

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA UNA TRITURADORA DE ENDOCARPIO Y MESOCARPIO DE COCO

JEFERSON GEOVANNY MONTENEGRO PALLES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIAS
INGENIERIA MECATRÓNICA
PEREIRA
2015

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA UNA
TRITURADORA DE ENDOCARPIO Y MESOCARPIO DE COCO

JEFERSON GEOVANNY MONTENEGRO PALLES

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Mecatrónica

Ing. CRISTHIAN DANIEL MOLINA MACHADO
Director

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
MECATRÓNICA
PEREIRA
2015

Nota de aceptación:

Firma del jurado:

Firma del jurado:

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN..... | 11 |
| INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 3. OBJETIVOS..... | 16 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 16 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 4. MARCO REFERENCIAL..... | 17 |
| 4.1. MARCO HISTÓRICO..... | 17 |
| 4.2. MARCO CONTEXTUAL..... | 19 |
| 4.3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL..... | 19 |
| 4.3.1. Trituradoras..... | 19 |
| 4.3.2. Guía GEMMA..... | 21 |
| 4.3.3. Reglamento Técnico RETIE..... | 22 |
| 4.3.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)..... | 22 |
| 5. DISEÑO MECÁNICO..... | 24 |
| 5.1. TRITURADORA DE MARTILLOS..... | 24 |
| 5.2. PARTES PRINCIPALES DE LA TRITURADORA DE MARTILLOS..... | 26 |
| 5.2.1. Tolva de alimentación..... | 26 |
| 5.2.2. Tolva de descarga y bastidor..... | 27 |
| 5.2.3. Sistema de trituración..... | 28 |
| 5.3. PROCESO DE TRITURACIÓN..... | 31 |
| 5.3.1. Regulación..... | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6. | COMPONENTE ELÉCTRICO..... | 33 |
| 6.1. | INSTALACIONES ELÉCTRICAS..... | 33 |
| 6.1.1. | Estado actual | 33 |
| 6.1.2. | Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE..... | 34 |
| 6.2. | MOTOR | 36 |
| 7. | AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL..... | 38 |
| 7.1. | ESTADO ACTUAL DE LA TRITURADORA..... | 38 |
| 7.2. | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 39 |
| 7.3. | APLICACIÓN GUÍA GEMMA..... | 39 |
| 7.3.1. | GRAFCET | 40 |
| 8. | CONCLUSIONES | 44 |
| | BIBLIOGRAFIA | 45 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1 – Proceso de trituración | 20 |
| Figura 2 – Trituradora de martillos a automatizar | 24 |
| Figura 3 – Trituradora de martillos, vista isométrica. | 25 |
| Figura 4 – Tolva de alimentación, vista isométrica | 26 |
| Figura 5 – Tolva de descargue, vista isométrica..... | 27 |
| Figura 6 - Sistema de trituración, vista isométrica | 28 |
| Figura 7 – Rotor principal, vista isométrica | 29 |
| Figura 8 – Vista isométrica de un martillo y dimensiones | 29 |
| Figura 9 - Eje secundario, vista isométrica. | 30 |
| Figura 10 - Disco de soporte, vista isométrica. | 30 |
| Figura 11 – Diagrama de flujo de trituración. | 31 |
| Figura 12 – Sistema de sujeción de lámina de control de entrada, zoom vista dimétrica | 32 |
| Figura 13-Control del área de alimentación de la tolva..... | 32 |
| Figura 14-Criba, vista isométrica | 33 |
| Figura 15 – Código de colores para conductores. | 35 |
| Figura 16 – Par de arranque de motor..... | 36 |
| Figura 17 – Conexiones de motor..... | 37 |
| Figura 18 – Estructura modular del diseño estructurado de sistemas. | 39 |
| Figura 19 - Modos fundamentales de la guía GEMMA. | 40 |
| Figura 20 – Interfaz gráfica de AUTOMGEN. | 41 |
| Figura 21 – GRAFCET de automatismo. | 42 |
| Figura 22 - Panel de control del automatismo. | 43 |

