

**Diseño Concurrente Aplicado al Estudio de la
Automatización de una Máquina de Briquetas**

**Concurrent Design Applied to the Study of
the Automation of a Briquetting Machine**

Verónica Marisol Gallo-Caiza¹
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador
vgallo.istt@gmail.com

Pamela Monserrath Espejo-Velasco²
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador
pespejo.istt@gmail.com

Santiago Javier Álvarez-Tobar³
Instituto Superior Tecnológico Tungurahua - Ecuador
salvarez.istt@gmail.com

doi.org/10.33386/593dp.2023.6.2113

V8-N6 (nov-dic) 2024, pp. 502-514 | Recibido: 29 de agosto del 2023 - Aceptado: 26 de octubre del 2023 (2 ronda rev.)

1 Soy Ingeniera en Mecatrónica, con una especialización en sistemas de control y automatización industrial. Experta en el desarrollo, implementación y programación de autómatas programables de acuerdo al avance de las tecnologías. .

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0515-4144>

2 Experta en el diseño, desarrollo, implementación del control industrial y la automatización de procesos, de acuerdo al auge y avance las nuevas tecnologías.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5451-8585>

3

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0957-5465>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El objeto de estudio fue diseñar una máquina de control automático para la fabricación de briquetas, mediante la investigación empírica se tomó datos referenciales para la producción de briquetas de serrín y viruta como fuente energética. Se empleó el análisis funcional el cual permitió establecer los 5 módulos que forman parte de la máquina, en la fase de diseño se definió los materiales y dimensiones de cada uno de los módulos con ayuda de la herramienta SolidWork, mediante la técnica de los criterios ponderados se realizó la fase de detalle del sistema mecatrónico en donde se seleccionó elementos y mecanismos eléctricos-electrónicos que ayuden a la propuesta de automatización de la máquina de briquetas, finalmente se realizó la secuencia de programación de la unidad de control mediante un diagrama grafcet, en donde se presenta el comportamiento de las entradas y salidas que deberá cumplir la briquetadora. Como conclusión se puede indicar que se realizó el estudio de las etapas de funcionamiento del diseño la maquina briquetadora, integrando los dispositivos de automatización con el fin de optimizar la producción de briquetas y darle un valor agregado a los desperdicios de serrín y viruta que se encuentra con frecuencia en las fábricas e industrias madereras.

Palabras clave: briquetadora, concurrente, energética; mecatrónico, automatización

ABSTRACT

The object of study was to design an automatic control machine for the manufacture of briquettes, through empirical research referential data was taken for the production of sawdust and shaving briquettes as an energy source. The functional analysis was used which allowed to establish the 5 modules that are part of the machine, in the design phase the materials and dimensions of each of the modules were defined with the help of the SolidWork tool, through the weighted criteria technique. the detail phase of the mechatronic system was carried out, where electrical-electronic elements and mechanisms were selected to help the automation proposal of the briquette machine, finally the programming sequence of the control unit was carried out by means of a grafcet diagram, in where the behavior of the inputs and outputs that the briquetting machine must comply with is presented. In conclusion, it can be indicated that the study of the operating stages of the design of the briquetting machine was carried out, integrating the automation devices in order to optimize the production of briquettes and give added value to the waste of sawdust and shavings that is found frequently in factories and lumber industries.

Keywords: briquetting machine; concurrent; energetic; mechatronics, automation.

Introducción

Ecuador presenta una profunda crisis desde décadas pasadas por la mala Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) por las malas regulaciones en las disposiciones finales de establecer políticas de reducción de los residuos sólidos, de esta manera se ha exigido al Estado una declaratoria de emergencia que demande un cambio en el modelo GIRS en el que se priorice la Política Ambiental del país (Soliz, 2020).

De acuerdo con el análisis realizado en el año 2018, en Ecuador se generaba un aproximado de 12900 toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 57 % corresponde a residuos orgánicos y el porcentaje restante a residuos inorgánicos. Esta situación se vio incrementada en el año 2020 en el marco de la emergencia socio sanitaria derivada de la pandemia de la COVID-19, la mayoría de los municipios reportaron un incremento de un 25 % en la generación de residuos (Soliz, 2020).

Las grandes industrias son los principales generadores de residuos sólidos que provocan contaminación y daño al medio ambiente y aunque existe leyes que regulan la responsabilidad social de las entidades, es necesario implementar un método más adecuado que ayude a reciclar, reutilizar y reducir los residuos contaminantes permitiendo la creación de nuevas fuentes energéticas y económicas que ayuden a la protección del medio ambiente (Caiza, 2020)

Entre los materiales más desechados por el sector maderero, que presentan una composición intrínseca y que no han terminado su ciclo de vida está los residuos de aserrín y viruta, induciendo a que se investigue un método innovador que ayude a transformar en otro elemento (briquetas de madera), cuyas características puedan ofrecer beneficios que ayuden a la sustentabilidad mediante la reutilización de este tipo de materiales para convertir en un tipo de energía de calor renovable (Holt, 2016)

Las empresas o industrias madereras buscan alternativas que ayuden a dar un valor agregado a los residuos que producen sus plantas, y a la vez ayude a reducir la contaminación que genera la mayoría de las industrias al incinerar los desechos al aire libre, lo cual provoca daños al medio ambiente. De esta manera surge la idea de fabricar briquetas de desechos maderables

como lo es el serrín y viruta (Caiza, 2020).

