definida.
- Proponer distintos conceptos de solución a partir de la combinación de los principios de solución disponibles para cada función. Presentar un bosquejo

para cada concepto de solución, y realizar una evaluación técnico-económica que permita identificar la solución óptima.

- Realizar el modelamiento en CAD del concepto de solución óptimo seleccionado.

1.4 Estado del arte

A continuación, se muestra un estudio previo sobre la molienda de cereales y los residuos que este proceso deja. Asimismo, se presentan algunos sistemas comerciales ya existentes, así como patentes, tesis, mecanismos, sensores, actuadores y controladores de actual vigencia, que permitan conocer los avances tecnológicos relacionados con el proceso productivo del presente proyecto.

1.4.1 Propiedades de la molienda de cereales y sus residuos

La molienda de cereales consiste en reducir a polvo los granos de cereal al tiempo que se separan las capas externas del grano y tiene como propósito la transformación del endospermo en harina y sémolas, y la separación, lo más íntegra posible, del germen y de las cubiertas del grano (salvado o afrecho).

El proceso de molienda se realiza principalmente sobre granos de trigo, maíz, avena y arroz cuyos salvados disponen de distintas propiedades y estas son expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 1.1

Comparación de la composición nutricional del salvado de algunos cereales

Propiedades	Trigo	Maíz	Avena	Arroz
Proteína %	13.0	5.0	17.0	17.5
Grasas %	4.0	3.0	8.8	13.10
Fibra %	9.5	92.0	27.8	23.34
Humedad %	14.0	3.0	9.3	4.3

Nota. Tomado de “Handbook of Cereal Science and Techonology”, por Karel Kulp, 2000

El conocimiento de estos datos es de suma importancia para el presente proyecto, teniendo en cuenta que el sistema podrá adoptar sus parámetros de presión y temperatura según el tipo de grano seleccionado lo requiera para obtener el producto final con las características de acabado predefinidas.

En cuanto a las ventajas que tiene el afrecho o residuo de los cereales, se les atribuye un menor tiempo de biodegradación a través de la composta. En la figura 1.4 se puede apreciar una comparación entre el tiempo de degradación de Biotrem (producto a base de afrecho), papel, y plástico.

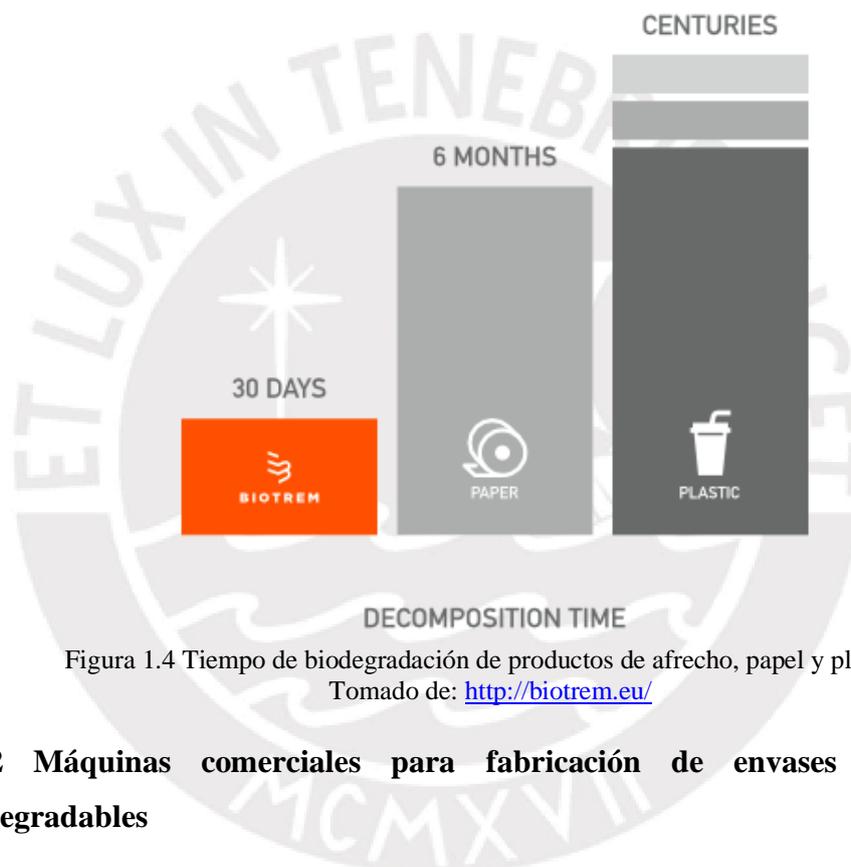


Figura 1.4 Tiempo de biodegradación de productos de afrecho, papel y plástico
Tomado de: <http://biotrem.eu/>

1.4.2 Máquinas comerciales para fabricación de envases y utensilios biodegradables

En el Perú, se empieza a tomar interés por la producción de materiales biodegradables para la fabricación de utensilios. La materia prima empleada en esta actividad requiere transitar por una serie de procesos que actualmente demandan mano de obra en etapas que podrían automatizarse. Esto debido que solo se cuentan en el mejor de los casos, con maquinaria semiautomática. Esta es una de las razones por la que esta actividad no llega a ser tan rentable como se podría esperar.

En el caso del afrecho, el proceso que debe seguir esta materia incluye un proceso de preparación y de prensado en caliente para adoptar la forma final deseada. A continuación, se presentan máquinas de fabricantes extranjeros, las cuales realizan procesos de moldeo y secado que sirven como referencia para el presente trabajo de investigación.

Maquina automatizada de moldeo de vajilla sustentable a partir de pulpa de caña de azúcar NANYA

(Sustainable Tableware Sugarcane Automated Pulp Molding Machine NANYA)

La empresa taiwanesa Nanya, especialista en maquinaria automatizada de moldeo ofrece un sistema capaz de producir vajillas, platos, tazones, portavasos, platillos, recipientes para alimentos, entre otros productos a partir de materia prima biodegradable como la pulpa de caña de azúcar o pulpa de caña, pulpa de paja, pulpa de bambú, así como pulpa de papel limpio. Esta máquina incluye un sistema de preparación de materia prima, en el que el papel virgen limpio se convierte en pulpa a través del tamizado y la adición de agentes químicos. Asimismo, cuenta con un sistema de conformado y prensado en caliente el cual adicionalmente se ocupa de transferir y apilar el producto final después de ser secado. Respecto a la capacidad de producción esta se encuentra en el rango de 200 a 240 kg/h. Por otro lado, requiere un espacio de trabajo mínimo de 1000 m², el cual puede extenderse si se incluye la etapa para el tronzado de borde. Una imagen referencial de toda la máquina incluyendo este subsistema se puede encontrar en la figura 1.5.



Figura 1.5 Máquina fabricadora de vajillas NANYA

Tomado de: <http://www.pulpmoldingequipment.com/sale-11688096-sustainable-tableware-sugarcane-automated-pulp-molding-machine.html>

Máquina de moldeo de pulpa XIANGTAN SHUANGHUAN

Esta máquina es ofrecida por la empresa de origen chino Xiangtan Shuanghuan y produce vajillas a partir de la pulpa de ciertos materiales (caña de azúcar, papel). El sistema incluye la preparación de la materia prima, así como el traslado de esta hacia el sistema de formado que se encarga, además, de secar el producto. Este conjunto ofrece la opción de integrar un sistema capaz de eliminar los excesos en los bordes, brindando así un producto con los más altos estándares; no obstante, esto no incluye una manera de movilizar la materia prima entre ambos mecanismos. Todo este sistema es controlado por un PLC que también cuenta con una interfaz gráfica táctil con la cual el operador tendrá acceso a cada subsistema.

Se puede encontrar hasta cuatro diferentes modelos con diferentes capacidades de producción, cada uno con una capacidad distinta de trabajo que van desde 100 a 600 metros cuadrados, y con una potencia de consumo entre 80 y 600 kW. La figura 1.6 muestra el modelo ZMC-Z1150, el cual cuenta con una capacidad de 1000 kg/día, ocupa entre 250 a 350 m² y consume 250 kW.



Figura 1.6 Máquina de moldeo de pulpa XIANGTAN SHUANGHUAN
Tomado de: https://www.alibaba.com/product-detail/Disposable-sugarcane-bagasse-wheat-straw-fiber_60800106363.html?spm=a2700.7724857.normalList.21.3d513329nwBcDI

Máquina de moldeo de prensado en caliente a partir de aserrín y viruta

El sistema producido por la empresa china Zhengzhou Shuliy Machinery (ver figura 1.7) utiliza aserrín y virutas para hacer pallets de madera moldeadas. La secuencia consiste en transportar esta materia prima a la cavidad del molde para luego ejecutar el proceso de formado a través de un prensado en caliente a una temperatura de 150 °C y con una fuerza de 800 toneladas realizado por una prensa oleohidráulica, lo cual lo vuelve un producto compacto y con la forma deseada. Tiene una capacidad limitada (144 piezas por día) debido a las dimensiones del producto. Por otro lado, ya que el producto no requiere de otro proceso adicional este procede a ser despachado.



Figura 1.7 Maquina de prensado en caliente de pallets

Tomado de: [http://www.shuliy.cn/product/60173630884-](http://www.shuliy.cn/product/60173630884-0/hot_pressing_Wood_pallet_moulding_machine_mould_wood_pallet_making_machine.html?spm=a)

[0/hot_pressing_Wood_pallet_moulding_machine_mould_wood_pallet_making_machine.html?spm=a](http://www.shuliy.cn/product/60173630884-0/hot_pressing_Wood_pallet_moulding_machine_mould_wood_pallet_making_machine.html?spm=a)
[2700.icbuShop.41413.37.7c2d48cejvnb7X](http://www.shuliy.cn/product/60173630884-0/hot_pressing_Wood_pallet_moulding_machine_mould_wood_pallet_making_machine.html?spm=a)

A continuación, en la tabla 1.2, se presenta una comparación de las características más relevantes de los productos mencionados.

Tabla 1.2

Comparación de productos comerciales

Características	Guangzhou Nanya Pulp Molding Equipment	Xiangtan Shuanghuan Pulp Molding Equipment	Zhengzhou Shuliy Machinery
Materia prima	Pulpa de caña de azúcar – Pulpa de papel limpio	Pulpa de caña de azúcar – Pulpa de papel limpio	Aserrín y virutas de madera
Automatizado	Automático	Automático	Semi - Automático
Espacio requerido	>1000 m ²	>350m ²	No específica
Consumo de energía	450 kW	200 kW	10 kW
Alimentación eléctrica	220 – 450 V	380 – 440 V	380 V
Capacidad	4800 kg/h	1000 kg/día	144 pcs/día

Características	Guangzhou Nanya Pulp Molding Equipment	Xiangtan Shuanghuan Pulp Molding Equipment	Zhengzhou Shuliy Machinery
Tipo de formado	Succión al vacío y prensado en caliente	Prensado en caliente	Prensado en caliente
Método de calentamiento de molde	Resistencias eléctricas – Calentamiento de aceite térmico	Resistencias eléctricas – Calentamiento de aceite térmico	Resistencias eléctricas
Precio	No especifica	\$50,000.00 - \$100,000.00	\$5,000.00 - \$10,000.00

Nota. Tomado de “Guangzhou Nanya Pulp Molding Equipment”, por NANYA, recuperado de <http://www.pulpmoldingequipment.com/sale-11688096-sustainable-tableware-sugarcane-automated-pulp-molding-machine.html>, “Xiangtan Shuanghuan Pulp Molding Equipment”, por Xiangtan Shuanghuan, recuperado de https://www.alibaba.com/product-detail/Disposable-sugarcane-bagasse-wheat-straw-fiber_60800106363.html?spm=a2700.7724857.normalList.21.3d513329nwBcDI; “Zhengzhou Shuliy Machinery”, por Zhengzhou Shuliy, recuperado de http://www.shuliy.cn/product/60173630884-0/hot_pressing_Wood_pallet_moulding_machine_mould_wood_pallet_making_machine.html?spm=a2700.icbuShop.41413.37.7c2d48cejvnb7X

1.4.3 Patentes y tesis

A continuación, se presentan algunos trabajos ya existentes que representan un adecuado aporte tecnológico para el presente proyecto. Estos trabajos mencionados son el procedimiento normalizado para la fabricación de vajillas a partir de la materia de interés, que es el afrecho, y un sistema de calentado de moldes.

Método para manufacturar molduras biodegradables vajillas y paquetes particulares – US 9 517 578 B2

(Method for manufacturing biodegradable moldings in particular tableware and packages)

El método para fabricar moldes biodegradables, vajillas y empaques particulares, consiste en utilizar los residuos de la molienda de algunos cereales, preferiblemente

trigo, con granulación desde 0.01 hasta 2.80 milímetros que contengan más del 14% de agua estructuralmente en forma de humedad. El afrecho debe constituir de 95 a 100% del peso de la mezcla final. De ser necesario, se le puede agregar sustancias adicionales hasta en un 5% del peso total las cuales pueden ser de impregnación, aditivos de sabor, aditivos colorantes, etc. La mezcla final es colocada en una de las matrices del molde el cual procede a ser cerrado, iniciando así el proceso simultaneo de calentamiento y prensado. Esta presión oscila entre los valores de 1 a 10 MPa y la temperatura a la que debe ser calentado el molde debe ser superior a 120 °C. Después de ser cerrado el molde, se despresuriza, formando así un espacio entre los bordes que no debe exceder los 0.5 milímetros. En caso sea necesario, este procedimiento se repetirá hasta que se obtenga el ancho deseado. Todo este proceso es controlado automáticamente por la máquina la cual realiza el movimiento del molde dependiendo de los parámetros esperados del producto final (Estados Unidos Patente n° 9517578B2, 2016).

**Placa calefactora controlable por temperatura para moldes – US 4 208 574
(Temperature controllable heater plate for molds)**

Este trabajo tiene como objetivo es proporcionar una placa calefactora mejorada que pueda efectuar un calentamiento rápido y uniforme sobre su superficie, y cuya temperatura pueda ser controlada con precisión activando y desactivando un conjunto de elementos calefactores independientes.

La placa cuenta con un gran número de orificios en los cuales son colocados cartuchos calentados eléctricamente. Estos agujeros están dispuestos en filas paralelas al contorno periférico de la placa, de modo que la densidad de elementos calefactores disminuya conforme se acerque al centro. Los cartuchos están interconectados y estos a su vez están conectado a un dispositivo de control de temperatura de tal manera que puedan ser calentados selectivamente. De esta manera se logra que la placa pueda calentarse uniformemente a pesar de la gran pérdida de calor que se suele dar en las porciones marginales de la placa (Alemania Patente n° 4,208,574, 1980).