RESUMEN

Se dan a conocer los diferentes procesos llevados a cabo para la realización del diseño del sistema de control y automatización para una trituradora de endocarpio y mesocarpio de coco, iniciando por una inspección mecánica y eléctrica de la máquina, para llegar a identificar los diferentes problemas que ésta presenta. Ya definidos los diferentes problemas, se plantean las soluciones a seguir para mejorar el funcionamiento y rendimiento del mecanismo, además de la seguridad frente al operario. Posteriormente, se modela la trituradora por medio de programa SolidWorks, logrando analizar su funcionamiento, para posteriormente diseñar el sistema de control y automatización siguiendo la guía GEMMA. Por medio de un GRAFCET y su simulación en el software AUTOMGEN, se logra plantear un sistema de automatización que cuenta con un sistema de arranque y parada, información de funcionamiento por medio de luces y paro de emergencia. Todo esto conlleva a mejorar el funcionamiento, producción y seguridad de la máquina.

ABSTRACT

Different processes carried out for the realization of the design of the control system and automation for a crusher of coconut endocarp and mesocarp are mentioned, starting with a mechanical and electrical inspection of the machine, to detect the different problems it presents. Already defined the different problems, solutions to improve the functioning and operation of the mechanism are referred, besides the operator safety. Later, the crusher is modeled by SolidWorks program, achieving analyze their performance, to subsequently design the system for control and automation following the GEMMA guide. Through a GRAFCET and the simulation in AUTOMGEN software, it is possible to raise an automation system that has a start-stop, operating information through lights and emergency stop system. All this leads to improved running, production and machine safety.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y el desarrollo industrial basado en la utilización de energía de fuentes fósiles, ha generado en el medio ambiente un gran impacto a su equilibrio y desencadenado condiciones de deterioro que afectan las condiciones del clima y el hábitat.

Mundo Verde y Saludable S.A.S. (MV&S) y La Fundación Reserva Natural Orquídeas del Tolima; se conciben con el objetivo de generar estrategias que conduzcan a una política amplia protección del medio ambiente, por medio de la conservación de la flora nacional. La empresa ha optado por un medio de cultivo limpio, el sustrato de coco a partir de la fibra de la Fibra de Coco seco (*Cocos nucifera*), para lo cual envió a diseñar y fabricar una máquina trituradora para desfibrar y triturar el endocarpio y el mesocarpio del coco.

La máquina fabricada cuenta con problemas respecto al cumplimiento de la guía GEMMA y la norma RETIE, lo cual se ve reflejado en el nivel de seguridad para el operario, debido a una inadecuada conexión eléctrica, y otros factores de diseño. También, el proceso es poco eficiente, para lo cual se diseñará un sistema de control y automatización, siendo éste ilustrado por medio de simulaciones en software Automgen.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todas las riquezas de la naturaleza requieren de todos nuestros esfuerzos e iniciativas que contribuyan a su conservación, pues la humanidad ha generado gran cantidad de afectaciones y desequilibrios de ésta.

Mundo Verde y Saludable S.A.S. (MV&S), empresa asociada a la Fundación y Reserva Natural Orquídeas del Tolima, ubicada en la ciudad de Ibagué; tienen como objetivo, el cultivo y protección de variedad de plantas, destacándose entre ellas, las orquídeas. Este tipo de plantas dependen del sustrato de coco para el cultivo limpio de las mismas. En MV&S, el proceso de producción de este sustrato, se lleva cabo en primera instancia con el desmechado del mesocarpio¹, donde se obtienen pequeñas fibras, que luego se mezclan con el triturado del endocarpio².