En base a los estudios realizados para determinar la factibilidad de la producción de briquetas y como fuente de aportación, este trabajo pretende contribuir con la aplicación de una metodología o técnica innovadora para el diseño de una máquina briquetadora, basada en el concepto de Diseño Concurrente, la cual permita generar valor, reducir el costo de diseño, dar facilidad a la producción de briquetas de biomasa de serrín y viruta, reducir la mano de obra, e incrementar la producción y cumplir con las especificaciones requeridas por el cliente (Gallo, 2017).

El Diseño Concurrente tiene como objetivo principal la obtención de un enfoque sistemático para el diseño simultáneo interdisciplinar de un producto y los procesos que conlleva, abarca el diseño de productos, procesos y sistemas de fabricación al considerar de forma simultánea todos los aspectos del ciclo de vida del producto. Aunque los principios y conceptos de Ingeniería Concurrente se consideran suficientemente maduros, existe complejidad de muchos productos de ingeniería por la gran variedad de herramientas existentes.

Con este antecedente se determina consecuentemente la pregunta de investigación: ¿La metodología integradora de la ingeniería concurrente aplicada al diseño de una máquina briquetadora, permitirá crear un sistema mecatrónico para la producción de briquetas de serrín y viruta?

Para analizar la pregunta planteada, se propuso emplear la técnica del diseño concurrente para perfilar un sistema mecatrónico que produzca briquetas de biomasa de serrín y viruta. Luego, se establecieron los parámetros de diseño en base a estándares de calidad requeridos para integrar sistemática y simultáneamente las partes del diseño de la máquina y procesos. Finalmente, se seleccionan los componentes eléctricos y electrónicos con el fin de generar una propuesta de un sistema de control automático de fácil uso e implementación.

Se considera relevante esta investigación ya que permite generar una propuesta de diseño de una máquina de control automático, incorporando elementos de automatismos industriales que ayuden a generar una fuente de solución para la utilización de los residuos de

aserrín y madera, es factible porque mediante la realización del proyecto se ayudaría a la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) a establecer nuevas políticas de reducción de los residuos sólidos.

Es importante esta investigación, ya que no existe una propuesta clara en materia de reciclaje en las empresas que importan o elaboran este tipo de producto y desarrollar responsabilidades para el ambiente y que ayuda a generar fuentes de ingresos, es factible porque existe la predisposición por parte de los empresarios, la comunidad (beneficiarios) implementando una cultura, técnicas y estrategias de reciclaje y con ello se logrará un impulso a la sociedad mejorando el medio ambiente mejorando el nivel y calidad de vida de la población (Sanmartin, 2017).

Método

Diseño conceptual del sistema de la máquina briquetadora

El objeto de estudio es demostrar que el diseño concurrente aplicado a la automatización es un método más efectivo en el momento de producir briquetas que la forma artesanal, para lo cual se usa el método empírico iniciando con la observación de la realidad, luego se pasó a la experimentación, para posteriormente finalizar con la medición.

Observación de la realidad

Tiempos y calidad de producción

Para determinar el tiempo de producción de la forma artesanal se tomó los tiempos para 100 briquetas de 30 centímetros en 3 lotes, de la misma forma se determinó la calidad del producto en base la compresión de la briqueta (Tabla 1)

Tabla 1

Tiempos de producción

Ciclos por lote (100)	Tiempos de producción artesanal	Compresión
Primer Ciclo	5 horas	Media
Segundo Ciclo	5 horas 15 minutos	Media
Tercer Ciclo	5 horas 5 minutos	Media baja

Experimentación

Se establece la calidad del producto mediante el diseño conceptual de la máquina briquetadora, ya que es una herramienta que se empleará para el desarrollo del sistema es el Despliegue de la Función de la Calidad (QFD), esta metodología está orientada directamente a la productividad (Barrera, 1995).

QFD Despliegue de la función de la calidad.

El QFD implica el desarrollo de 3 fases que se detallan a continuación:

Fase 0. Identificación de los clientes potenciales.

En esta primera fase se identifica a los clientes internos y externos que tienen relación directa con el diseño de la máquina, con el fin de que el diseño incluya todo el ciclo de vida del producto. En la Tabla 2, se identifica a los clientes internos y externos que se relacionan con el diseño de la máquina.

Tabla 2

Identificación de clientes

Cientes Internos	Cientes Externos
Departamento de diseño	Pequeñas y medianas industrias de madera
Departamento de ventas	Fábricas dedicadas a la producción de muebles en madera.
Departamento de producción	Productores de briquetas
Departamento de calidad	

Fase 1. Determinación de las expectativas del cliente.

Se determinó las necesidades del usuario y se clasificó de acuerdo con el tipo de requerimiento que tenga la más alta prioridad, estos requerimientos fueron clasificados en: 1) Funcionales; 2) Estéticos; 3) De costos y/o de fabricación y montaje.