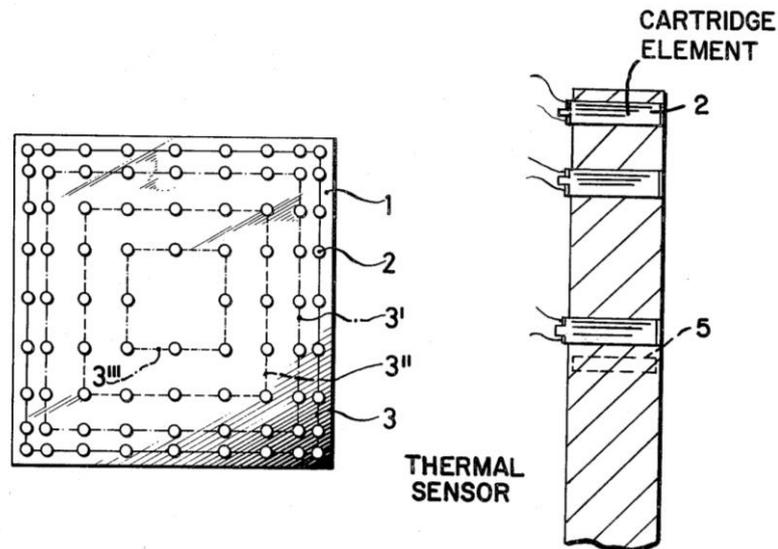


Figura 1.8 Calentador con temperatura controlable para moldes
 Tomado de: Extraído de (Alemania Patente n° 4,208,574, 1980)

1.4.4 Mecanismos

A continuación, se presentan mecanismos cuyas características de funcionamiento pueden aportar en el presente trabajo según los subsistemas existentes en la máquina.

1.4.4.1 Mecanismo de compresión

Entre los sistemas más empleados en la actualidad se encuentran los oleohidráulicos y los neumáticos. El funcionamiento del elemento de compresión se basa en el principio de Pascal el cual establece que en un fluido, aceite o aire respectivamente, la presión aplicada es la misma en todas las direcciones de este. (Çengel, 2012)

Prensa hidráulica

Es una herramienta para producir fuerza de compresión por medio de un fluido que comúnmente es agua o aceite, siendo el segundo más usado debido a que no corroe los componentes internos. Por medio del sistema oleohidráulico, se pueden producir fuerzas mayores en contraste con los sistemas mecánicos y eléctricos (Patel, Mukundbhai Sheth, Panchal, & Chauhan, 2015). La figura 1.9 muestra un ejemplo de prensa hidráulica. En esta se puede visualizar componentes como mangueras conectadas por un lado a una bomba hidráulica y por el otro a un cilindro.



Figura 1.9 Prensa hidráulica eléctrica de acero suave

Tomado de: <https://www.indiamart.com/proddetail/electric-hydraulic-press-machine-19649773691.html>

La presión de funcionamiento para prensas hidráulicas oscila entre 200 y 300 bar. Una presión demasiado baja requeriría un pistón sobredimensionado y una presión demasiado alta significaría que las fugas serían difíciles de controlar (Tschaetsch, 2010).

Prensa neumática

Una prensa neumática, como la que se puede apreciar en la figura 1.10, es empleada en acciones de corte, punzonado, doblado, ensamblaje, entre otros, gracias a la presión generada por medio de aire comprimido. Dichas prensas se utilizan en encuadernaciones mecanizadas para una variedad de propósitos y, aunque no pueden suministrar las presiones extremas disponibles con la prensa hidráulica, sí tienen ventajas de velocidad de operación y limpieza (OSHA). La presión máxima de trabajo no supera los 600 kPa, pero se consigue alta fiabilidad si la presión de trabajo es de 500 kPa (Waller & Werner, 2002).



Figura 1.10 Prensa neumática

Tomado de: <https://www.osha.gov/SLTC/etools/machineguarding/presses/pneumatic.html>

A partir de esta información, se elabora una tabla comparativa (ver tabla 1.3) que recopila las principales características de ambos sistemas de compresión descritos.

Tabla 1.3

Comparación entre prensas hidráulicas y neumáticas

	Prensa hidráulica	Prensa neumática
Carga	20 000 – 30 000 kPa	600 kPa
Velocidad	Moderada	Alta
Mantenimiento	Inusual	Constante
Precio	Alto	Moderado
Instalación	Compleja, requiere servo válvulas, plomería de alta presión, bombas de presión, posicionamiento lineal	Requiere servo válvulas, plomería, filtrado, compresores, posicionamiento lineal

Nota. Tomado de “Design and Developement of Hydraulic Press with Die”, por Tejas Patel, 2015; “Metal forming”, por Heinz Tshaetsch 2010; “Pneumatic Press” por OSHA; “Pneumatics” por D. Waller 2002.

1.4.4.2 Sistemas para generación de calor en moldes

El calentamiento de la materia prima es un proceso debido a las propiedades adquiridas una vez que se realiza. Existen distintas tecnologías que ayudan a que esta tarea se realice las cuales involucran dispositivos que emplean diversos principios de transferencia de calor, tales como conducción que se da cuando hay un gradiente de temperatura en un medio estacionario sólido o un fluido y convección que se refiere a la transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas (Incropera & DeWitt, 1999).

Calentamiento por conducción con resistencias eléctricas (dentro del molde)

El calentamiento de moldes por resistencias eléctricas (ver figura 1.11), en este caso denominadas resistencias calefactoras, hace uso de un estímulo de corriente para convertir esta energía en calor. Se usan para calentar las placas en prensas hidráulicas para vulcanización y polimerización a temperaturas de trabajo de 150 a 250 °C. Las prensas con calentadores óhmicos también pueden usarse para el tratamiento térmico de componentes planos de alta precisión hechos de metales duros a temperaturas de hasta 550 ° C (Karpushkin, Glebov, & Karpov, 2006).

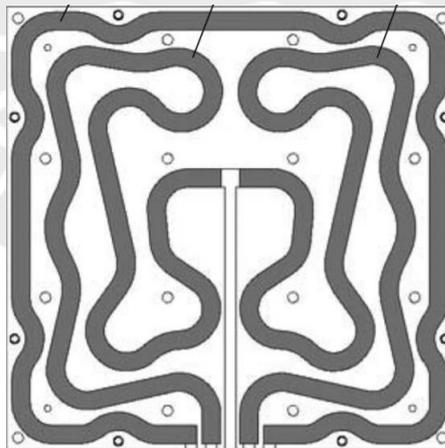


Figura 1.11 Plato con calentadores resistivos.
Tomado de: Karpushkin, Glebov, Karpov (2006)

Calentamiento por convección con intercambiadores de calor compactos (dentro del molde)

Un intercambiador de calor es un dispositivo para transferir energía térmica entre dos o más fluidos, uno relativamente caliente y el otro relativamente frío. (Lee, 2010). En la industria actual, hay muchos procesos en los que la entrada de calor no es posible a través de un sistema directo y debe realizarse utilizando sistemas de calentamiento de aceite térmico con el objetivo adicional de lograr un calentamiento uniforme a alta temperatura. Con los sistemas de calentamiento de aceite térmico, es posible operar con presiones muy bajas, dentro de un rango de temperatura de hasta 350 °C. El fluido térmico permite calentar las bobinas por las cuales se transporta y, de esta manera, el calor se transfiere indirectamente a un consumidor, a través de un circuito hidráulico (PIROBLOC, s.f.).

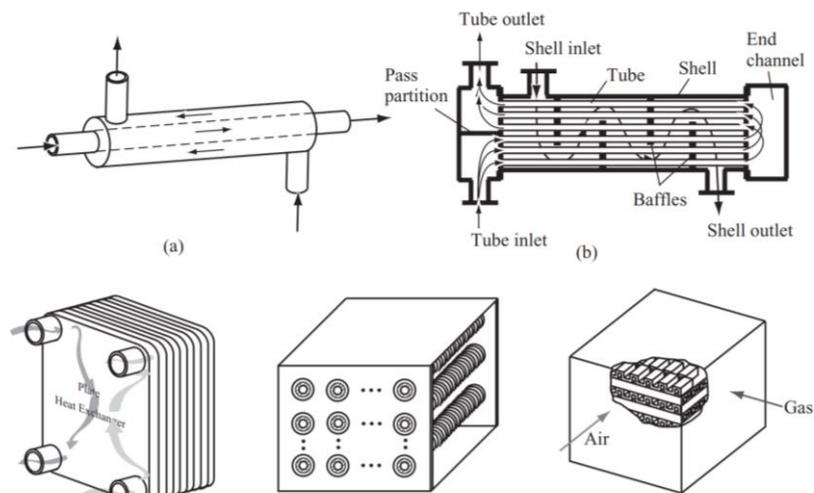


Figura 1.12 Intercambiadores de calor típicos
Tomado de: HoSung Lee (2011)

1.4.4.3 Sistemas para ingreso de materia

El sistema de ingreso de materia es aquel que cumple la función de dosificar la cantidad regulada de afrecho necesaria para la fabricación de un plato. En este caso, se observa que existen dos tipos de sistemas capaces de realizar esa tarea: tornillos transportadores y dosificadores volumétricos, ambos ideales para tratar con este tipo de materia prima.

Tornillo transportador

Es la solución ideal para el llenado volumétrico o gravimétrico de productos a granel y en polvo. La pieza fundamental para este mecanismo es un tornillo sin fin (ver figura 1.13) que, a partir de un giro continuo, pueda transportar de manera lineal la materia que en él se deposita. El material de este elemento dependerá exclusivamente de las propiedades de la materia que transporta, por lo que en el caso de la industria alimentaria es necesario considerar un material que no contamine la muestra. El accionamiento es realizado por un motor cuya potencia, junto con el diámetro y el paso del tornillo, determinará la capacidad de movimiento de masa.

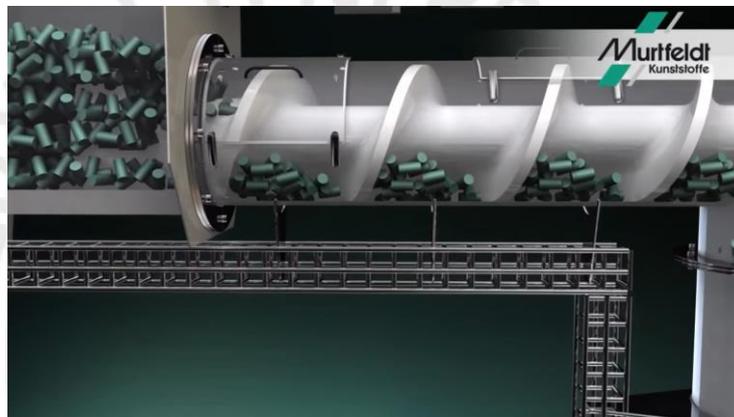


Figura 1.13 Tornillos sin fin dosificadores y transportadores
Tomado de: <https://www.youtube.com/watch?v=iD2BFG73AWg>

Dosificador volumétrico

El funcionamiento de este tipo de dosificador consiste en el desplazamiento de uno o varios recipientes entre dos posiciones específicas: una donde recibe la materia y una donde la despacha. La primera posición es aquella en donde el recipiente, se sitúa por debajo de la tolva o silo permitiendo que ingrese la materia prima adaptándose al volumen de este. Por otro lado, la segunda posición es aquella donde el recipiente ya no cuenta con su cara inferior obstruida por lo que deja caer toda la materia prima que contenía. Al igual que el dosificador de tornillo transportador, el material del cual está hecho este sistema dependerá de las propiedades de la materia prima con la cual trabaja. El accionamiento de este sistema varía dependiendo del tipo de desplazamiento del molde deseado el cual puede ser lineal o rotacional. En el caso que se seleccione un desplazamiento lineal, este puede ser accionado por un actuador lineal

(cilindros neumáticos, pistones eléctricos, etc.) o por mecanismos que permitan este movimiento como el mecanismo de husillo-tuerca accionado por un motor cuya potencia determinara la velocidad de este movimiento (ver figura 1.14).



Figura 1.14 Dosificador volumétrico de accionamiento lineal

Tomado de: <https://lima-city.evisos.com.pe/pictures/dosificador-volumetrico-para-granos-id-401075>

En el caso se seleccione un desplazamiento rotacional, su configuración, además de la potencia del motor, determinará la capacidad de movimiento de materia prima. Esta configuración dependerá del radio de la circunferencia de giro y de la cantidad de recipientes en ese arco. La figura 1.15 muestra un ejemplo de este tipo de dosificador.



Figura 1.15 Dosificador volumétrico de accionamiento rotacional

Tomado de: <https://www.pack-eu.com/produkt/dosificador-de-tornillo-sin-fin-volumetrico-shd-20/>

1.4.4.4 Sistemas para el retiro del producto

En esta sección se presenta algunas alternativas para retirar el producto ya terminado, de tal manera que este puede ser acumulado y posteriormente almacenado.

Manipulación por vacío

Este sistema está compuesto principalmente por un eyector de vacío el cual por un lado esta conectado al suministro de aire y por otro lado esta conectado a una ventosa (ver figura 1.16). Este permite generar diferencias de presión que finalmente se traduce en la succión de objetos en contacto con la ventosa. Dependiendo de la presión del aire comprimido que recibe este dispositivo, puede ejercer típicamente entre -40 y -85 kPa (SMC) lo cual da como resultado una fuerza de succión teórica que además depende del área de contacto. Asimismo, debido a que este no estará operando de manera constante, se requiere una conmutación de su estado a través de una válvula. Por otro lado, el montaje de este sistema debe contemplar la aproximación entre la ventosa y el objeto a manipular por lo que es necesario el uso de otro dispositivo que encargue de este desplazamiento lineal.

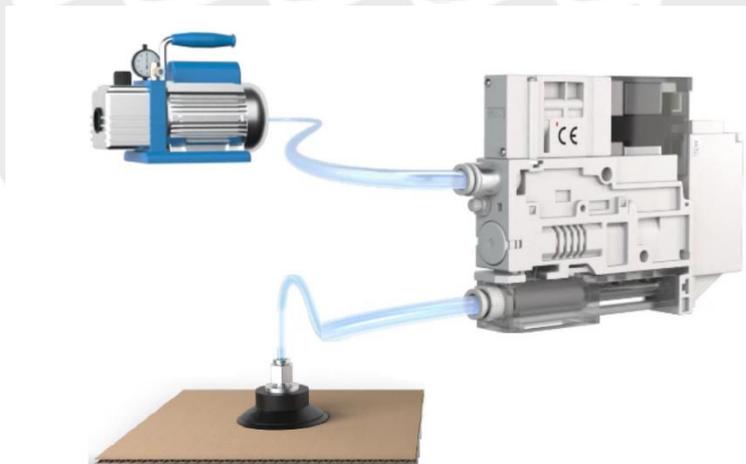


Figura 1.16 Sistema generador de vacío
Tomado de: SMC

1.4.5 Sensores

En esta parte se muestra los dispositivos empleados para el registro y medición de temperatura y presión, las cuales son variables a controlar en el sistema en desarrollo. Asimismo, se puede encontrar una comparación al final de cada inciso.