La compra de este producto en almacenes nacionales es efectuada por [Kg] y es relativamente económico. Con la demanda nace la necesidad de adquirir más producto involucrando mayor inversión. Tras ésta situación, MV&S pensó en la adquisición de una máquina capaz de triturar el endocarpio y mesocarpio de coco, para así reducir los gastos en compra del sustrato, previendo además la posibilidad de su comercialización.

Luego de un análisis informativo acerca de empresas dedicadas a la comercialización de máquinas para tales aplicaciones, dentro del país no se encontró alguna; por fuera del país, se encontraron una empresa China llamada Shibang Minería y Construcción SAC[1], con distribución en Perú, donde las máquinas ofertadas son en general para triturado de minerales; otra empresa mexicana, Solimaq S.A.[2], que en sí ofrece innovación en reciclaje, y en la página de Alibaba Group[3], consorcio dedicado al comercio electrónico y otros, se puede encontrar en venta varias máquinas con la específica aplicación. Al ver que la compra externa del prototipo sería algo complicado, MV&S optó por enviar a construir en un pequeño negocio de mecanizados ubicado en Santa Rosa de Cabal – Risaralda, una máquina que se ajustara a la necesidad, también con la intención de apoyar el talento local y apoyar lo propio de la región.

Para la construcción de la máquina se tuvieron en cuenta aspectos de diseño enfocados solo en problema mecánico, donde las principales variables consideradas fueron: 1. El tipo de aleación para las aspas encargadas de llevar el proceso, 2. El calibre de la lámina para su construcción y 3. La generación de

¹ Mesocarpio: Parte fibrosa del coco.

² Endocarpio: Casco o parte dura del coco.

movimiento. Para el último ítem del diseño, se decidió utilizar un motor eléctrico AC con alimentación directa a 220V y este fue adaptado a una correa de transmisión de potencia.

Aunque el funcionamiento del prototipo cumple con el objetivo de manufactura, su diseño está lejos de ser el adecuado para la empresa, debido a que la máquina no cumple con normas de seguridad y automatización tales como la norma GEMMA y el RETIE; requisitos fundamentales en procesos de manufactura. Además del problema anterior, el arranque del motor debe ser realizado de forma manual, lo que genera riesgos al operario y reduce la vida útil del dispositivo. Otro inconveniente, es que el diseño aplica la misma potencia sin importar el material a incorporar, generando pérdidas y un producto de baja calidad.

Los problemas nombrados anteriormente hacen pensar en la necesidad de mejorar el funcionamiento de la máquina, diseñando un sistema de control e instrumentación, que permita al sistema triturar el mesocarpio y endocarpio de coco aumentando el rendimiento de la máquina y garantizando la seguridad del proceso.

2. JUSTIFICACIÓN

Para la empresa M.V&S, es muy importante la producción limpia y autoabastecimiento en sus procesos industriales y de manufactura, fortaleciendo así el apoyo a los productores y pequeños empresarios de la región; evitando el consumo en los mercados internacionales, con lo cual se genera crecimiento de la propia economía. Con el fin de optimizar procesos y fortalecer las políticas verdes de la empresa, se ha pensado en un sistema automático que pueda realizar el proceso de triturado del mesocarpio para la obtención de viruta y trituración del endocarpio, para obtener trozos más pequeños, que son utilizados como sustrato en el cultivo de variedad de plantas y en especial de la orquídeas, siendo éste una alternativa de agricultura limpia.

El no tener una máquina especializada en el proceso de triturado de mesocarpio y endocarpio de coco, se desperdiciaba mucha cantidad de materia prima, pues en muchas ocasiones se utilizaron fracciones grandes de éste material al utilizar procesos manuales de desfibrado y triturado, lo cual tampoco permitía aprovechar todas las propiedades de éste medio de cultivo. Otra opción, fue comprar el sustrato ya listo en almacenes de cadena como Homecenter, pero esta solución involucra una mayor inversión económica.