Fase 2. Definición del mecanismo.

Para la definición del mecanismo se debe considerar los siguientes puntos:

c.1 Especificaciones requeridas y deseadas.

Se procede a la construcción de la Matriz de la Casa de la Calidad, esta matriz ayuda a establecer los parámetros de diseño que se deben controlar y medir para cumplir con las necesidades del usuario (Tabla 3).

Tabla 3

Importancia de las necesidades del cliente

Necesidad del cliente	Peso solicitado
Necesidad del cliente	Peso solicitado
Fácil implementación	13,69%
Fácil manejo y operación	11,41%
Rapidez en el proceso	10,27%
Bajo consumo energético	8,76%
Reducción de la mano de obra	8,76%

La relación entre las necesidades del cliente y los parámetros de diseño proporciona el enfoque del proyecto, esto permite crear una máquina que satisfaga los requerimientos del usuario. En el caso de la máquina briquetadora, los criterios planteados por la voz del ingeniero se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4

Importancia de la relación necesidades de los clientes vs parámetros de diseño

Parámetros de Diseño	Relación necesidades del cliente vs. Parámetros de diseño
Automatización de procesos	13,4%
Diseño y estética	10,7%
Tablero de mando y control	10,6%
Fuerza de compresión	10,4%
Número de partes y piezas principales	10,3%

c.2 Parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.

En el trabajo realizado por Diaz (2020), se define los parámetros requeridos para la elaboración de las briquetas. La Tabla 5, presenta una lista de parámetros con sus respectivos rangos de valores, los cuales se deben considerar en la fabricación de briquetas. Es importante anotar que la temperatura, dependiendo de la briquetadora, se relaciona con la presión, debido a la fricción interna que se produce entre las partículas y la pared del contenedor de la materia prima.

Tabla 5

Parámetros requeridos para la fabricación de briquetas.

Parámetro	Tecnología Aplicada			Aglomerante
	Artisanal	Semi-industrial	Industrial	
Humedad	>20%	15 al 20%	5 al 15%	Si
Presión	<5MPa	5 a 100 MPa	>100MPa	Depende de la presión aplicada y la materia prima utilizada.
Temperatura	Depende de la presión aplicada			
Tamaño de partículas (granulometría)	<5mm	<5mm	<15mm	No

Medición y Comprobación de parámetros.

Para la comprobación de parámetros se utilizó la materia prima de la empresa DECOSA CIA LTDA, ubicada en la ciudad de Quito-Ecuador, de esta manera se procede a verificar si la materia prima, cumple con los parámetros establecidos en la Tabla 4.

Humedad

Para medir la humedad que contiene la materia prima de serrín y viruta se usó el método de secado al horno. El contenido de humedad de la madera es la relación expresada en porcentaje entre la masa de agua que se encuentra en el volumen dado de la madera y la masa de esta exenta de agua (madera seca). Esta relación se expresa mediante la ecuación 1 (Bernal, 1998):

$$H_m = \frac{m_h - m_o}{m_o} \cdot 100\%$$

(1)

Dónde:

H_m = Humedad(%)

m_h = masa del aserrín y viruta húmeda (gr)

m_o = masa del aserrín y viruta seca (gr), es decir con un porcentaje del 0%

Datos:

$m_{serrinyviruta\ húmeda} = m_h = 2.96\text{gr}$

$m_{serrinyviruta\ seca} = m_o = 2.65\text{gr}$

Temperatura del horno = 110°C

Tiempo = 1 hora

Cálculos:

$$H_m = \frac{2,96 - 2,65}{2,65} \cdot 100\%$$

$$H_m = 11,69\%$$

De esta manera se comprueba que la humedad de la materia prima de la empresa Decosa Cía. Ltda., se encuentra dentro de los límites que se requiere para el proceso de briquetado.

Presión.

La presión se determinará en base al sistema aplicado para la compactación de la materia prima, pero se debe considerar el rango que se establece en la Tabla N°5, para conseguir una buena compactación en el proceso de formación de briquetas.

Tamaño de partículas.

En cuanto al porcentaje de granulometría, la materia prima compuesta por la viruta tiene partículas que van desde los 5mm hasta los 25mm, por lo que es necesario disminuir el tamaño de las partículas a la medida recomendada en los parámetros de fabricación de briquetas.

Aglomerante.

Por último y como dato importante a considerar, se evita el uso de aglomerantes, debido a que la lignina (sustancia propia de la

madera) presente en los granos de aserrín, sirve de medio para la compactación de partículas, lo cual permite obtener un producto libre de químicos perjudiciales para el medio ambiente.

Diseño funcional del sistema de la máquina briquetadora.

Con el fin de encontrar la mejor solución que satisfaga todos los requerimientos establecidos y que puedan ser aplicados como solución por la voz del ingeniero, se propone utilizar el método del Análisis funcional, con el cual se pretende conocer las funciones que realizará cada módulo que forma parte de la máquina briquetadora.

Análisis funcional y generación de módulos.

El análisis funcional se basa en un estudio por bloques del diseño de la máquina, comenzando desde el nivel 0, aquí se especifica la función principal que realizará la máquina briquetadora. En la Figura 1, se muestra la función principal.