1.4.5.1 Sensor de temperatura

La medición de temperatura permite expresar de forma cuantitativa la cantidad de calor que presenta un cuerpo. En la actualidad, existen distintos dispositivos capaces de realizar tal función, que difieren por el principio de transducción empleado y por las condiciones en las que pueden ser utilizados, tales como invasivos o no invasivos que dependen de la necesidad de contacto con el objeto a analizar. A continuación, se muestran los distintos tipos de sensores que existen.

Termocupla tipo K

Es un dispositivo sensible a los cambios de temperatura construido a partir de una aleación de níquel y cromo (ver figura 1.17). Hace uso del efecto Seebeck el cual establece que circula una corriente cuando dos hilos de metales distintos se unen y se calienta uno de los extremos siendo el voltaje generado entre ambos proporcional a la diferencia de temperaturas (McMilan, 1999). Este tipo de termocupla cuenta con una amplia variedad de aplicaciones, esta disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Cuenta con un rango nominal de temperatura de 30 a 1400 °C una sensibilidad de 40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ y una precisión de ± 2 °C (Dunn, 2018).



Figura 1.17 Termocupla tipo K

Tomado de: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores>

Termómetro de resistencia

Los termómetros de resistencia (RTD) (ver figura 1.18) son transductores de temperatura. La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de la variación de resistencia en función de la temperatura, que es propia del elemento de detección. El rango de temperatura que es capaz de detectar desde $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tsc, 2013) y las versiones industriales son muy precisas llegando a valores superiores de $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (McMilan, 1999). Este tipo de sensor no trabaja bien en aplicaciones con alta vibración que incluyen bombas, compresores o turbinas. Esto puede provocar un envejecimiento prematuro o la falla de sus componentes internos (Roberts, 2018).



Figura 1.18 Sensor de temperatura RTD PT100

Tomado de: <https://www.indiamart.com/proddetail/rtd-pt100-temperature-sensor-16633306533.html>

Pirómetro infrarrojo

Los pirómetros infrarrojos (ver figura 1.19) son dispositivos que no requieren contacto y que miden la temperatura al detectar el calor irradiado desde un cuerpo caliente a través de una lente fija, que enfoca la energía del calor en una termopila (Dunn, 2018). Las temperaturas medidas varían desde valores inferiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$. y su exactitud es $\pm 0,3\%$. Su respuesta es más rápida que la de los termopares alcanzando el 95% del valor final en 1 milisegundo, por lo que se prestan a la medición de temperaturas de objetos móviles o de objetos que se calienten rápidamente (Creus, 2011).



Figura 1.19 Pirómetro infrarrojo
 Tomado de: <https://es.omega.com/prodinfo/pirometros.html>

La tabla 1.4 muestra una comparación entre los sensores de temperatura anteriormente descritos.

Tabla 1.4

Comparación entre sensores de temperatura

Características	Termocupla tipo K	Termómetro de resistencia	Pirómetro
Rango de medición	30 – 1400 °C	-200 – 600 °C	0 – 4000 °C
Principio de medición	Voltaje	Resistencia	Resistencia
Invasivo	Sí	Sí	No
Precisión	± 2%	± 0.1%	± 0.3%

Nota. Tomado de “Fundamentals of industrial instrumentation and process control”, por William Dunn, 2018; “Resistance temperatura detectors (RTDs)”, por tsc, 2013; “Process / industrial instruments and controls handbook” por Gregory McMillan, 1999; “Instrumentación industrial” por Antonio Creus, 2011.

1.4.5.2 Sensores de presión

La medición de presión es crítica para la operación segura y óptima de procesos industriales tales como la compresión de aire y otros gases; operación de equipos hidráulicos; operaciones de separación, tales como absorción, desorción, destilación y filtración; generación de vapor; y procesamiento al vacío (McMillan, 1999). Entre los distintos tipos de instrumentos que miden presión se encuentran aquellos de naturaleza

electromecánica los cuales utilizan un elemento mecánico combinado con un transductor eléctrico, que genera la correspondiente señal eléctrica (Creus, 2011).

En el sistema a analizar se requiere conocer el parámetro de presión para así obtener la fuerza que se ejerce sobre la materia prima. Dado que el sistema de compresión utiliza cilindros hidráulicos o neumáticos, de estos se puede obtener el diámetro de su vástago para así obtener de manera indirecta la fuerza que este despliega según la ecuación (McMilan, 1999):

$$F = P * A$$

F = Fuerza

P = Presión

A = Área

A continuación, se muestran los sensores de presión que se pueden utilizar en este sistema.

Sensor de presión capacitivo

Los elementos capacitivos (ver figura 1.20) se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo, se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna (Creus, 2011). Su rango de medición varía entre 0.05 – 60 MPa con una exactitud de $\pm 1\%$.

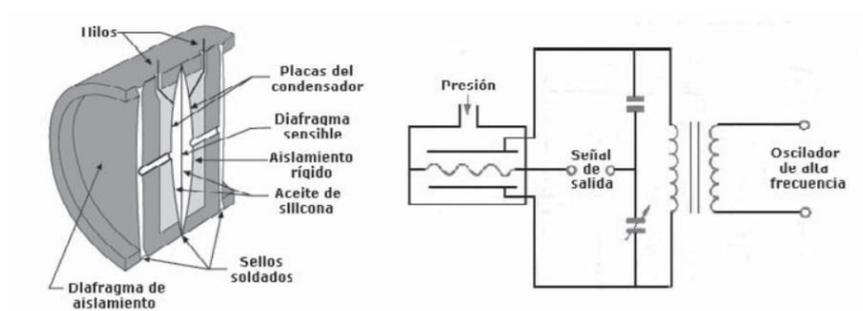


Figura 1.20 Sensor de presión capacitivo
Tomado de: "Instrumentación industrial", por Antonio Creus, 2011

Sensor de presión piezorresistivo

Los sensores piezorresistivos (ver figura 1.21), también conocidos como sensores de galgas extensiométricas, son el tipo más común de sensor de presión que se usa en la actualidad. El efecto piezorresistivo se refiere a un cambio en la resistencia eléctrica de un material cuando se aplican esfuerzos o tensiones. En el caso de este sensor, cuenta con una membrana cuya deformación es la que conlleva a un cambio de resistencia que se interpreta como la presión a la que está siendo sometida (Webster, 1998) . El margen de valores de presión que este dispositivo es capaz de leer es 0 – 60 MPa con una exactitud de $\pm 0.3\%$ (Creus, 2011).



Figura 1.21 Sensor de presión piezorresistivo con diafragma de silicio

Tomado de: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial12.php

Sensor de presión piezoeléctrico

Los elementos piezoeléctricos (ver figura 1.22) son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan un potencial eléctrico. Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al tener respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Su señal de salida es relativamente débil, por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición (Creus, 2011). Por otro lado, su rango de medición se encuentra entre 0.01 – 600 MPa con una exactitud de $\pm 1\%$ (Creus, 2011).

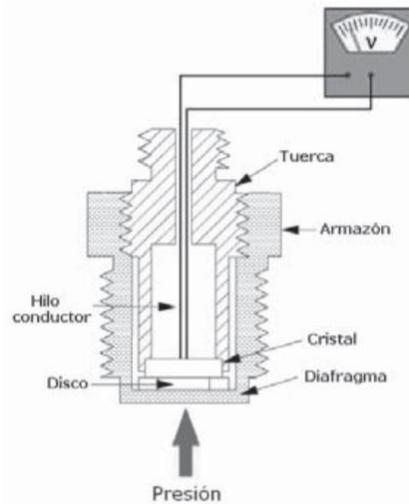


Figura 1.22 Sensor de presión eléctrico
Tomado de: "Instrumentación industrial", por Antonio Creus, 2011

En la tabla 1.5 se muestra una comparación entre estos de sensores de presión incluyendo sus propiedades más importantes.

Tabla 1.5

Comparación entre sensores de presión

Características	Sensor de presión piezorresistivo	Sensor de presión piezoeléctrico	Sensor de presión capacitivo
Rango de medición	0 – 60 MPa	0.01 – 60 MPa	0.005 – 60 MPa
Exactitud	± 0.3%	± 1%	± 1%
Principio de medición	Resistencia	Resistencia	Capacitancia
Estabilidad en el tiempo	Muy buena	Mala	Media a buena
Resolución	Continua	2×10^{-4}	Continua

Nota. Tomado de "Instrumentación industrial", por Antonio Creus, 2011

1.4.5.3 Sensores de carga

Los sensores de carga permiten medir la fuerza ejercida por un objeto. En la actualidad estos se utilizan en la industria en distintas aplicaciones como determinar el peso de

las sustancias en las operaciones de inventario de materias primas, de productos finales, en la mezcla de ingredientes, etc. (Creus, 2011). En el caso de este proyecto, se puede utilizar este tipo de dispositivo para realizar mediciones peso, en el proceso de dosificación, y además para realizar la medición directa de la fuerza de compresión que se ejerce sobre la materia prima para su proceso de moldeado. A continuación, se muestran los diferentes tipos de sensores de carga utilizados en la industria que difieren por el principio de medición que utilizan.

Células de carga a base de galgas extensiométricas

La célula de carga a base de galgas extensiométricas (ver figura 1.23) consiste, esencialmente, en una célula que contiene una pieza de elasticidad conocida (tal como el acero de módulo de elasticidad $2,1 \times 10^6$ bar) capaz de soportar la carga sin exceder de su límite de elasticidad (Creus, 2011). A esta pieza se encuentra cementada una galga extensiométrica la cual es conectada con acondicionadores de señal, que son puentes de Wheatstone, los cuales captan pequeños cambios en la resistencia y compensan los efectos de la temperatura (Creus, 2011). Presentan una capacidad de 20 kg – 150 Tm con una exactitud de aproximadamente $\pm 0.03\%$.



Figura 1.23 Células de carga de compresión
Tomado de: <https://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>

Celdas de carga hidráulica

Este tipo de celda (ver figura 1.24) consiste en un pistón sobre el que se apoya la carga y que ejerce una presión sobre un fluido hidráulico. Según la carga, y de acuerdo con el área conocida del pistón, se crea una presión en el aceite que puede leerse en un

manómetro cuya medición puede ser interpretada eléctricamente por un transmisor electrónico. Se fabrican para capacidades de carga de 1200 kg – 4000 Tm, son de respuesta rápida (menos de 2 segundos), su exactitud es del $\pm 0,25\%$, admiten sobrecargas. hasta el 40%, pueden fabricarse a prueba de explosión y son resistentes a vibraciones (Creus, 2011).

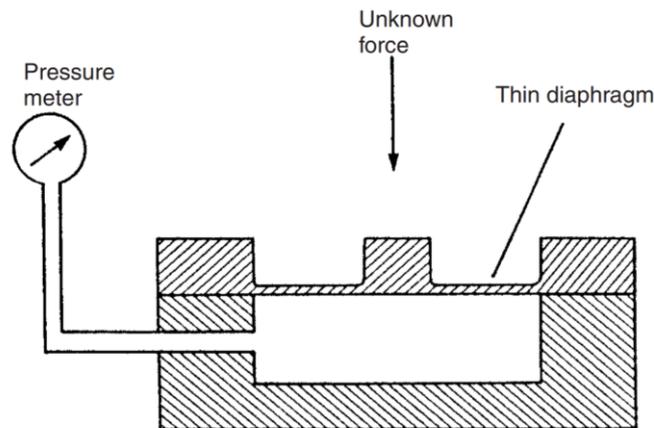


Figura 1.24 Celda de carga hidráulica
Tomado de: "Measurement and Instrumentation principles" por Alan Morris, 2001

Celdas de carga neumática

Este tipo de celdas (ver figura 1.25) consisten en un transmisor neumático de carga de equilibrio de fuerzas, en el que el peso situado en la plataforma de carga se compara con el esfuerzo ejercido por un diafragma alimentado a una presión de tarado ajustable. La capacidad de carga de las células neumáticas varía de 10 kg a 10 Tm, poseen una exactitud del $\pm 0,2\%$ y se adaptan fácilmente al control neumático. Tienen la ventaja de ser insensibles a los cambios de temperatura, ser higiénicas y a prueba de explosión, con el inconveniente de precisar aire comprimido de instrumentos (limpio y seco) o de nitrógeno y de ser de respuesta relativamente lenta (Creus, 2011).

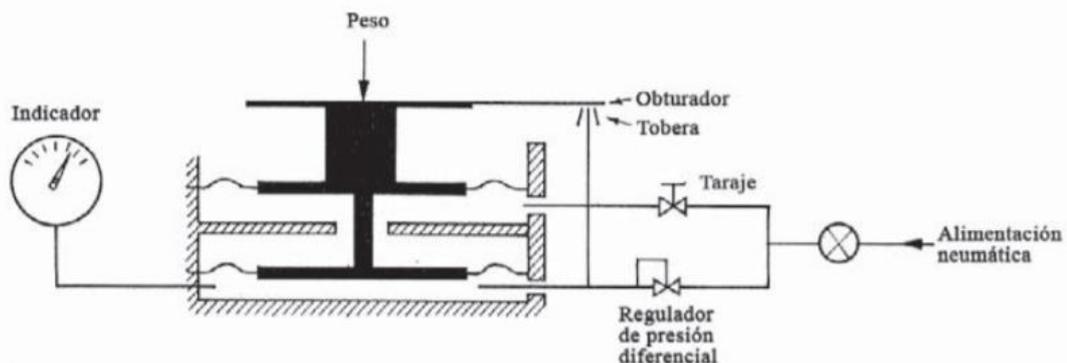


Figura 1.25 Celda de carga neumática
Tomado de: "Instrumentación industrial", por Antonio Creus, 2011

La tabla 1.6 recopila las principales características de los sensores de carga descritos mostrando una comparación entre ellos.

Tabla 1.6

Comparación entre sensores de carga

Características	Celda de carga con galgas extensiométricas	Celda de carga hidráulica	Celda de carga neumática
Capacidad	20 kg – 150 Tm	1200 kg – 4500 Tm	10 kg – 10 Tm
Exactitud	±0.03%	±0.25%	±0.2%
Ventajas	Instalación simple, protegida contra la corrosión	Instalación simple, resistente a vibraciones, respuesta rápida	Se adapta bien al control neumático
Desventajas	Caras y requieren compensación por temperatura	Caras y requieren calibración frecuente	Requiere instrumentos de aire y una calibración frecuente

Nota. Tomado de “Instrumentación industrial”, por Antonio Creus, 2011

1.4.6 Actuadores

Los actuadores son dispositivos necesarios para el control de un sistema dado que estos son utilizados para llevar a cabo un proceso. Para el presente proyecto es necesario describir las diferentes alternativas de estos elementos los cuales deben ser capaces de realizar las principales de funciones del sistema. A continuación, se detallan aquellos dispositivos que generen un efecto en el proceso de automatización.