Aunque de inicio, se consideró la idea de adquirir el sistema ya fabricado, fue difícil encontrar una distribuidora dedicada a ello dentro del país. Las opciones extranjeras como Solimaq S.A., Henan Guangda Textile Imp & Exp Co., Sibang Minería y Construcción SAC, no se tomaron en cuenta por los grandes gastos que se generaban en mantenimiento, capacitación de operarios y capacidad de fabricación, que excede las necesidades actuales de la compañía. Considerando además que estas trituradoras son especialmente diseñadas para productos mineros, envases de plástico, etc.; este factor genera gran desconfianza para un funcionamiento óptimo en la planta.

Debido a los factores anteriores y en su buena intención de apoyar el emprendimiento de la región, se toma la decisión de pensar en un diseño y construcción local, con el fin de obtener un prototipo de máquina. Con lo anterior, se evidencia una gran oportunidad de realizar un ajuste al diseño de la máquina, implementando un sistema de control e instrumentación, que permita un mejor funcionamiento del sistema, garantizando una mejor producción y mayor seguridad de los operarios, además de contribuir a la minimización del consumo energético.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de control y automatización de una máquina trituradora de endocarpio y mesocarpio de coco, para así optimizar el proceso y mejorar condiciones de seguridad.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado actual de la máquina, con el fin de obtener los requerimientos necesarios para un posterior diseño.
- Diseñar el sistema de automatización, basado en los requerimientos obtenidos en el primer objetivo y la normatividad existente en este tipo de trabajos.
- Simular en Automgen, el diseño funcional del sistema de automatización.
- Validar el funcionamiento de la máquina diseñada.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO HISTÓRICO

Desde la aparición de la trituradora de aire comprimido y a base de electricidad en el siglo XIX [4], ésta se ha convertido en un mecanismo esencial para varios procesos industriales.

Hoy día muchas empresas ya cuentan con máquinas que funcionan en base a sistemas eléctricos, mecánicos y de control mucho más avanzados, fortaleciendo la productividad y brindando mayor eficiencia. En los desarrollos en cuanto a las diferentes trituradoras actuales tenemos: la PF Trituradora de Impacto, la cual puede triturar materiales cuyo tamaño sea de 500 mm y la resistencia a la compresión menos de 3600 MPa; tiene amplias aplicaciones industriales, como química, metalurgia, carreteras, puentes y fabricación de arena. Cuenta con alta eficiencia y larga vida útil, siendo de estructura fuerte y funcionamiento constante; su desmontaje y mantenimiento es fácil. Se suele utilizar como trituradora secundaria y se adapta también para triturar minerales y rocas medias y blandas. De acuerdo al modelo, su capacidad oscila entre las 50 y 260 t/h, y su potencia entre los 4 y 200 kW. [5]

La empresa Shibang Minería y Construcción SAC, entre sus varios productos de triturado ofrece la Trituradora de Cono Hidráulica HPC, la cual es usada en minería, fabricación de concreto, fabricación de piedras de arena, etc. Esta serie cuenta con alta eficiencia y equipamiento de presión hidráulica, adoptando tres equipamientos de protección para aceiteras, aceiteras bloqueadas y aceiteras de dirección hidráulica; éstas, además de proteger la máquina, se ocupan de los problemas sin desensamblar partes. El equipo también puede ajustar el tamaño final de la pieza, aunque esta maquinaria con alta dependencia se debe operar con muchos recursos. De acuerdo al modelo, maneja capacidades entre 120 y 430 t/h, y potencia de 160 a 400 kW. [6]

La serie ENM, fue diseñada para reducir todo tipo de desperdicio de plástico, contenedores, en bloques sólidos de gran tamaño, siendo de alta producción. Funciona en base a un sistema hidráulico, los productos triturados son de excelente calidad, tiene alta producción y bajo consumo de energía. Tiene un diseño compacto y su tolva fue diseñada para evitar que salgan volando fragmentos. De acuerdo al modelo, maneja potencias entre 50 y 120 hp. [7]