Figura 1

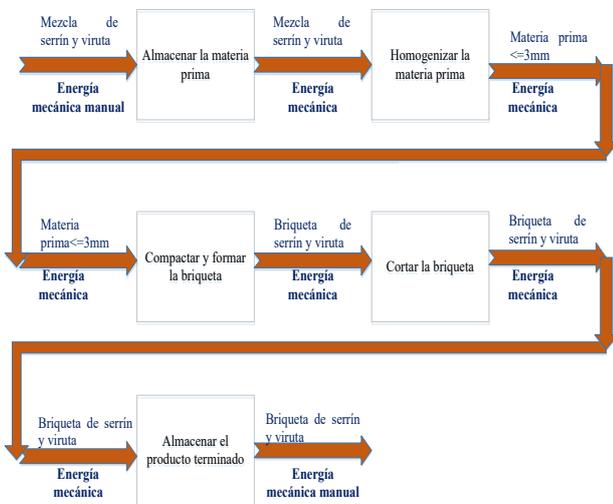
Nivel 0: Función principal



Una vez que se ha establecido la función principal de la máquina, se puede continuar con la desagregación de las etapas y procesos, esto se realiza en el nivel 1. La interpretación del nivel 1 se detalla en la Figura 2.

Figura 2

Análisis Funcional



Generación de alternativas de solución.

Una vez que se ha generado los módulos funcionales para el diseño de la máquina, se procede a buscar alternativas para cada módulo de acuerdo con el criterio técnico otorgado por la voz del ingeniero. En este análisis por módulos se seleccionará la mejor solución, la más conveniente y la que esté más de acuerdo con los resultados obtenidos, una vez que se haya aplicado el método ordinal corregido de los criterios ponderados.

Módulo 1: Módulo de recolección.

Los criterios de valoración que se consideran más determinantes, para este módulo son: a) Peso moderado, debido a que la recolección de materia prima como la del producto terminado se lo realizará de forma manual, el peso no debe exceder los límites soportados por la fuerza humana; b) Fácil manipulación, se debe implementar un sistema de fácil manipulación que ayude al operario a la recolección de los residuos de madera y de las briquetas; c) Funcional, el diseño del módulo de recolección de briquetas debe permitir recolectar el producto sin que esté sufra algún daño a la salida del proceso. Al analizar estos datos, se procede con los siguientes pasos: a) Evaluación del peso específico de cada criterio (Tabla 6).

Tabla 6

Evaluación de criterios del módulo 1

Peso moderado > Fácil manipulación > Funcional					
Criterios	Peso moderado	Fácil manipulación	Funcional	Σ+1	Ponderación
Peso moderado	0,5	1	1	3,5	0,467
Fácil manipulación	0	0,5	1	2,5	0,333
Funcional	0	0	0,5	1,5	0,2
Total				7,5	1

A continuación, el cálculo de la tabla 7, se observó que la solución A, es aquella que se ha determinado con la más alta prioridad, esta alternativa cumple con los criterios estudiados para el módulo 1.

Tabla 7

Tabla de conclusiones del módulo 1

Conclusiones	Peso moderado	Fácil manipulación	Funcional	Σ	Prioridad
Solución A	0,217	0,155	0,066	0,439	1
Solución B	0,155	0,066	0,093	0,315	2
Solución C	0,093	0,111	0,04	0,244	3

Módulo 2: Módulo de alimentación.

Los criterios más relevantes que ayudan al estudio de este módulo son: a) Capacidad de almacenamiento, la tolva de alimentación se dimensionará con el fin de que acumule 23 kg de materia prima, esto se hace en relación directa con el nivel de producción de los desperdicios que se adquieren en los procesos de producción de la fábrica de madera; b) Ángulo de caída, se debe considerar en el diseño que los ángulos que se forman en la tolva, tengan una inclinación mayor a 45 grados, con el fin de evitar aglutinaciones en la caída del material; y, c) Ergonomía, se debe realizar un estudio de las condiciones en las que se hará la alimentación de la materia prima, con el fin de facilitar el trabajo al operador y lograr un mejor rendimiento. A continuación, el cálculo de la tabla de conclusiones (Tabla 8).

Tabla 8

Tabla de conclusiones del módulo 2

Conclusiones	Capacidad de almacenamiento	Ángulo de caída	Ergonomía	Σ	Prioridad
Solución A	0,233	0,146	0,088	0,467	1
Solución B	0,167	0,104	0,062	0,333	2
Solución C	0,1	0,063	0,036	0,199	3

Como resultado de este análisis, se observa que la solución A, la cual consiste en una tolva de almacenamiento es la mejor opción para depositar los residuos de aserrín y viruta, debido a que se ajusta a los criterios de valoración considerados en el módulo 2.

Módulo 3: Módulo de trituración.