Bomba hidráulica

Este actuador se encarga de succionar el fluido desde el tanque donde se encuentra e impulsarlo para que siga su recorrido en un circuito hidráulico. Generalmente, es

operado a una velocidad constante por un motor de inducción AC trifásico que debe girar a una velocidad entre 1200 y 1800 rpm, según la frecuencia del suministro utilizado. Cabe resaltar que las eficiencias típicas para este tipo de actuador oscilan alrededor del 90%. Existen esencialmente tres tipos diferentes de bombas de desplazamiento positivo utilizadas en sistemas hidráulicos.

- Bombas de engranajes: Es el tipo más simple y robusto de bombas ya que solo contienen dos partes móviles (ver figura 1.26). Además de ser compactas, son las más baratas del mercado con el único inconveniente de ser un sistema muy ruidoso (Parr, 2011). Puede trabajar con presiones de hasta 270 bar (Frosina, Senatore , & Rigosi, 2017).

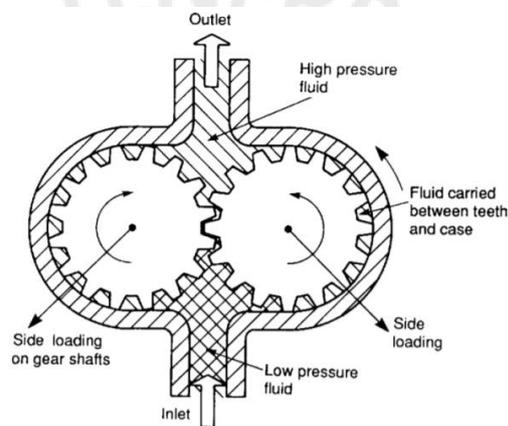


Figura 1.26 Bomba de engranaje
Tomado de: "Hydraulics and Pneumatics" por Andrew Parr, 2011

- Bombas de paletas: Este tipo de bombas, reduce la fuga de aceite al utilizar paletas con resortes ranuradas en un rotor accionado (ver figura 1.27), esto le permite alcanzar una eficiencia volumétrica de 95%. A diferencia de las bombas de engranaje, este tipo de bombas es mucho más silencioso pero la presión de trabajo es generalmente menor (Parr, 2011); no obstante, existen modelos de alto rendimiento en el mercado que igualan las presiones alcanzadas por la bomba de tipo engranaje (Hydraulics R.).

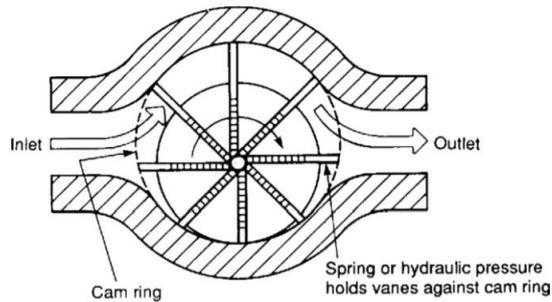


Figura 1.27 Bomba de paletas
Tomado de: "Hydraulics and Pneumatics" por Andrew Parr, 2011

- Bombas de pistones: Este tipo de bombas son similares superficialmente a un motor de automóvil (ver figura 1.28); sin embargo, estas requieren múltiples cilindros y pistones para suavizar el suministro de fluido, y se necesita mucho ingenio para diseñar bombas multicilíndricas que sean compactas. Tienen una eficiencia volumétrica muy alta (más del 98%) y pueden usar presiones más altas (hasta 300 bar si se trata de una bomba axial con placa oscilante); no obstante, su precio es mayor y su mantenimiento presenta mayor dificultad (Parr, 2011).

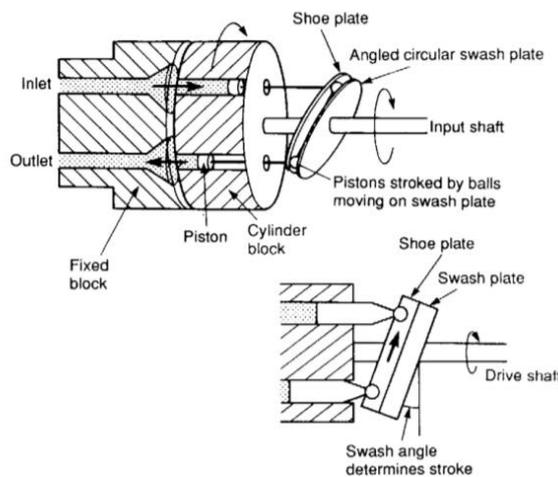


Figura 1.28 Bomba axial con placa oscilante
Tomado de: "Hydraulics and Pneumatics" por Andrew Parr, 2011

Electroválvula hidráulica de control direccional

Como su nombre lo indica es capaz de controlar, a partir de señales eléctricas, la dirección de un fluido entre los componentes de un circuito hidráulico/neumático (Beater, 2007), se puede apreciar una simplificación de su funcionamiento en la figura 1.29. Tiene la posibilidad de trabajar con presiones de hasta 350 bar y además solo se

necesita 12, 24 o 48 V para poder conmutar el estado de esta provocando un cambio en el desplazamiento del vástago del cilindro hidráulico al que esté conectado (Hydraulics, 2014).

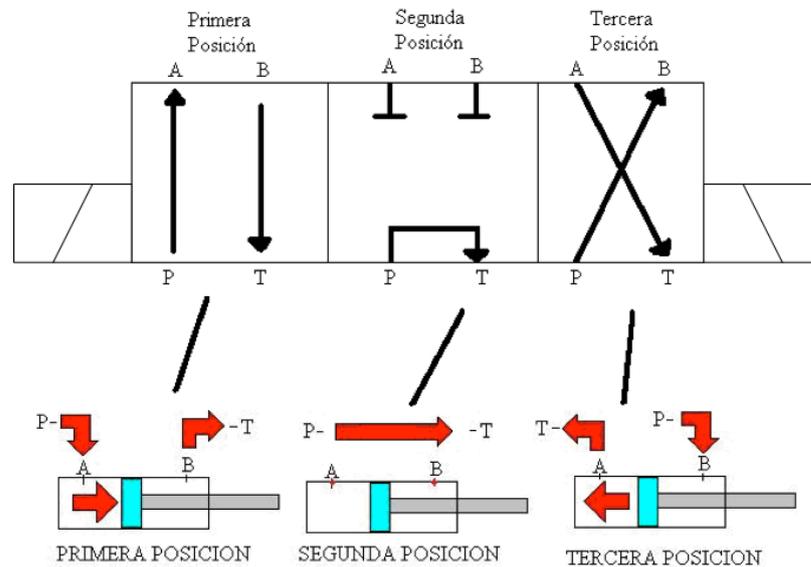


Figura 1.29 Electroválvula hidráulica de control direccional

Tomado de: <http://www.ashm.mx/blog/como-funcionan-las-valvulas-de-control-direccional/>

Motor eléctrico

Esta clase de motores recibe energía eléctrica y produce energía mecánica. Esto se traduce en un movimiento giratorio el cual puede alcanzar velocidades muy altas dependiendo del uso que se le dé. En este caso es necesario evaluar estos dispositivos dado que son actuadores de algunos mecanismos mencionados.

- **Motor de Corriente Continua:** Esta clase de motor funciona con un suministro continuo de corriente. Esto se logra mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas (ver figura 1.30). Suelen trabajar con bajas potencias al igual que los motores monofásicos; sin embargo, estos son más fáciles de controlar debido a que solo requieren un cambio de tensión aplicada para variar su velocidad pudiendo alcanzar más de 3000 rpm (Hughes, 2006). El torque de arranque suele ser mayor para este tipo de motores y su costo de fabricación suele ser más elevado que el de los motores AC.

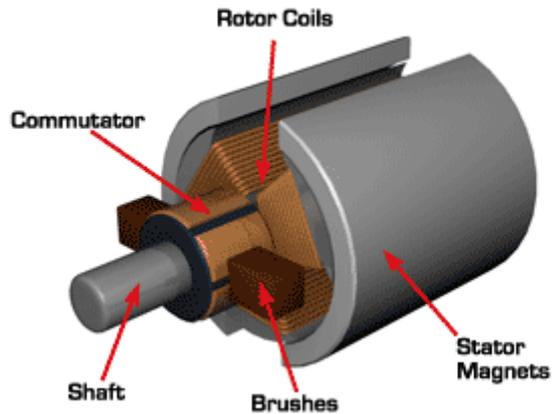


Figura 1.30 Motor DC

Tomado de: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/24/motores-arduino/>

- Motor de corriente alterna monofásico: Esta clase de motor, como se observa en la figura 1.31, opera con la carga extraída de los suministros de corriente que comúnmente se encuentran (220V, 60Hz en Perú). Asimismo, encontramos modelos con arranque con capacitor y brida C que son ideales para bombas centrífugas y otros equipos que requieren acoplamiento directo. Estos suelen tener una menor potencia que no excede los 10 HP y pueden alcanzar velocidades nominales de 3500 rpm (SIEMENS, Motores Eléctricos, 2007).

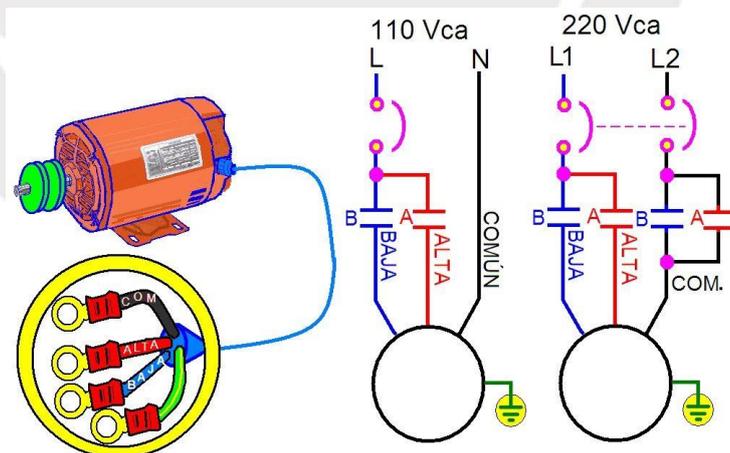


Figura 1.31 Motor monofásico

Tomado de: <https://www.pinterest.com/pin/406731410085599266/>

- Motor de corriente alterna trifásico: A diferencia del motor monofásico este tipo de motor está formado por tres bobinados independientes desfazados 120° y son alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna (ver figura 1.32).

Estos parámetros permiten que su rendimiento y factor de potencia sean mayores, pudiendo alcanzar valores superiores a 300 kW (SIEMENS, Motores Eléctricos, 2007).

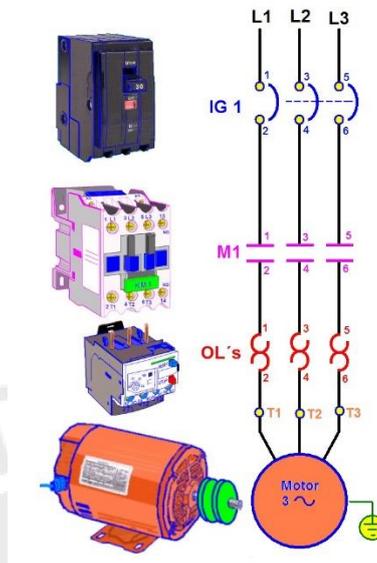


Figura 1.32 Motor trifásico

Tomado de: <https://coparoman.blogspot.com/2017/01/diagrama-basico-de-control-de-un-motor.html>

1.4.7 Controladores

Con el propósito de que el sistema obtenga una respuesta deseada frente a las perturbaciones y señales de entrada, el sistema debe contar con un controlador. Este se encarga de enviar las órdenes a los actuadores mediante señales eléctricas.

Cabe resaltar, que las variables que el controlador recibe son enviadas por los sensores del sistema y en base a esto se decide la acción siguiente a realizar. A continuación, se presentan los tipos de control presentes en la industria que representan alternativas viables para dar solución a la problemática planteada.

PLC:

Son dispositivos electrónicos digitales que utilizan una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones para controlar máquinas y procesos (Bolton, 2015). Son bastante robustos y están diseñados para soportar vibraciones, temperatura humedad y ruido. La interfaz utiliza protocolos de comunicación industriales tipo FIELDBUS el cual permite comunicaciones digitales entre distintos

dispositivos a través de pocas líneas de cableado. El lenguaje de comunicación utilizado es del tipo “Ladder”.



Figura 1.33 PLC Siemens S7-300.

Tomado de: <https://listado.mercadolibre.com.ar/plc#>

Microcontroladores:

Los microcontroladores están diseñados para aplicaciones de control y son generalmente usados en sistemas embebidos (ver figura 1.34). Estos cuentan con un CPU, memoria y otros periféricos. El tipo de procesador utilizado les permite operar a 32 bits con una velocidad de procesamiento en el orden de MHz. Asimismo, al ser implementados en tarjetas de control admiten variedad de interfaces como Ethernet, USB, CAN, SPI, I2C, ADC, DAC, etc. lo cual permite la comunicación con otros dispositivos compatibles (Xiao, 2018). Por otro lado, el lenguaje de programación mayormente utilizado en microcontroladores son aquellos del tipo “Structured Text”.



Figura 1.34 Sistema embebido myRio

Fuente: <https://www.ni.com/es-cr/shop/select/myrio-student-embedded-device>

A continuación, se presenta una tabla comparativa de las tres tecnologías antes mencionadas:

Tabla 1.7

Comparación entre controladores

Características	PLC	Sistemas embebidos
Orden de frecuencia de procesamiento	GHz	MHz
Precio	Alto	Bajo - regular
Interfaces	FIELDBUS	SPI, I2C, ADC, DAC, CAN USB, ETHERNET
Lenguaje de programación	LADDER	Structured Text

Nota. Tomado de “Designing embedded systems and the Internet Of Things (IOT) with the ARM MBED”, por Perry Xiao, 2018

1.4.8 Interfaz

La interacción entre el usuario y el sistema es realizada a través de una interfaz en el cual se permite ingresar las variables correspondientes a los parámetros de presión y temperatura. Asimismo, a través de esta se pueden visualizar las variables de salida como la cantidad de productos terminados o si el sistema presenta una emergencia a

través de un dispositivo de alerta. A partir de esto, se muestran aquellos dispositivos que cumplen con tales funciones.

Entrada

- HMI: Esta tecnología permite tanto el ingreso como la visualización de datos, a través de una pantalla de alta resolución (ver figura 1.35). Asimismo, utiliza protocolos de comunicación del tipo PROFIBUS y PROFINET lo cual permite su conexión con controladores que compartan los mismos estándares. Este dispositivo puede contar con interfaz USB y Ethernet lo cual posibilita su conexión con otros periféricos. Dependiendo de la gama seleccionada, estos dispositivos son presentados en distintos tamaños.