En referencia a investigación, se encuentran informes como “Trituradora de rodillos con variadores de velocidad DC”, donde habla acerca de una de las dos más grandes trituradoras de rodillo en el mundo, la cual ha estado funcionando en Cibinong, Indonesia desde junio de 1992; donde es utilizada en el proceso de trituración de Clinker³, para la obtención del cemento. El sistema superpuesto de control distribuido sólo permite la operación de las señales de mando para la velocidad, e iniciar y detener funciones, así como la recepción de señales de retroalimentación analógica; y el control de la transmisión se lleva a cabo por medio de un PLC (Controlador Lógico Programable). La unidad cuenta con una capacidad nominal de 225 mT Max/h, y una potencia de 1000 kW, logrando el 90% de eficiencia. [8]

Diseño de un sistema de control difuso para trituradora de residuos de caucho basado en control feedforward⁴ y feedback⁵, donde habla sobre el principio básico, características y métodos de diseño de control feedforward y feedback, mediante el análisis del funcionamiento de una máquina trituradora de caucho de desecho, eligiendo un sistema de control adecuado para sus características de trabajo. El hardware a partir del microcontrolador AT89C51 y el software con base a la teoría de control difuso están diseñados. Este sistema de control, al ser utilizado en la línea de producción alcanza buenos resultados. [9]

Modelado y simulación de una trituradora de rodillos de alta presión para la fabricación de carburo de silicio, donde se hace el estudio para el diseño y simulación de una trituradora de rodillos de alta presión, la cual es importante en la producción de carburo de silicio, donde los granos se trituran en forma de polvo y luego se tamizan en tamaños especificados en base a su uso. Se presenta un trabajo basado en la teoría de Johanson, para compactadores de rodillos, teniendo en cuenta todos los retrasos; la no linealidad o retrasos son manejados por medio del software Matlab. [10]

En la Universidad Industrial de Santander (UIS), se llevó a cabo el desarrollo del proyecto de grado “Diseño y montaje de una máquina trituradora de eje horizontal para el centro recreacional Catay”, enfatizada en el aprovechamiento de los restos vegetales. La selección se hizo empleando herramientas o técnicas, como el Despliegue de la Función de Calidad. Ésta

³ Clinker: Caliza cocina, la principal materia prima de la que se obtiene el cemento.

⁴ Feedforward: Pre alimentación, sistema que funciona a los cambios en su entorno.

⁵ Feedback: Realimentación, control por medio del cual una porción de salida se dirige a la entrada.

máquina fue adaptable al tractor MITSUBISHI D 2300 FD, y puesta en marcha con un sistema hidráulico. [11]

4.2. MARCO CONTEXTUAL

Pereira, Risaralda. Vereda El Manzano, lugar donde se encuentra la máquina trituradora. La desarrollo e implementación, se llevará a cabo en la Universidad Tecnológica de Pereira, en el programa de Ingeniería Mecatrónica.

4.3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

4.3.1. Trituradoras

Las trituradoras son empleadas en la ruptura de grandes trozos de producto o materia prima, mediante compresión. En la industria se pueden encontrar algunos de los siguientes tipos de trituradora [12]:

- TRITURADORAS DE MANDÍBULAS: Utilizadas en la fragmentación primaria de rocas muy duras o de adiciones abrasivas. El movimiento de vaivén que se imprime a la mandíbula trituradora con doble palanca acodada, ejerce principalmente un esfuerzo de descompresión sobre el material.
- TRITURADORAS GIRATORIAS: La reducción de tamaño se realiza, principalmente, por el esfuerzo de compresión que se ejerce entre un anillo cónico, fijo, y una pieza también cónica, que oscila al interior del anillo obrando tal como una mano de mortero.
- TRITURADORAS DE IMPACTO: El material de alimentación, al pasar a la cámara de quebrantamiento, se encuentra con un rotor provisto de barras de choques fijas, girando a una velocidad tangencial de 30-40 m/s.
- TRITURADORAS DE MARTILLO: Cuando el rotor está en marcha, los martillos, por acción de la fuerza centrípeta se proyectan hacia adelante, en sentido radial. En la cámara de trituración superior el material se somete al esfuerzo combinado de percusión e impacto por parte de los martillos.