Los criterios de valoración para este módulo son: a) Fuerza de corte, de acuerdo con el material a triturar y a los elementos que forman parte del sistema de trituración se debe definir la fuerza de corte que se empleara en la trituración del material; b) Forma y tamaño, es importante verificar el tamaño y forma de la materia prima del serrín y viruta que se va a recolectar para el ingreso al sistema de alimentación, ya que esté se diseñara para un tamaño comprendido entre (2 y 2.5) cm. De igual manera se debe verificar la forma y tamaño del producto terminado, si cumple con las especificaciones requeridas para conseguir un producto de calidad; c) Mantenimiento, debe ser un sistema desmontable, que permita la facilidad de revisión y supervisión de partes y piezas y de ser el caso la reposición de alguna de ellas; d) Material, se debe considerar un material de alta durabilidad, que soporte el trabajo al que va a ser sometido las cuchillas, con el fin de asegurar la vida útil del elemento; y e) Evaluación del peso específico de cada criterio (Tabla 9).

Tabla 9

Evaluación de criterios del módulo 3

Forma y tamaño > Fuerza de corte > Material > Mantenimiento						
Criterios	Forma y tamaño	Fuerza de corte	Material	Mantenimiento	Σ+1	Ponderación
Forma y tamaño	0,5	1	1	1	4,5	0,375
Fuerza de corte	0	0,5	1	1	3,5	0,292
Material	0	0	0,5	1	2,5	0,208
Mantenimiento	0	0	0	0,5	1,5	0,125
Total					12	1,000

Como se puede observar en la Tabla 10, la solución ganadora es la solución A, por lo tanto, se la puede aplicar para el diseño del módulo de trituración.

Tabla 10

Tabla de conclusiones del módulo 3

Conclusiones	Forma y tamaño	Fuerza de corte	Material	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución A	0,175125	0,1168	0,097136	0,041625	0,431	1
Solución B	0,075	0,1168	0,0416	0,058375	0,292	2
Solución C	0,124875	0,0584	0,069264	0,025	0,278	3

Módulo 4: Módulo de compactación.

Para este módulo se estudia los siguientes criterios: a) Presión, la compactación de las partículas de aserrín y viruta depende directamente de la presión que se le aplique. La presión aplicada a los residuos de madera permitirá activar la lignina propia del material, asegurando la compactación de la materia; b) Dureza, para que una briqueta no se desintegre es necesario seleccionar una dureza que se encuentre alrededor del 90%. Esta es una de las características más importantes de las briquetas, ya que se encuentran expuestas a la manipulación, almacenamiento y transporte; c) Tamaño y forma de la briqueta, la forma escogida es cilíndrica con orificio central, con un diámetro externo e interno que permita tener circulación de aire en la combustión, ya que el fin de la briqueta es la de obtener energía calórica al combustionar las briquetas. No obstante, la solución ganadora para el módulo 4 es la solución C, es decir que la compactación se realizara por medio de un eje transportador y una camisa cónica (ver tabla 11).

Tabla 11

Tabla de conclusiones del módulo 4

Conclusiones	Presión	Dureza	Tamaño y forma de la briqueta	Σ	Prioridad
Solución A	0,218	0,111	0,067	0,396	2
Solución B	0,093	0,067	0,04	0,200	3
Solución C	0,156	0,156	0,093	0,404	1

Módulo 5: Módulo de corte

Se considera los siguientes criterios de valoración: a) Método de corte, se considera la implementación de un sistema automático de corte con sensores, con el fin de regular el tamaño de la briqueta; b) Velocidad de corte, se considera una rapidez de bajo rango, debido a que el material y la longitud a cortar es muy pequeña, por lo que no se necesita de altas velocidades; c) Fuerza de corte, se analiza el tipo de material a cortar, el aserrín y la viruta al ser un material de textura suave no requiere aplicar mucha fuerza. Cabe señalar que, como resultado de este estudio, se ha determinado a la solución A como la ganadora.

Tabla 12

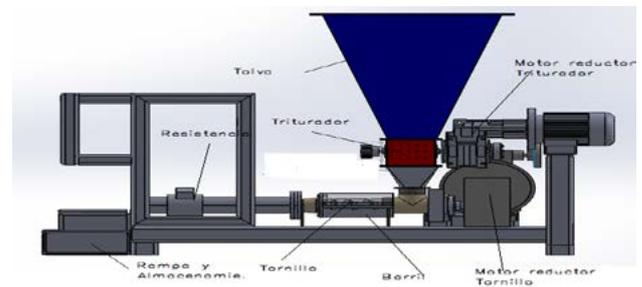
Tabla de conclusiones del módulo 5

Conclusiones	Fuerza de corte	Velocidad de corte	Método de corte	Σ	Prioridad
Solución A	0,218	0,133	0,093	0,445	1
Solución B	0,156	0,133	0,067	0,355	2
Solución C	0,093	0,067	0,04	0,200	3

Luego de analizar todos estos parámetros y las relaciones con los componentes, se obtiene un prototipo del diseño de la máquina briquetadora (Figura 4) como se muestra a continuación.