Figura 1.35 Panel HMI

Tomado de: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/comfort-panels.html>

- Teclado industrial: A pesar de que depende del uso de otro dispositivo para visualizar la actividad que se está haciendo, este destaca por sus características, como protección IP65, que le permiten trabajar en ambientes industriales donde el dispositivo está expuesto a agua y polvo. Su comunicación se da través de USB y solo se necesita un voltaje de alimentación de 5V (Logicbus, Teclados industriales metálicos). Cabe resaltar que los precios son mucho accesibles si se compara con otras tecnologías, como la táctil, que ingresan información. Se muestra un ejemplo de este dispositivo en la figura 1.36.



Figura 1.36 Teclado industrial de metal

Tomado de: https://www.logicbus.com.mx/teclados_industriales.php

Salida

- Monitor industrial: Este dispositivo permite visualizar información como gráficos y los datos que uno desea ingresar (ver figura 1.37). Debido a su robustez estos pueden operar bajo condiciones de humedad y polvo. Asimismo, la conexión con el controlador es mediante varias alternativas de interfaz como USB, Ethernet, HDMI, RS232, entre otros. Por otro lado, algunos modelos pueden incluir su propio sistema operativo como Windows o Linux.

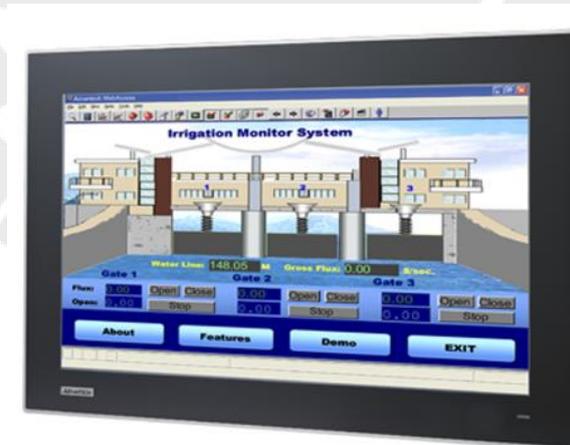


Figura 1.37 Monitor industrial

Tomado de: <https://smartinstruments.com.pe/es/categor%C3%ADas/pc-industriales/monitores-industriales/>

CAPÍTULO 2

DESARROLLO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se hace una presentación de la lista de requerimientos del sistema la cual se deberá tener en cuenta para la realización del diseño conceptual. Asimismo, se presenta la matriz morfológica de la cual se obtienen distintos conceptos de solución que posteriormente serán bosquejados. Finalmente, el concepto de solución óptimo es definido a partir de una evaluación técnico-económica de los conceptos propuestos.

2.1 Lista de requerimientos

Requerimiento	Descripción	Deseo o exigencia
Función principal	Fabricación de platos a partir de los residuos de la molienda de cereales mediante el proceso de prensado en caliente.	E
Materia	Ingresas: <ul style="list-style-type: none">• Afrecho de cereales• Agua Salidas: <ul style="list-style-type: none">• Platos circulares de 20 cm de diámetro	D

Requerimiento	Descripción	Deseo o exigencia
Energía	<p>Ingresar:</p> <ul style="list-style-type: none"> Energía eléctrica de 220 VAC monofásica a 60 Hz 	E
Señal	<p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> Señal de inicio de proceso Señal de parada de emergencia Señal de encendido <p>Salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> Señal de falla durante el proceso Señal de cantidad de platos producidos Señal de estado de emergencia 	E/D
Montaje	<p>Se pretende hacer un sistema de fácil armado y desarmado de tal manera que las operaciones de mantenimiento se den con mayor facilidad, priorizándose el acceso a aquellos sistemas que son más vulnerables.</p>	D
Uso	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura del área del trabajo en el rango de 15°C a 40 °C (temperatura local) Ambiente ventilado y con techo cerrado No se requiere un operario capacitado para ser utilizado, debido a la facilidad para entender su interfaz 	E
Transporte	<p>Se pretende que el sistema sea acoplado al proceso de molienda de cereales. No presentará ningún elemento de transporte una vez instalado, lo cual requerirá su desmontaje en caso se desee movilizar.</p>	E
Control	<ul style="list-style-type: none"> Presión ejercida sobre el molde Temperatura del molde Posición de la materia durante el proceso Cantidad de materia que ingresa 	E
Costo	<p>El presupuesto no debe exceder la cantidad de \$10000, precio por el cual se venden los sistemas de prensado en caliente más económicos para esta escala.</p>	D

Requerimiento	Descripción	Deseo o exigencia
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe emplear material resistente a la humedad y al contacto con altas temperaturas. • Dado que el sistema estará sujeto a vibraciones, se hará uso de un material que pueda aumentar la rigidez de este. • Considerando que habrá contacto con material orgánico, se requiere el uso de un material inerte que no contamine la materia prima. 	E
Ergonomía	<p>La interfaz, la zona de ingreso de materia y la zona de despacho de producto terminado deben estar a una altura que no promueva posturas que generen fatiga.</p>	E
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Se pretende que el diseño conceptual conserve la integridad de los operadores, manteniendo aislados aquellos sistemas que representen un peligro, se dispondrá de un aislamiento térmico en la zona de altas temperaturas para evitar accidentes. • Se preservará el buen estado de los componentes electrónicos protegiéndolos de aquellos agentes contaminantes que influyan negativamente en su funcionamiento, para esto se tomará un grado de protección IP 65 el cual establece una protección completa contra el polvo y una protección alta contra la humedad. • Se seguirá la norma NSF/ANSI 51 para materiales de equipos alimentarios la cual garantiza la higiene y seguridad del sistema. • Se seguirá la norma EN ISO 12100 que tiene por objetivo describir los peligros básicos y facilitar la identificación de peligros relevantes y significativos. 	D
Software	<p>Se pretenda utilizar un software de código abierto para el desarrollo del programa de control y la interfaz de usuario, que disponga de librerías que faciliten la implementación. Esto con la finalidad de eliminar los gastos por licencia de software.</p>	D

Requerimiento	Descripción	Deseo o exigencia
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Se requerirá un mantenimiento preventivo, ejecutado por una persona capacitada, programado trimestralmente de tal manera que no se espere una falla para su reparación. • En caso se requiera comprar algún repuesto, este tendrá disponibilidad local; no obstante, no se asegura que este se pueda conseguir a un menor precio del que posible se pueda conseguir en el extranjero. • Debido a la consistencia fibrosa de la materia prima, el sistema permitirá el fácil acceso a aquellas zonas de la máquina que sean propensas a fugas de esta. 	E
Dimensionamiento	1.7 metros de alto incluyendo la construcción de una plataforma, 1.5 metro de largo y 1.0 metro de ancho. De tal forma que pueda ser ubicada fácilmente en un ambiente bajo techo.	D
Interfaz de usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Deberá presentar un diseño intuitivo que no requiera dificultad para utilizarla. • La manipulación de datos podrá ser remota a través de un sistema SCADA y también podrá operar en una interfaz parte de la máquina. 	D
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • La comunicación entre controlador, actuadores y sensores deberá utilizar un protocolo de comunicación compatible entre cada uno de ellos. • La comunicación física entre el controlador y el dispositivo que muestre la interfaz debe ser Ethernet, HDMI o USB. 	D

2.2 Estructura de funciones

A continuación, se definen las funciones del sistema a través de un análisis de las entradas y salidas que involucran. En primer lugar, se determinan estos elementos sin considerar los procesos internos a través de un Blackbox y finalmente estos son descritos en un diagrama de estructura de funciones.

2.2.1 Blackbox

El Blackbox (ver figura 1.38) muestra las entradas y salidas del sistema sin tener en cuenta el proceso intermedio. Estas son presentadas en categorías: materia, energía e información.

Entradas del sistema:

- Entradas de información
 - Señal de inicio de proceso: Señal que empieza el proceso de fabricación de platos.
 - Señal de parada de emergencia: Señal que detiene todos los procesos que el sistema está ejecutando. Se puede accionar en cualquier momento.
 - Señal de encendido: Señal que energiza al sistema de tal manera que se pueda empezar a interactuar con él.
 - Señal de configuración de presión: Señal la cual indica el valor de presión al que la materia prima será sometida. Esta dependerá del tipo de afrecho que se esté tratando.
 - Señal de configuración de temperatura: Señal que define la temperatura a la cual se elevará el molde. Esto dependerá del tipo de afrecho que se esté tratando, considerando que cada uno tiene propiedades distintas.

- Entradas de materia
 - Afrecho de cereales: La materia prima producto de los residuos de la molienda de cereales.

 - Agua: Dado que el proceso para la fabricación del producto requiere que la materia prima este humedecida al menos 14%, se deberá agregar esta sustancia para aquellos afrechos que no cumplan con este parámetro.

- Entradas de energía
 - Energía eléctrica de 220 VAC monofásica a 60 Hz: Energía que servirá para alimentar cada uno de los componentes del sistema.

Salidas del sistema:

- Salidas de materia
 - Platos formados de afrecho prensado circulares de 20 cm de diámetro
- Salidas de información
 - Señal de estado del sistema: Señal que indica el estado del sistema el cual puede ser en marcha, en pausa o proceso finalizado.
 - Señal de cantidad de platos producidos
 - Señal visual de falla durante el proceso: Señal que será activada en caso se produzca una falla (como falta de aceite o demora inusual de calentamiento del molde) durante el proceso.
 - Señal sonora de emergencia: Señal que será activada en caso el sistema presente una emergencia. Esta puede ser un error fatal que involucre un sobre accionamiento de alguno de los componentes que puede atentar contra la integridad del personal alrededor.
- Salidas de energía
 - Energía mecánica: Manifestada en el movimiento de los mecanismos
 - Energía sonora: Para mostrar las señales de alarma
 - Energía térmica: Mediante el calentamiento de la masa para el formado del plato



Figura 1.38 Blackbox
Tomado de: Elaboración propia

2.2.2 Lista de funciones

A continuación, se presentan las funciones que contendrá el sistema. Estas detallarán las funciones que transforman las entradas recibidas para entregar una determinada salida. Asimismo, se muestra la estructura de funciones en la cual se aprecia la interconexión entre los bloques de funciones.

- **Recepcionar afrecho:** Mecanismo que se encarga de permitir el ingreso hacia un elemento contenedor el cual recibirá temporalmente el afrecho para que posteriormente este sea dosificado.
- **Dosificar afrecho:** Mecanismo que se encarga de dosificar el afrecho al sistema.
- **Humedecer afrecho:** Principio de agregarle agua a la materia.
- **Calentar molde:** Principio de transferencia de calor para calentar el molde.

- **Colocar afrecho en molde:** Mecanismo que coloca el afrecho al siguiente subsistema después de haber sido pesada.
- **Prensar afrecho:** Mecanismo que se encarga de ejercer presión sobre el molde que contiene el afrecho.
- **Retirar producto terminado:** Mecanismo o manera en que la materia, después de haber sido prensada en caliente, sea retirada del molde.
- **Accionar recepción de afrecho:** Actuador que controla la recepción de afrecho a un elemento contenedor.
- **Accionar dosificación de afrecho:** Actuador que controla la dosificación de afrecho de cereales al sistema.
- **Accionar humedecimiento de afrecho:** Actuador que controla el humedecimiento del afrecho.
- **Accionar calentamiento de molde:** Actuador que se encarga de elevar la temperatura del molde.
- **Accionar colocación de afrecho en molde:** Actuador que controla la colocación del afrecho al molde para que esta sea prensada.
- **Accionar prensado de afrecho:** Actuador que controla el prensado en caliente del afrecho.
- **Accionar retiro del producto terminado:** Actuador que se controla el retiro del producto del molde después de haber pasado por el proceso de prensado en caliente.
- **Accionar parada de emergencia:** Actuador que acciona la parada del sistema en caso de emergencia.
- **Energizar:** Función que se encarga de energizar la máquina mediante el paso de la energía eléctrica, para luego ser acondicionada para los diferentes subsistemas.
- **Acondicionar energía para control:** Función que regula el voltaje de entrada a un voltaje acondicionado que requiere el controlador.
- **Acondicionar energía para interfaz:** Función que regula el voltaje de entrada a un voltaje acondicionado que requiere la interfaz de usuario.
- **Acondicionar energía para sensores:** Función que regula el voltaje de entrada a un voltaje acondicionado que requieren los sensores.

- **Accionar energía para actuadores:** Función que regula el voltaje de entrada a un voltaje acondicionado que requieren los actuadores.
- **Sensar afrecho disponible:** Función que se encarga de sensar la disponibilidad de afrecho que se encuentra en el elemento contenedor desde el cual se dosificara el afrecho.
- **Sensar peso de afrecho:** Función que se encarga de medir el peso del afrecho que está ingresando al sistema. Se debe cumplir que este peso debe ser el suficiente para fabricar un plato.
- **Sensar temperatura de molde:** Función que se encarga de medir constantemente la temperatura del molde de tal manera que se alcance la temperatura suficiente para realizar el proceso de prensado en caliente.
- **Sensar presión en molde:** Función que se encarga de medir la presión que se está ejerciendo sobre el molde de tal manera que se tenga un control sobre este parámetro y se puede llegar a la cantidad deseada.
- **Controlar variables:** Los datos captados por los sensores y los datos ingresados por a través de la interfaz son enviados a esta parte. Esto se realiza con la finalidad de identificar, procesar y mandar instrucciones e información a los actuadores e interfaz.
- **Indicar inicio de proceso:** Función que está a la espera de que el usuario indique el inicio del proceso.
- **Configurar parámetros de temperatura y presión:** Función que está a la espera de que el usuario indique los parámetros de presión y de temperatura los cuales varían de acuerdo a la clase de afrecho que se utilizará.
- **Mostrar estado del proceso:** Función que muestra el estado del sistema, pudiendo este estar en marcha, detenido o señalando una alerta.
- **Mostrar cantidad de platos producidos:** Función que muestra la cantidad de platos producidos desde que el sistema fue iniciado.

A continuación, en la figura 1.39, reuniendo la información de la lista de funciones y las variables del Blackbox se ha realizado un esquema general de las funciones del sistema. Presenta 6 grupos: interfaz, control, actuadores, energizar, sensores y materia.