4.3.1.1. Trituradora de Martillos

Una trituradora de martillos está compuesta principalmente por un rotor central o los brazos que sobresalen de la circunferencia del rotor, todo montando en un alojamiento cilíndrico; además, una trituradora de martillos se puede clasificar como horizontal o vertical, de acuerdo a la orientación de su rotor. Los martillos pueden estar fijos o con giro libre. En el caso de la máquina a automatizar y mostrada en la figura 1, se trata de una trituradora horizontal.

La materia prima es introducida a través de la parte superior de la tolva (1). Al entrar en la trituradora de martillos, el material es golpeado por los martillos, los cuales se mueven con tal velocidad que la mayor parte de la reducción de tamaño es llevada a cabo por el impacto inicial. En la parte inferior e interna de la carcasa que sostiene el molino, se encuentra ubicada la criba, una especie de rejilla que permite el paso de las partículas ya reducidas; el material que aún no se ha reducido lo suficiente para pasar por los agujeros de la criba permanecen en el proceso de triturado hasta que se reducen lo suficiente.[13]

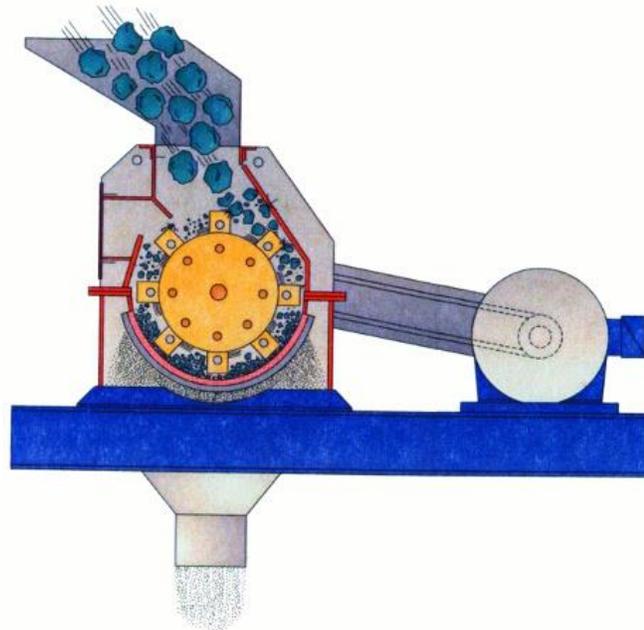


Figura 1 – Proceso de trituración
Fuente: <http://www.hammermills.com/>

4.3.2. Guía GEMMA

En la automatización de una máquina o un proceso industrial es necesario prever todos los estados posibles, como funcionamiento manual, funcionamiento semiautomático, situaciones de fallo, paradas de emergencia y paradas en marcha.

La guía GEMMA (Guía de Estudio de los Modos de Marcha y Paro) procede de los de los trabajos llevados a cabo durante dos años por la Agencia Nacional Francesa para el Desarrollo de la Producción aplicada a la Industria (ADEPA, 1981). Ésta se concibe para que esté en consonancia con las normas de seguridad de la Unión Europea. GEMMA pretende dar cabida a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado junto al funcionamiento deteriorado ante anomalías, e incluso el tratamiento de situaciones de emergencia en previsión de posibles daños humanos o materiales. [14]