Figura 4

Prototipo de la máquina briquetadora

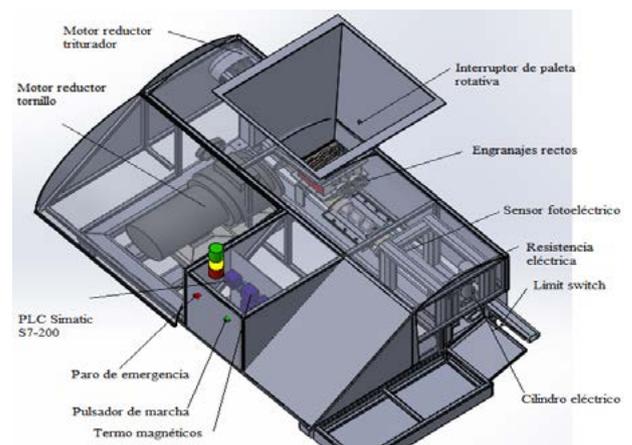


Resultados

Una vez que se ha definido como estará compuesta la máquina y se ha seleccionado los elementos eléctricos – electrónicos y de control, se procede a integrar cada una de las partes con el fin de formar un sistema completo a través de estos componentes, permitiendo así hablar de que se ha creado un sistema mecatrónico que ayuda a la formación de productos ecológicos como son las briquetas de biomasa de serrín y viruta. En la Figura 5, se muestra el diseño final de la máquina con todas sus partes mecánicas, eléctricas/ electrónicas y de control.

Figura 5

Prototipo de la máquina briquetadora



Una vez que se ha realizado la integración de las partes que constituyen la máquina briquetadora, se procede a la construcción de la Tabla 13, en ella se define los parámetros técnicos con lo que quedará especificada la máquina briquetadora.

Tabla 13

Parámetros técnicos de la máquina briquetadora

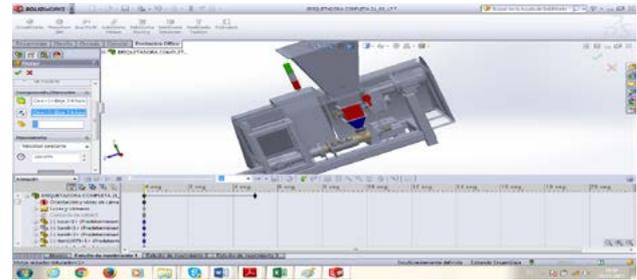
Parámetros técnicos de la máquina briquetadora		
No.	Descripción	Parámetro
1	Capacidad de producción	50 briquetas/h = 23kg/h
2	Diámetro de la briqueta	50 mm
3	Longitud de la briqueta	200mm (regulable para tamaños menores de hasta 50mm)
4	Material de las briquetas	Aserrín y viruta
5	Peso de la briqueta, Kg	0.46
6	Moto reductor del eje, KW	0.75
7	Velocidad de rotación del eje, rpm	100
8	Moto reductor del tornillo, KW	7,5
9	Velocidad de rotación del tornillo, rpm	14
10	Capacidad de almacenamiento de briquetas	28
11	Sistema de control	PLC Siemens S7-200
12	Sensor de nivel	Interruptor de paleta rotativa SITRANS LPS200
13	Sensor para detección de objetos	Sensor fotoeléctrico O6T200
14	Interruptor final de carrera	Limit switch L507
15	Actuador eléctrico	Actuador eléctrico de carrera corta Serie LZ
16	Temperatura máxima en la resistencia eléctrica	300 °C
17	Voltaje de alimentación	220v
18	Tamaño de la máquina	0.93*1.17*1.05 m
19	Peso de la máquina, Kg	700
20	Material estructural	Acero A36

Simulación del sistema mecánico

Con el fin de verificar la correcta implementación del sistema mecánico de la máquina, se procede a simular la parte mecánica del módulo de trituración a través del software SolidWorks y su herramienta SolidWorks Motion. En la Figura 6, se puede observar la flecha roja que indica la dirección de giro del motor, esta se encuentra en sentido horario y a una velocidad de 100 rpm.

Figura 6

Parámetros para el motor del eje



De la misma manera se conecta el motor que activara al tornillo de extrusión, se determina la relación entre el eje y la cara de la chumacera, la dirección de giro, las rpms calculadas a 14 rpms y el tiempo de simulación (Figura 7). Una vez definido estos parámetros se simulan el comportamiento del eje y del tornillo. En la Figura 8, se visualiza la ventana de parámetros que se han de llenar con el fin de conseguir la simulación de los motores pertenecientes a la máquina briquetadora.