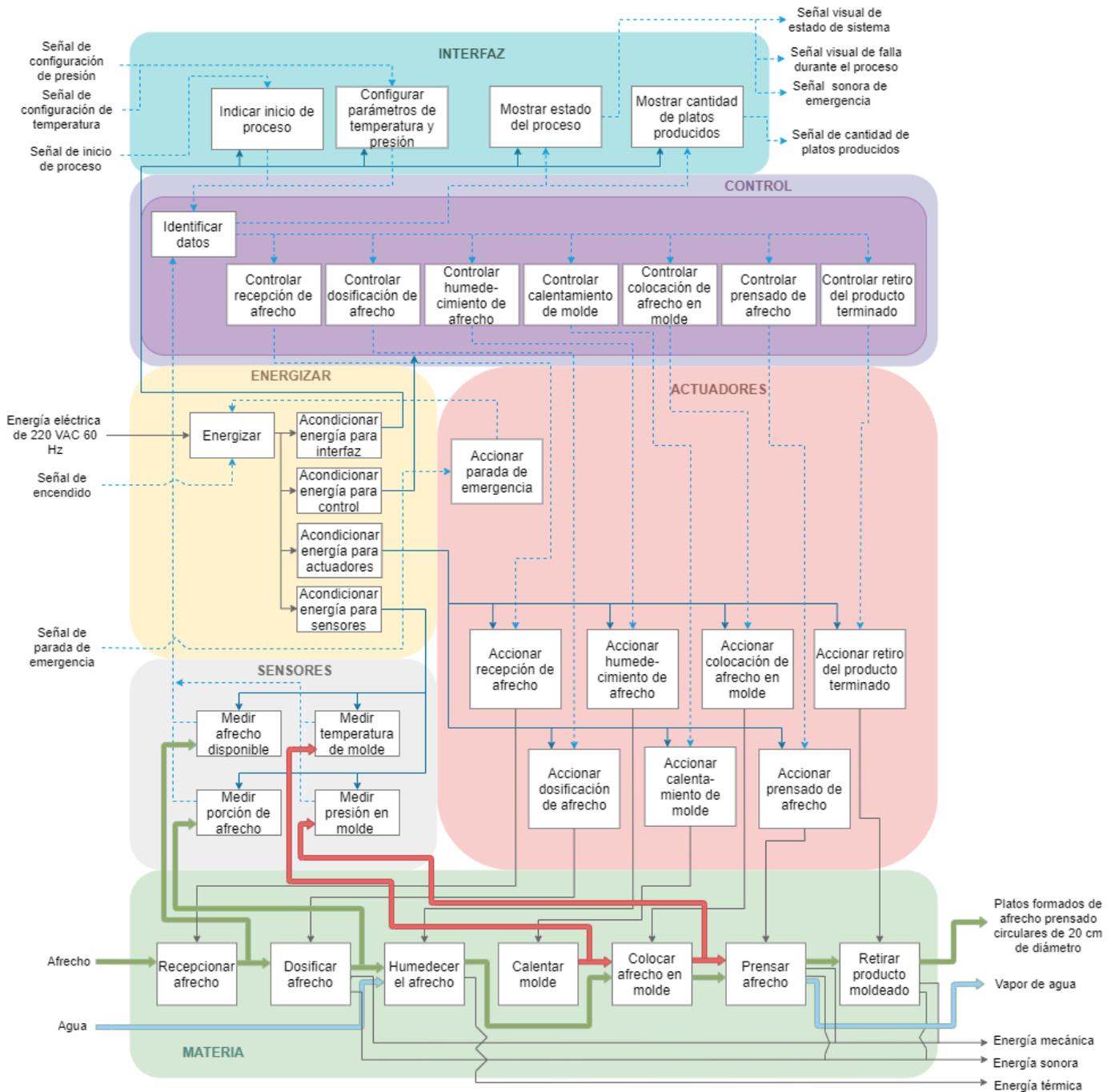
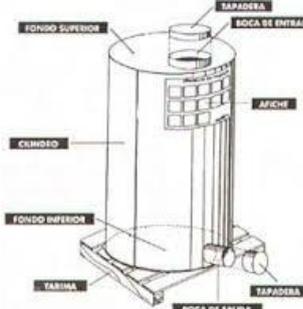
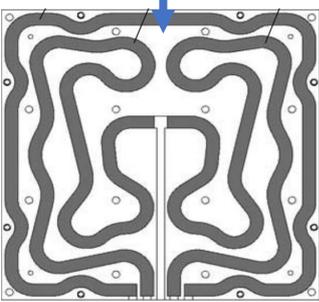
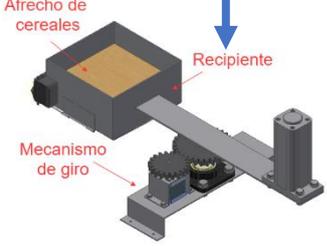
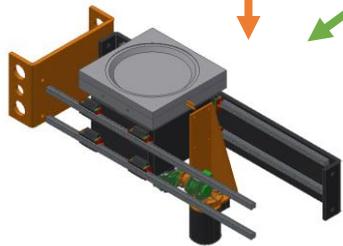
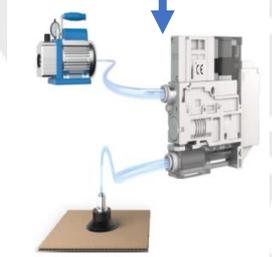
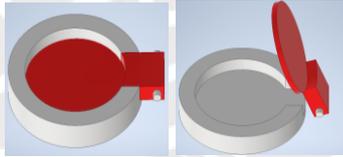
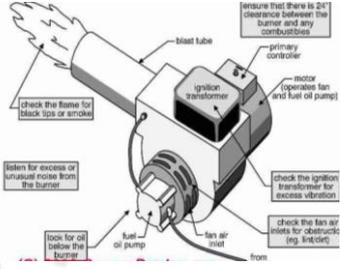
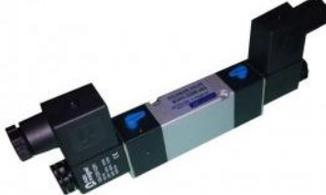


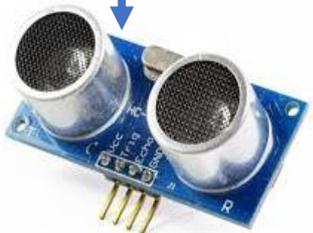
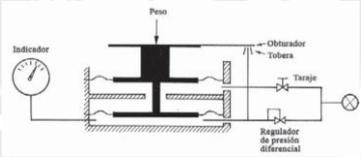
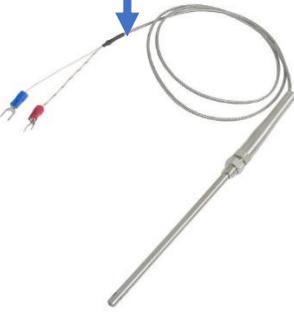
Figura 1.39 Estructura de funciones
Tomado de: Elaboración propia

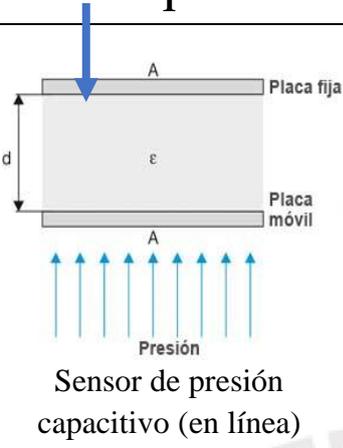
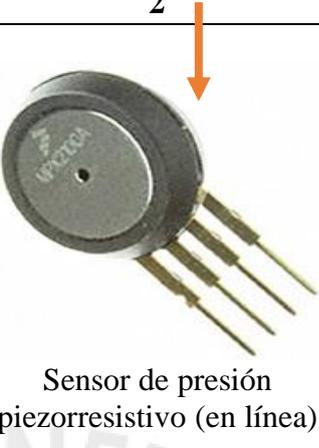
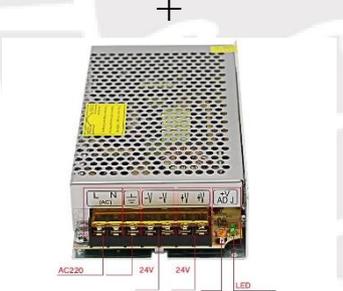
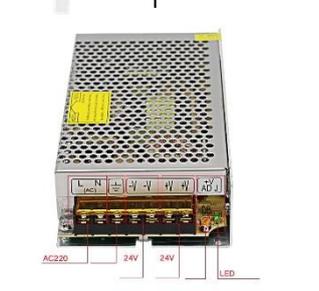
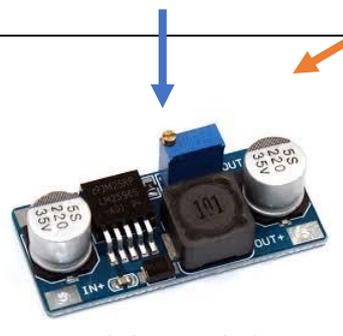
2.3 Matriz morfológica

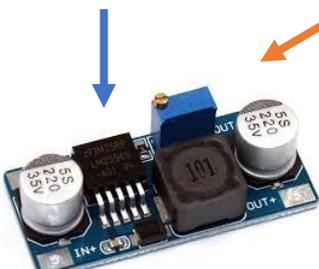
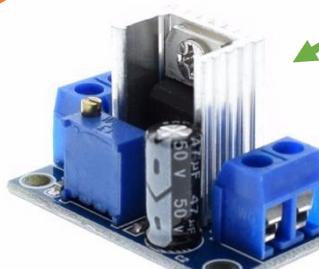
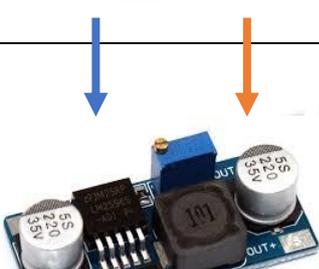
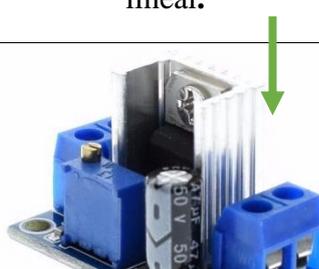
FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIÓN		
	1	2	3
Recepcionar afrecho	 <p>Tolva</p>	 <p>Silo metálico cilíndrico</p>	
Dosificar afrecho	 <p>Dosificador volumétrico de accionamiento lineal</p>	 <p>Dosificador volumétrico de accionamiento rotacional</p>	 <p>Dosificador de tornillo</p>
Humedecer el afrecho	 <p>Grifo</p>	 <p>Humidificador ultrasónico de vapor</p>	 <p>Boquilla de inyección</p>
Calentar el molde	 <p>Resistencias óhmicas</p>	 <p>Intercambiadores de calor</p>	 <p>Horno a gas</p>

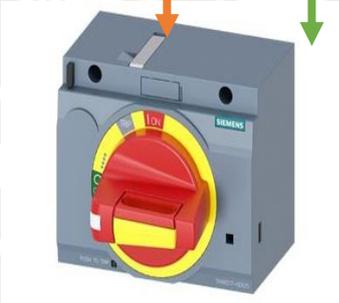
FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Colocar afrecho en molde	 <p>Sistema de transporte de materia</p>	 <p>Sistema de transporte de molde (Directo desde el dosificador)</p>	
Prensar afrecho	 <p>Prensa hidráulica</p>	 <p>Prensa neumática</p>	
Retirar producto moldeado	 <p>Succión al vacío</p>	 <p>Rotación de plato de molde</p>	Manual
Accionar dosificación de afrecho	 <p>Cilindro neumático</p>	 <p>Motor DC</p>	 <p>Motor de inducción monofásico</p>

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Accionar humedecimiento de afrecho	 <p>Relé electromecánico</p>	 <p>Válvula solenoide</p>	
Accionar calentamiento de molde	 <p>Relé electromecánico</p>	 <p>Electroválvula de gas</p>	 <p>Quemador de aceite</p>
Accionar colocación de afrecho en molde	 <p>Motor a pasos</p>	 <p>Motor de inducción monofásico</p>	
Accionar prensado de afrecho	 <p>Válvula direccional hidráulica</p>	 <p>Válvula direccional neumática</p>	

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIÓN		
	1	2	3
Accionar retiro del producto moldeado	 <p>Generador de vacío</p>	 <p>Servomotor</p>	 <p>Manual</p>
Detectar afrecho disponible	 <p>Sensor ultrasónico</p>	 <p>Sensores ópticos</p>	 <p>Celda de carga de compresión</p>
Detectar porción de afrecho	 <p>Volumen</p>	 <p>Celda de carga neumática</p>	
Detectar temperatura de molde	 <p>Termocupla tipo K</p>	 <p>Sensor de temperatura RTD</p>	 <p>Pirómetro infrarrojo</p>

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIÓN		
	1	2	3
<p>Detectar presión en molde</p>	 <p>Sensor de presión capacitivo (en línea)</p>	 <p>Sensor de presión piezorresistivo (en línea)</p>	 <p>Celda de carga hidráulica (directo)</p>
<p>Energizar</p>	 <p>+</p>  <p>Interruptor termomagnético + Fuente conmutada</p>	 <p>+</p>  <p>Pulsador con enclavamiento + Fuente conmutada</p>	 <p>+</p>  <p>Interruptor rotativo + Fuente conmutada</p>
<p>Acondicionar energía para control</p>	 <p>Modulo regulador conmutado</p>	 <p>Módulo de regulador lineal</p>	

FUNCIONES	PORTADORES DE FUNCIÓN		
	1	2	3
Acondicionar energía para interfaz	 <p>Modulo regulador conmutado</p>	 <p>Módulo de regulador lineal.</p>	
Accionar energía para sensores	 <p>Modulo regulador conmutado</p>	 <p>Módulo de regulador lineal</p>	
Accionar energía para actuadores	 <p>Modulo regulador conmutado</p>	 <p>Módulo de regulador lineal</p>	
Controlar variables	 <p>Controlador embebido</p>	 <p>PLC</p>	

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Ingresar inicio de proceso	 <p>Panel HMI</p>	 <p>Teclado industrial</p>	 <p>Pulsador interruptor</p>
Registrar señales alfanuméricas	 <p>Panel HMI</p>	 <p>Teclado industrial</p>	
Accionar parada de emergencia	 <p>Pulsador de parada de emergencia tipo hongo</p>	 <p>Mando giratorio con enclavamiento</p>	
Mostrar datos alfanuméricos	 <p>Panel HMI</p>	 <p>Monitor industrial</p>	 <p>Display alfanumérico</p>

FUNCIONES	PORTADORES DE SOLUCIÓN		
	1	2	3
Mostrar señal de emergencia	 Zumbador excitado por voltaje	 Indicadores luminosos	 Baliza



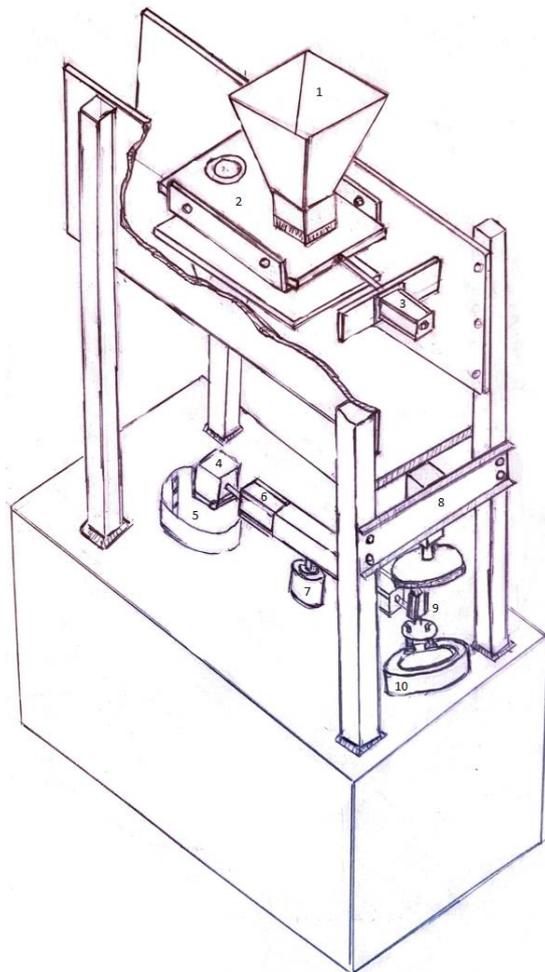
2.4 Conceptos de solución

A continuación, se da una explicación de cada concepto de solución y una imagen general del bosquejo.