Guía para aplicar GEMMA a automatización

- **Paso 1:** Determinar los aspectos generales del proceso y generar el Grafcet de producción normal. (Grafcet funcional del estado de producción normal).
- **Paso 2:** Determinar los captadores (sensores) y actuadores (accionamientos) adecuados.
- **Paso 3:** Grafcet tecnológico del estado de producción normal.
- **Paso 4:** Estudiar qué estados de GEMMA son necesarios en la automatización. Estados típicos que aparecen en cualquier sistema: Parada, parada de emergencia, producción o funcionamiento normal, etc.
- **Paso 5:** Definir las condiciones de evolución entre los diferentes estados.
- **Paso 6:** Definir el pupitre de control (operador). Pulsadores con el rótulo de las acciones asociadas, pilotos.
- **Paso 7:** Preparar el Grafcet final.
- **Paso 8:** Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación.
- **Paso 9:** Programación.
- **Paso 10:** Pruebas antes de la instalación.
- **Paso 11:** Instalación, puesta a punto y pruebas.

4.3.3. Reglamento Técnico RETIE

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, del Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Reglamento ligado a 6 resoluciones y fundamentada en 44 artículos, que tiene por objetivos la protección de la salud y la vida humana, protección de la vida animal y vegetal, protección del medio ambiente, prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario y seguridad nacional. [15]

En el RETIE se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, para esto se han recopilado los preceptos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad. [16]

El objeto principal del reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente: previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.

Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento: la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.

Igualmente, es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los objetivos ya mencionados.

4.3.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Un controlador lógico programable, es un equipo electrónico, utilizado para control de secuencias lógicas de control automático, principalmente para máquinas, basado en técnicas digitales con microprocesador y microcomputador, inicialmente solo con entradas a salidas binarias (dos estados: "0" y "1" = 24 v); con un circuito parecido a una computadora en su

interior, pero forzado a ser similar a una lógica de: relevadores de control, formado de contactos N.A. y N.C., suficientes contactos para formar las combinaciones lógica AND (serie), OR (paralelo); relevadores de retardo de tiempo, o temporizadores, o Timers; contactores. [17]

Los PLCs tienen la gran ventaja de que el mismo controlador básico puede ser usado con una amplia gama de sistemas de control. Para modificar un sistema de control y las normas que se van a utilizar, todo lo necesario es un operador para teclear un conjunto de diferentes instrucciones. No hay necesidad de volver a cablear. El resultado es un sistema flexible y rentable que puede ser utilizado con sistemas de control, lo cuales pueden variar ampliamente en su naturaleza y complejidad. [18]

Procedimiento de arranque en los PLC

El procedimiento de arranque se debe usar siempre que un sistema se haya instalado y se hagan cambios en el software y hardware, se debe usar en cualquier momento que se aplique la localización de fallas. Para un PLC aplicado en el control de procesos industriales, un procedimiento de arranque en operación consiste en lo siguiente: inspección del sistema, incapacitar el movimiento que producen los dispositivos de salida, verificación del programa, localización de fallas en los módulos y dispositivos de entrada y de salida, y prueba del sistema. [19]

5. DISEÑO MECÁNICO

5.1. TRITURADORA DE MARTILLOS

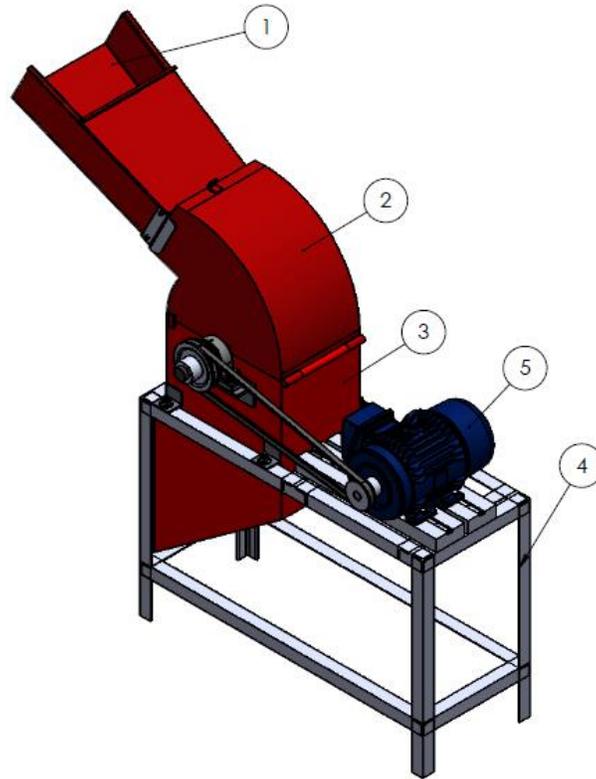
En la figura 2 se muestra una vista lateral de la máquina trituradora de martillos, la cual se utiliza en el proceso de trituración de endocarpio y mesocarpio de coco, para uso como sustrato en el cultivo de diferentes orquídeas.