Figura 7

Parámetros para el motor del tornillo

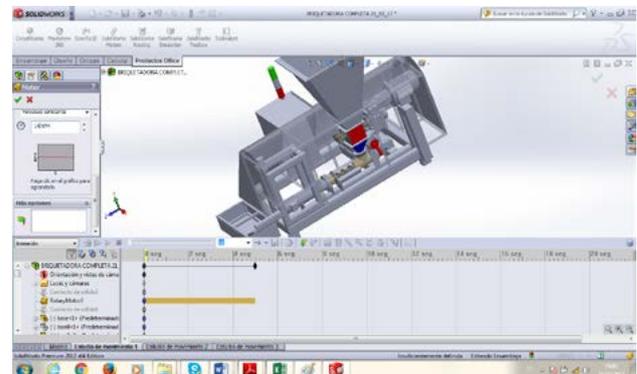
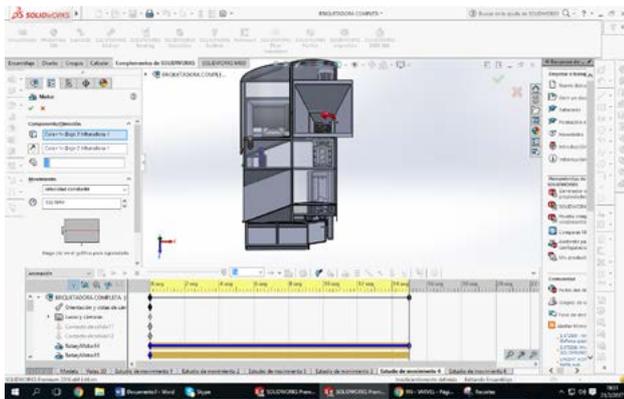


Figura 8

Simulación del movimiento del eje y tornillo

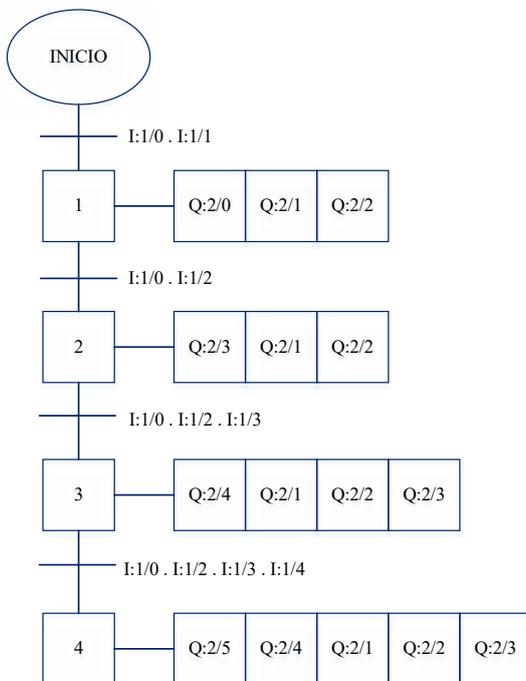


Programación del sistema de control

Para la simulación del sistema de control es necesario entender cómo se comporta el controlador lógico programable, para lo cual se ha diseñado un grafset (Figura 9), este método ayuda a describir la evolución del proceso a automatizar. Las acciones deben cumplir una condición para que pasen de una a otra etapa.

Figura 9

Grafset del PLC.



De forma breve se describe el comportamiento del PLC en condiciones normales.

Discusión

Para verificar la utilidad e importancia del diseño concurrente de la máquina briquetadora se realizó un cuadro comparativo de los beneficios en comparación con la fabricación artesanal de las briquetas. (véase Tabla 14).

Tabla 14

Cuadro comparativo

Indicador	Diseño concurrente	Fabricación artesanal
Recursos Humano	Menor personal	Mayor personal
Producción de briquetas	Mayor producción de briquetas	Menor producción de briqueta
Calidad de briquetas	Briquetas homogéneas	Diferentes tipos de briquetas
Optimización de tiempo	Tiempo reducido de producción	Tiempo prolongado de producción
Inversión corto plazo	Alto	Bajo
Inversión mediano plazo	Bajo	Bajo

Conclusiones

La implementación de la técnica del diseño concurrente en la máquina briquetadora, permitió integrar de forma simultánea todas las etapas y procesos que debe cumplir la máquina de briquetas, es así que se realizó el boceto de los módulos de recolección de materia prima y producto terminado, descarga, trituración, compactación y seccionador de la briqueta, todo integrado en un sistema mecatrónico, puesto que se analizó de manera conjunta todas los tramos que forman parte de la máquina, así también se definió las partes y funciones que integra cada una de las partes eléctricas- electrónicas y de control como es el sensor de papeleta rotativa SITRANS LPS200 para detectar el nivel de materia prima en la tolva, el sensor fotoeléctrico y el interruptor final de carrera Limit Switch L507, adicional se seleccionó el controlador lógico programable SIMATIC ST-200, el cual estará encargado de la operación de la máquina de acuerdo a las entradas y salidas programadas, todo esto con el fin de que la briquetadora pueda cumplir con la función de producir briquetas de biomasa de serrin y viruta.

Los parámetros de diseño de la máquina fueron establecidos a través de la implementación de la herramienta QFD (Despliegue de la Función de la Calidad), a través de esta herramienta se

establecieron los clientes potenciales tanto internos como externos que se verían beneficiados con la creación e implementación de la máquina, además de conocer las expectativas del cliente para finalmente diseñar el mecanismo en base a las necesidades requeridas por el cliente y el ingeniero disleador.

Se realizó la integración sistemática y simultánea del módulo de almacenamiento, trituración, compactación y corte a través del diseño de la máquina, así también se seleccionó los elementos y equipos que ayudaran a la automatización de la maquina a través del método de los criterios ponderados. La modelación y simulación de los sistemas y subsistemas de la máquina se han realizado a través de herramientas como SolidWorks, esta herramienta ha permitido realizar análisis estáticos para determinar los comportamientos de las piezas más críticas del diseño de detalle que facilitan entender el comportamiento de los sistemas o procesos. De igual manera se ha utilizado el software S7 PLCSIM, para entender el comportamiento del controlador lógico programable.