Concepto de solución 1

El primer concepto de solución (ver figura 1.40) plantea un ingreso de afrecho a partir de una tolva. El afrecho es humedecido por un grifo accionado por una válvula solenoide colocado en la parte superior. Con el propósito de que el agua se mezcle con toda la materia está es constantemente movida con ayuda de paletas unidas a un eje giratorio ubicado en el centro de la tolva. Esta además en su parte inferior cuenta con un agujero el cual es cubierto con una plancha deslizante. Un cilindro neumático es el que se encarga de deslizar este elemento de tal manera que se pase de un estado de carga de afrecho, en un recipiente unido a la plancha ya mencionada, a un estado de descarga al transportar el afrecho a un orificio el cual permite su caída a un recipiente temporal cuya tarea es almacenar esta materia mientras es trasladada a la zona de prensado en caliente a través de una torre giratoria.

Una vez la materia es trasladada y depositada en la matriz inferior del molde formador, el vástago del cilindro hidráulico de la prensa ejerce presión sobre este al mismo tiempo que es calentado a través de resistencias calefactoras colocadas en la base. Aproximadamente después de 10 segundos, el vástago de la prensa es retraído y deja a la intemperie el producto ya terminado. Con ayuda de un sistema de ventosas, el producto terminado es succionado mientras este es transportado, a través de una torre giratoria a una bandeja que se encargará de apilarlo.



1. Tolva mezcladora
2. Plancha deslizante
3. Actuador línea que acciona la plancha deslizante
4. Recipiente transportador de afrecho
5. Contenedor de productos terminados
6. Actuador lineal que retrae y elonga el recipiente 4
7. Sistema rotatorio de transporte de materia
8. Prensa hidráulica
9. Actuador lineal que retrae y elonga el sistema de succión de platos
10. Molde

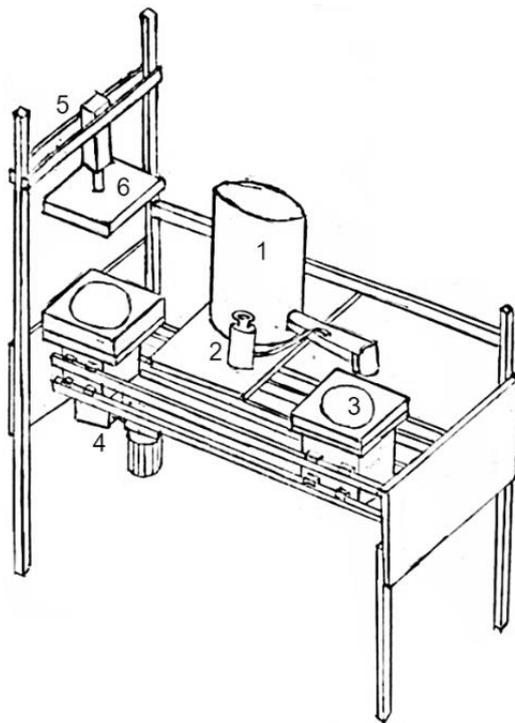
Figura 1.40 Concepto de solución 1
Tomado: Elaboración propia

Concepto de solución 2

El segundo concepto de solución (ver figura 1.41) plantea el ingreso del afrecho a partir de un silo cilíndrico donde es humedecido por un pulverizador a presión. El proceso de dosificación es realizado volumétricamente por un tornillo transportador ubicado en la parte inferior del silo. Posteriormente esta porción de afrecho es recibida por la matriz inferior del molde formador la cual es desplazada linealmente, por un sistema de rieles, a la zona de compresión en caliente.

El proceso de calentado de materia es realizado por intercambiadores de calor ubicados en la matriz inferior que transporta el afrecho. Posteriormente, el proceso de compresión es realizado mediante al accionamiento del cilindro hidráulico durante aproximadamente 10 segundos. Finalizado este proceso, el plato formado queda en la matriz inferior a la intemperie donde es posteriormente despachado mediante la

rotación del plato del molde permitiendo que este quede vacío para iniciar el ciclo nuevamente.

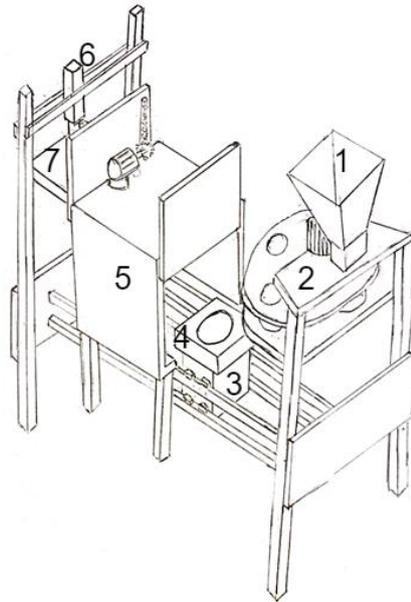


1. Silo cilindro de recepción
2. Pulverizador
3. Matriz inferior molde formador
4. Mecanismo de traslado lineal
5. Prensa neumática
6. Matriz superior molde formador

Figura 1.41 Concepto de solución 2
Tomado de: Elaboración propia

Concepto de solución 3

El tercer concepto de solución (ver figura 1.42) plantea el ingreso de afrecho a partir de una tolva de recepción que se encuentra adherida a mecanismo de dosificación volumétrica rotacional. El accionamiento permite el traslado de afrecho hacia el molde formador el cual es desplazado linealmente a través de un sistema de rieles. La zona de calentamiento está compuesta por un horno industrial a gas el cual eleva la temperatura del molde (en aproximadamente 5 segundos) previo a su ingreso a la zona de compresión donde se realiza finalmente el prensado (en aproximadamente 10 segundos). Posteriormente el plato formado queda en la matriz inferior del molde formador, el cual desplazado nuevamente al punto de recepción de materia prima del sistema dosificador. El operario retira manualmente el producto terminado y se reinicia el ciclo de producción.



1. Tolva de recepción
2. Dosificador volumétrico rotacional
3. Mecanismo de transporte lineal
4. Matriz inferior molde formador
5. Horno
6. Cilindro hidráulico
7. Matriz superior molde formador

Figura 1.42 Concepto de solución 3
Tomado de: Elaboración propia

2.5 Evaluación técnica-económica

Con el objetivo de escoger el concepto de solución más adecuado se realiza una evaluación de carácter técnico y económico a cada uno de ellos. El puntaje asignado varía entre 1 y 4, donde 1 significa que no se cumple con el criterio en absoluto y 4 que el criterio es plenamente alcanzado. Cada uno de estos criterios cuenta con un distinto peso según su importancia. A continuación, se da una breve descripción de cada uno de estos criterios.

2.5.1 Descripción de los criterios económicos de evaluación

A continuación, se presentan los criterios económicos con los cuales se procederá a evaluar cada concepto de solución.

- **Bajo costo:** Monto del presupuesto el cual indica un bajo costo de fabricación, lo que permitirá que el equipo sea una oferta asequible al cliente objetivo.
- **Alta productividad:** Nivel de eficiencia de producción por cada recurso utilizado, lo que permitirá al usuario tener un ratio.
- **Bajo costo energético:** El costo de la energía empleada para energizar sensores, interfaz y los mecanismos incluidos en cada solución, lo que permitirá saber al cliente los requisitos energéticos que el sistema demanda.

- **Facilidad de adquisición de componentes:** Capacidad de conseguir de manera rápida y fácil los componentes necesarios para la fabricación de la máquina, lo cual reduciría los tiempos de fabricación.
- **Bajo costo de mantenimiento:** Costo de realizar mantenimiento a cada mecanismo del proceso y/o a algún componente electrónico que requiere operación.

2.5.2 Descripción de los criterios técnicos de evaluación

A continuación, se presentan los criterios técnicos con los cuales se procederá a evaluar cada concepto de solución.

- **Mayor capacidad:** Cantidad de platos que pueden producirse en determinada cantidad de tiempo, lo que permitirá que el cliente cuanto sería su producción.
- **Seguridad:** Grado de seguridad respecto al uso de la máquina, de tal manera que se proteja la integridad del operador.
- **Facilidad de uso:** Qué tan entendible son los comandos e indicadores, que garantizan que la máquina sea operada de forma óptima.
- **Mayor robustez del producto final:** Que tan resistente resulta ser el producto final en cuanto a grosor, densidad y fuerza.
- **Facilidad de montaje:** Facilidad en el proceso montaje y desmontaje de las partes, considerando también las conexiones correspondientes necesarias entre los dispositivos electrónicos. Esto permite saber al cliente saber el tiempo estimado que demoraría realizar este proceso.
- **Menor tamaño:** Volumen que ocupa cada concepto, lo que permitirá al cliente evaluar el lugar de instalación del sistema.
- **Alta versatilidad:** Capacidad para adaptarse a diferentes condiciones como cambios de presión o cantidad de agua necesaria, lo cual facilita definir y comprobar cuales son los valores necesarios para cada uno de los tipos de afrecho a procesar.
- **Baja frecuencia de mantenimiento:** Cantidad de veces en un periodo determinado que se debe realizar algún mantenimiento, ya sea correctivo o

preventivo, lo que permitirá al cliente tener una mejor programación de esta actividad.

Tabla 1.8

Comparación técnica entre cada concepto de solución

Nro.	Criterio	Solución 1			Solución 2		Solución 3		IDEAL	
		g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Mayor capacidad	4	4	16	4	16	3	12	4	16
2	Seguridad	3	3	6	4	3	2	9	4	12
3	Facilidad de uso	2	4	6	4	6	4	6	4	8
4	Mayor robustez del producto final	3	4	9	3	6	2	3	4	12
5	Facilidad de montaje	2	4	2	3	4	2	4	4	8
6	Menor tamaño	2	3	4	3	6	3	4	4	8
7	Alta versatilidad	3	4	9	3	6	2	9	4	12
8	Baja frecuencia de mantenimiento	3	3	6	3	9	3	6	4	12
Suma			29	80	27	75	21	57	32	88
Valor suma relativa			0.91	0.91	0.84	0.85	0.66	0.65	1	1

Tabla 1.9

Comparación económica entre cada concepto de solución

Nro.	Criterio	Solución 1			Solución 2		Solución 3		IDEAL	
		g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Bajo costo	3	4	12	3	9	3	9	4	16
2	Alta productividad	4	3	12	3	12	2	8	4	12
3	Bajo costo energético	2	3	6	3	6	2	4	4	8
4	Facilidad de adquisición de componentes	2	3	6	3	6	3	6	4	12
5	Bajo costo de mantenimiento	3	4	12	3	9	3	9	4	8
Suma		17	48	15	42	13	36	20	56	
Valor suma relativa		0.85	0.86	0.75	0.75	0.65	0.64	1	1	

Los promedios obtenidos son plasmados en un gráfico de dispersión como se puede apreciar en la figura 1.43. Se logra observar que la solución 1 es aquella con el mayor puntaje según los criterios económicos técnicos y que además tiene bastante cercanía a la línea de equivalencia cual corrobora el balance entre ambos aspectos.

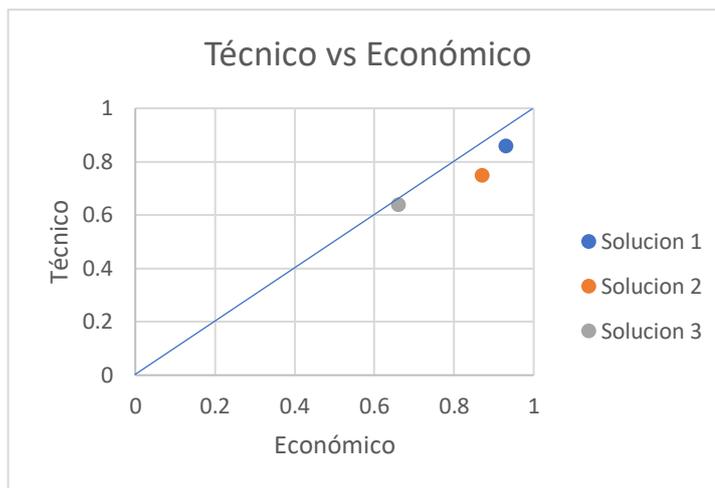


Figura 1.43 Gráfico técnico-económico entre conceptos de solución
Tomado de: Elaboración propia

A partir de esta evaluación, se determina finalmente que el concepto de solución óptimo es el concepto de solución 1. No obstante, este puede ser aun optimizado al agregar mejoras considerando que la evaluación permite identificar algunas cualidades de los otros conceptos que pueden ser agregados. Tomando en cuenta estas observaciones, la figura 1.44 muestra el concepto de solución definitivo, el cual además ha sido modelado en un software CAD. Este sistema considera un dosificador volumétrico lineal el cual es colocado en la parte inferior de la tolva de recepción. El humedecimiento del afrecho es accionado por una válvula solenoide y además se incluye un conjunto de aletas mezcladores que garanticen la uniformidad de este proceso. Por otro lado, el sistema de traslado de afrecho consiste en un mecanismo de movimiento giratorio el cual involucra la rotación de una platina en cuyos extremos se encuentra el recipiente sobre el cual se traslada el afrecho a la zona de prensado en caliente. El subsistema de calentamiento utiliza resistencias calefactoras para elevar la temperatura del afrecho depositado en la matriz inferior y simultáneamente, el subsistema de compresión acciona el cilindro hidráulico encargado de realizar el proceso de compresión. Finalmente, el producto es retirado y apilado mediante un sistema de ventosas cuya succión permite el transporte del producto terminado a la zona de despacho utilizando el mecanismo de traslado mencionado anteriormente.

Por otro lado, el sistema también contempla una interfaz constituida por un HMI en el cual el usuario final será capaz de ingresar los valores deseados de temperatura y presión en base al tipo de cereal del cual se haya obtenido el afrecho. Asimismo, en el panel de control donde este dispositivo es ensamblado, también está ubicado el

pulsador de parada de emergencia y la interruptor termomagnético el cual es utilizado para energizar el sistema.

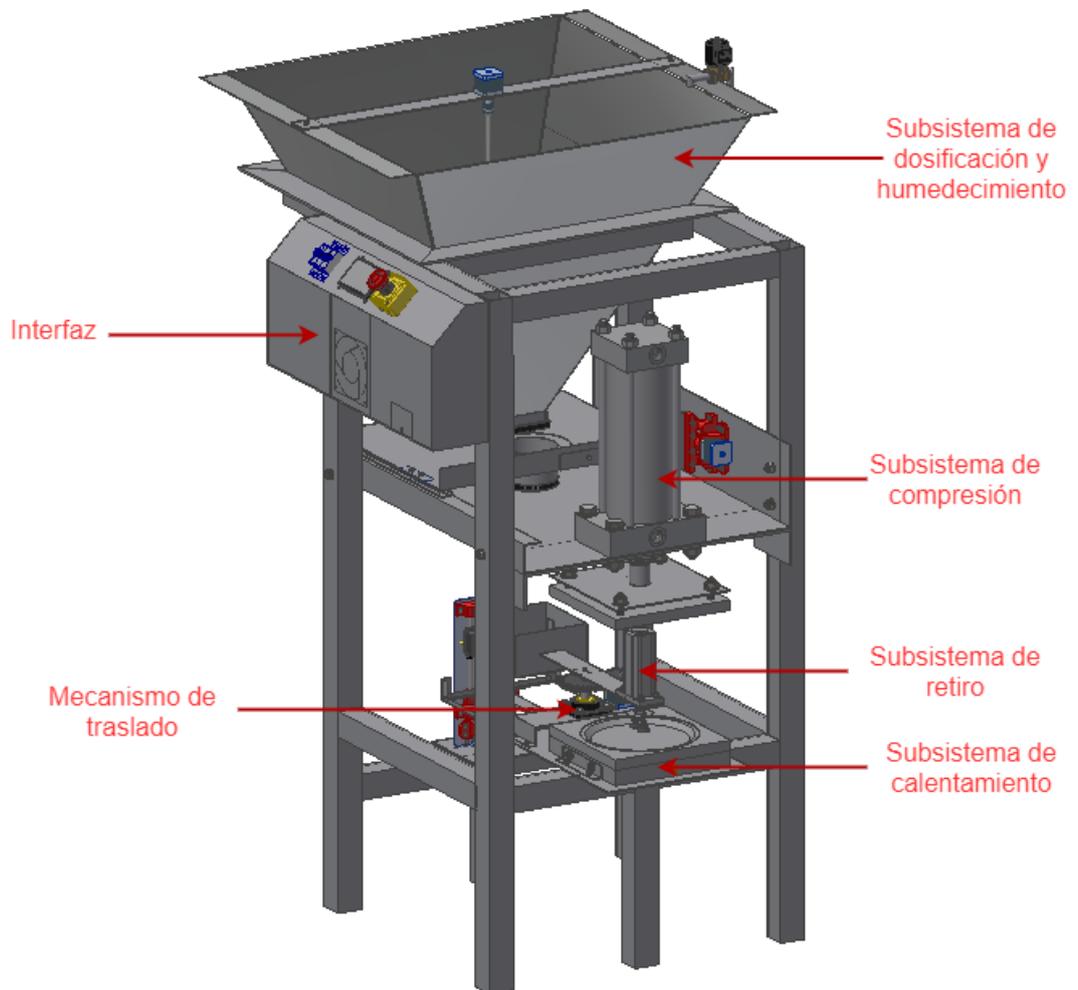


Figura 1.44 Vista isométrica concepto de solución óptimo modelado en CAD
Tomado de: Elaboración propia

MCMXVII

CONCLUSIONES

- Se planteó la problemática basada en el uso de materiales como tecnopor y PET, en utensilios y vajillas y como este significaba un impacto negativo para la salud del consumidor y para el medio ambiente. A partir de esto se propuso como alternativa el afrecho como materia prima para la elaboración de platos biodegradables, el cual además busca no reducir la rentabilidad de algunos procesos de fabricación ya existentes como en el caso de sus semejantes (caña de azúcar, pulpa de papel, hojas de plátano) en la elaboración de productos biodegradables.
- Se definió el alcance el cual estableció que: el proyecto se limita al desarrollo de un sistema de automático que sirva para fabricar platos a partir de afrecho, que no estaba contemplado el identificar los valores de presión, humedad y/o temperatura para un determinado tipo y que el automatismo del sistema tomaría en cuenta el surtido de la materia prima y el retiro del producto terminado.
- Se realizó una investigación de principios de solución existentes y sus combinaciones que forman parte de la fabricación de platos biodegradables
- Se realizó una lista de requerimientos que incluye los deseos y exigencias del sistema que deben ser considerado en el diseño conceptual de la máquina.
- Se determinaron que las funciones parciales del sistema son: humedecimiento, dosificación, traslado, calentamiento, compresión y retiro del producto terminado.

- Se bosquejaron distintos conceptos de solución de los cuales se seleccionó el óptimo tomando en cuenta criterios económicos y técnicos. Finalmente, a este fueron agregados algunas cualidades de los otros conceptos de solución y se realizó un modelamiento 3D del mismo.
- La investigación de antecedentes expone la falta de fabricantes de sistemas automáticos que procesan este tipo de material, razón por lo que se concluye que la propuesta de un sistema que cumpla con tal propósito resulta innovadora.
- El concepto de solución óptimo contempla la recepción, humedecimiento, dosificación y prensado en caliente de afrecho, además de un transporte automático entre cada una de estas etapas, cumpliendo con los requerimientos de diseño expuestos en los objetivos específicos mencionados al inicio de este trabajo. Asimismo, el sistema incluye una interfaz por la cual el operador será capaz de interactuar con el sistema, ingresando parámetros importantes como lo son la temperatura y presión a la cual será sometido el afrecho, lo cual depende exclusivamente del cereal que se esté usando, detener el sistema a través de la parada de emergencia y visualizar de productos terminados.

REFERENCIAS

- AmericaTV. (2018). *Ecopack Perú: emprendimiento que reemplaza el tecnopor y plástico*. Obtenido de America Noticias:
<https://www.americatv.com.pe/noticias/estilo-de-vida/ecopack-peru-envases-y-productos-biodegradables-n332707>
- Beater, P. (2007). *Pneumatic Drives*. Berlin: Springer.
- Bolton, W. (2015). *Mechatronics*. Harlow: Pearson.
- Çengel, Y. A. (2012). *Mecánica de fluidos*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial*. México D.F.: Alfaomega.
- Delgado, A. (10 de Julio de 2018). *El tecnopor: la amenaza invisible*. Obtenido de Clima de cambios PUCP:
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/el-tecnopor-la-amenaza-invisible/>
- Dunn, W. (2018). *Fundamentals of industrial instrumentation and process control*. New York: McGraw-Hill Education.
- El Comercio. (10 de Octubre de 2018). *Tecnopor: Industria tardaría cinco años en adecuarse a la prohibición de su uso*. Obtenido de
<https://elcomercio.pe/economia/peru/tecnopor-industria-tardaria-cinco-anos-adequarse-prohibicion-noticia-570593>
- Frosina, E., Senatore, A., & Rigosi, M. (31 de Julio de 2017). *Study of a High-Pressure External Gear Pump with a Computational Fluid Dynamic Modeling Approach*.
- Hughes, A. (2006). *Electric Motors and Drives*. Oxford: Elsevier.
- Hydraulics, P. (27 de Enero de 2014). *Directional Control Valves: Hydraulic Components*. Obtenido de https://www.poclain-hydraulics.com/_upload/ressources/media/pdf/A35758S.pdf
- Hydraulics, R. (s.f.). *High Performance Vane Pump*. Obtenido de http://www.ricco.com.sg/productpage_files/Pump-T6.pdf
- Incroperu, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.
- Karpushkin, S., Glebov, A., & Karpov, S. (2006). Plates in Hydraulic Presses with Ohmic Heaters. *Russian Engineering Research*.
- Kulp, K. (2000). *Handbook of Cereal Science and Technology*. New York: CRC Press.

- Lambert, T. R. (Julio de 2017). *An introduction to microcontrollers and embedded systems*. Obtenido de <file:///C:/Users/USER%20ASUS/Downloads/IntroductiontoMicrocontrollersandEmbeddedSystems.pdf>
- Lee, H. (2010). *Thermal Design: Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells*. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Logicbus. (s.f.). *Sensores de temperatura RTD*. Obtenido de https://www.logicbus.com.mx/sensores_RTd.php
- Logicbus. (s.f.). *Teclados industriales metálicos*. Obtenido de https://www.logicbus.com.mx/teclados_industriales.php
- Maldonado, S. (25 de Marzo de 2018). *10 Datos gráficos sobre los plásticos de un solo uso*. Obtenido de Oceana: <https://peru.oceana.org/es/blog/10-datos-graficos-sobre-los-plasticos-de-un-solo-uso>
- McMilan, G. (1999). *Process / industrial instruments and controls handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Morris, A. S. (2001). *Measurement and Instrumentation Principles*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Mundo Diverso. (Enero de 2018). *Biotrem - La empresa polaca que hace platos de salvado de trigo*. Obtenido de <http://www.mundo-diverso.com/2018/01/biotrem-la-empresa-polaca-que-hace-platos-de-salvado-de-trigo/>
- NANYA. (s.f.). *Sustainable Tableware Sugarcane Automated Pulp Molding Machine*. Obtenido de Guangzhou Nanya Pulp Molding Equipment Co., Ltd.: <http://www.pulpmoldingequipment.com/sale-11688096-sustainable-tableware-sugarcane-automated-pulp-molding-machine.html>
- OSHA. (s.f.). *Pneumatic Presses*. Obtenido de United States department of labor: <https://www.osha.gov/SLTC/etools/machineguarding/presses/pneumatic.html>
- Park, R. M. (s.f.). *Thermocouples fundamentals*. Obtenido de <http://www.advindsys.com/ApNotes/tcfundamentals.pdf>
- Parr, A. (2011). *Hydraulics and Pneumatics*. Oxford: Elsevier.
- Patel, S. (2012). Cereal bran: The next super food with significant antioxidant and anticancer potential. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*.
- Patel, T., Mukundbhai Sheth, S., Panchal, V., & Chauhan, P. (16 de Mayo de 2015). *Design and Development of Hydraulic Press with Die*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279194795_Design_and_Development_of_Hydraulic_Press_with_Die

- PerúRetail. (2019). *Peruanos crean platos biodegradables a base de hojas de plátano*. Obtenido de Perú Retail: <https://www.peru-retail.com/crean-platos-biodegradables-a-base-de-hojas-de-platano/>
- PIROBLOC. (s.f.). *Thermal oil heating systems*. Obtenido de <https://www.pirobloc.com/en/thermal-oil-heating-systems/#>
- Pollock, D. D. (2018). *Thermocouples: Theory and properties*. New York: CRC Press.
- PRI. (2019). *The plastics landscape: Regulations, policies and influencers*. Obtenido de Principles for Responsible Investment: <https://www.unpri.org/plastics/the-plastics-landscape-regulations-policies-and-influencers/4953.article>
- Pronaturaleza. (2016). *El tecnopor es un acto de autoenvenamiento*. Obtenido de Fundacion Peruana para la conservación del medio ambiente: <http://pronaturaleza.org/noticias/el-uso-del-tecnopor-es-un-acto-de-autoenvenamiento/>
- Publimetro. (2018). *Envases de caña de azúcar biodegradables comienzan a reemplazar al tecnopor en Perú*. Obtenido de [publimetro.pe: https://www.publimetro.pe/actualidad/2018/09/12/envases-cana-azucar-biodegradables-comienzan-reemplazar-tecnopor-peru-79830-noticia/](https://www.publimetro.pe/actualidad/2018/09/12/envases-cana-azucar-biodegradables-comienzan-reemplazar-tecnopor-peru-79830-noticia/)
- Quintero Díaz, L. A. (2015). *Diseño de una planta de reciclado de Tereftalato de polietileno (PET)*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/59710>
- Reyna, M. N. (28 de Noviembre de 2015). *Termistores*. Obtenido de Universidad Mayor de San Andrés: <https://www.academia.edu/19243013/Termistores>
- Rivera Távara, R. (2004). *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura. Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_63_186_28_557.pdf
- Roberts, C. (27 de Febrero de 2018). *Combating RTD failure due to strong vibrations*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/combating-rtd-failure-due-strong-vibrations-chris-roberts/>
- Schäfer, M. (1980). *Alemania Patente n° 4,208,574*.
- SIEMENS. (2007). *Motores Eléctricos*. Obtenido de http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/6825/mod_resource/content/1/Motores%20NNM.pdf
- SIEMENS. (20 de Octubre de 2017). *Porqué el PC industrial es el protagonista de la automatización*. Obtenido de <https://ciudadesdelfuturo.es/porque-el-pc-industrial-es-el-protagonista-de-la-automatizacion.php>

- Siemens. (s.f.). *Paneles SIMATIC HMI*. Obtenido de https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/Documents/brochure_panels_es.pdf
- Sociedad Nacional de Industrias. (s.f.). *Ley que regula los plasticos de un solo uso*. Obtenido de <https://www.sni.org.pe/wp-content/uploads/2018/08/LEY-QUE-REGULA-EL-PL%C3%81STICO-DE-UN-SOLO-USO-Y-LOS-RECIPIENTES-O-ENVASES-DESCARTABLES.pdf>
- Stakeholders. (24 de Octubre de 2018). *Regulación de plástico podría impactar a más de 300 mil comerciantes de envases desechables*. Obtenido de <http://stakeholders.com.pe/medio-ambiente/regulacion-plastico-podria-impactar-mas-300-mil-comerciantes-envases-desechables/>
- tsc. (2013). *Resistance Temperature Detectors (RTDs)*. Obtenido de thermo sensors corporation: <https://www.thermosensors.com/pdfs/RTD's.pdf>
- Tschaetsch, H. (2010). *Metal Forming*. Berlin: Springer.
- UNED. (s.f.). *Controladores Lógicos Programables (PLC)*. Obtenido de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf
- UNED. (s.f.). *Sistemas Embebidos (ES)*. Obtenido de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf
- Waller, D., & Werner, H. (2002). *Pneumatics*. Alemania: Festo Didactic.
- Webster, J. G. (1998). *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Wysocki, J. (2016). *Estados Unidos Patente n° 9517578B2*.
- Xiao, P. (2018). *Designing embedded systems and the Internet Of Things (IOT) with the ARM MBED*. New Jersey: Jhon Wiley & Sons Ltd.