Se realizó la selección del sensor de paleta rotativa, infrarrojo y final de carrera, así como también el controlador lógico programable, responsable del control de todo el sistema. Una resistencia eléctrica tipo banda y un actuador eléctrico. Todos estos elementos fueron seleccionados en base a estándares de calidad y disponibilidad en el mercado con el fin de implementar un sistema de control automático de fácil implementación. Con esta selección de elementos y diseño estructural de los módulos de la maquina se pretende implementar la maquina a futuro para realizar un análisis económico y ambiental de los beneficios que puede traer reutilizar los desperdicios de remanentes de madera en beneficio de la reducción de la contaminación ambiental, además de demostrar que la calidad y tiempos de producción a través de la automatización son más competitivos en el mercado nacional e internacional.

Referencias bibliográficas

Álava, N. (2023). Diagnóstico de la generación de residuos de madera teca y aprovechamiento ambiental en el cantón el Empalme, provincia del Guayas [Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil] Repositorio <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/68072><https://>

repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6329701

Almache, C. A. (2020). Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo] Repositorio <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14309>.

Analuisa, D., & Hernández, E. (2018). Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal. [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo] Repositorio <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9206>

Caiza, E., Padilla M. & Rios G. (2020). El reciclaje de madera una herramienta para emprender y cuidar el planeta. *Innova Research Journal*, 5(1), 150-165.

Calles, J., & Rodriguez, E. (2022). Eficiencia en el uso del bagazo de café para la elaboración de briquetas y su uso como biocombustible [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo] Repositorio <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/65381>

Chávez, G. (2021). Determinación del rendimiento volumétrico de madera aserrada de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. del centro de acopio San Eloy, Rocafuerte [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí] Repositorio <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2990>

Cruz, F., & Vargas, J. (2020). Diseño de una máquina para la fabricación de briquetas de posos de café [Tesis de Pregrado, Fundación Universidad de América] Repositorio <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7902>

Cullispuma, J. (2021). Estado del arte de la matriz energética y análisis de la conveniencia del Programa Nacional de Biocombustibles para Ecuador [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador] Repositorio <http://www.dspace.uce.edu.ec/>

handle/25000/22713

- Díaz, A. (2020). Manejo sostenible del recurso forestal maderable en la empresa Maderas, Proyectos y Construcciones D&M S.A.C., en la ciudad de Yurimaguas [Tesis de Pregrado, Universidad Científica del Sur] Repositorio <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1370>
- Espinosa, C. (2016). Construcción de una máquina de briquetas de aserrín [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte] Repositorio <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7532>
- Ferreira, E. (2020). Estudio financiero; operación de ladrilleras de San Juan del Río con briquetas de biomasa [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro] Repositorio <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1943>
- Gallo, V. (2017). Aplicación del Diseño Concurrente a una Máquina Briquetadora [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo] Repositorio <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/7205>
- Garcés, M., Santamaria E., & Medina, L. (2023). La reactivación económica y el desarrollo sostenible en las MiPymes fabricantes de muebles de madera del cantón Ambato provincia de Tungurahua [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato] Repositorio <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37739>
- García, M. (2014). Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura] Repositorio <https://hdl.handle.net/11042/1829>
- Holt, J. & Tellez M. (2016). Aplicación de mobiliario diseñado a partir de materiales de desecho en propuestas de diseño de interiores. Jóvenes en la Ciencia, 2(1), 1-5.
- Jesús, I., Artigas, D., Concepción, A., Piñero, A., & Álvarez, A. (2020). Briquetas energeticas con aserrín y corteza de pino. Dialnet, 41(1), 1–6.
- López, D., & Oña, C. (2021). Diseño y construcción de una máquina templadora de chocolate [Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional] Repositorio <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21943>
- López, M. (2020). Sistematización de briquetas, sistematización del proceso para la fabricación de briquetas a base de pulpa y cascarilla del café [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Pereira] Repositorio <http://hdl.handle.net/10785/7132>
- Nazareno, L., & Schiff, D. S. (2021). The impact of automation and artificial intelligence on worker well-being. *Technology in Society*, 67 (1), 1-55-
- Quiceno, J. (2019). Diseño De Una Máquina Cnc Multifuncional [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma de Occidente] Repositorio <http://red.uao.edu.co/handle/10614/11308>
- Reátegui, L. (2019). Máquina briquetadora para la producción de briquetas de cascarilla de arroz en la Empresa Molinera Cumbasillo de Tarapoto [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36976>
- Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., & Paiva, S. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51–58.
- Solorzano, B. & Silva, C. (2015). Diseño y cálculo de una máquina para producir briquetas a partir de cascarilla de arroz [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Loja] Repositorio <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11838>
- Soliz, M., Durango J., Solano J. & Yépez M. (2020). Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador. Quito [Tesis de Pregrado, Universidad Andina Simón Bolívar] Repositorio <http://hdl.handle.net/10644/7773>