La máquina, casi en su totalidad está fabricada con platina acerada, y cubierta en su totalidad con anticorrosivo y finalmente esmaltada, para así evitar su rápido deterioro debido a la oxidación del metal. A partir de este diseño, se hace un modelado 3D en el software CAD para modelado mecánico, SolidWorks. Gracias a las diferentes aplicaciones y herramientas que ofrece éste especializado programa, se logra construir pieza a pieza de la trituradora, la cual cuenta con aproximadamente 32 partes, estandarizadas con el sistema métrico decimal; algunas de las piezas, como tornillos y tuercas, fueron obtenidas del Toolbox de la biblioteca de diseño del programa, y el motor es un diseño por defecto.



Figura 2 – Trituradora de martillos a automatizar

Luego de diseñada cada pieza, se logró finalmente un ensamble de todo el sistema mecánico, el cual es ilustrado en la figura 3, donde se logra observar con más detalle las diferentes características de la máquina.



*Figura 3 – Trituradora de martillos, vista isométrica.
Fuente: Autor*

El equipo a automatizar, tiene un campo de trabajo entre la trituración y la molienda, para lo cual debe cumplir con diferentes características de diseño, dentro de las cuales el material utilizado es de gran importancia (en el siguiente ítem se detalla más sobre el material). Para el óptimo funcionamiento del mecanismo, éste cuenta con un rotor de martillos móviles, los cuales durante el proceso de trituración giran entre 3000 y 3400 rpm, ocasionando un fuerte impacto con el material, que en este caso es el endocarpio y mesocarpio de coco, el cual sufre una ruptura y es reducido en tamaño. Entre el rotor de martillos y tolva de descarga está instalada una criba, la cual tiene un paso calibrado, cumpliendo la función de selector de tamaño de cada partícula que ha sido sometida al proceso.

La movilidad de las mazas es el fundamento para el proceso de trituración, las cuales deben ser de mayor dureza que el material a triturar, así este pasa de ser un elemento de gran tamaño a uno ya reducido. Además, cada martillo está instalado separado uno de otro, por medio de un anillo separador, y no está fijo en su eje; esta libertad de oscilación de cada pieza, hace que sufra menos desgaste al chocar contra el material a descomponer.

5.2. PARTES PRINCIPALES DE LA TRITURADORA DE MARTILLOS

5.2.1. Tolva de alimentación.

La tolva tiene un diseño rectangular, donde la parte frontal presenta un mayor tamaño en referencia a la parte posterior, que es por donde pasa la materia prima hacia la cámara de trituración. En la figura 4, se puede observar el modelado de la tolva presente en la máquina real. La pieza está elaborada a partir de laminada acerada de 3.2 mm de espesor, la cual, además está esmaltada con anticorrosivo y esmalte para prevenir su oxidación y corrosión.

La instalación de la tolva de alimentación se hace directamente con el bastidor superior del sistema de trituración, y su principal característica es la inclinación, la cual debe ser adecuada para que el material a triturar deslice hacia el proceso sin problema y a una rapidez media.

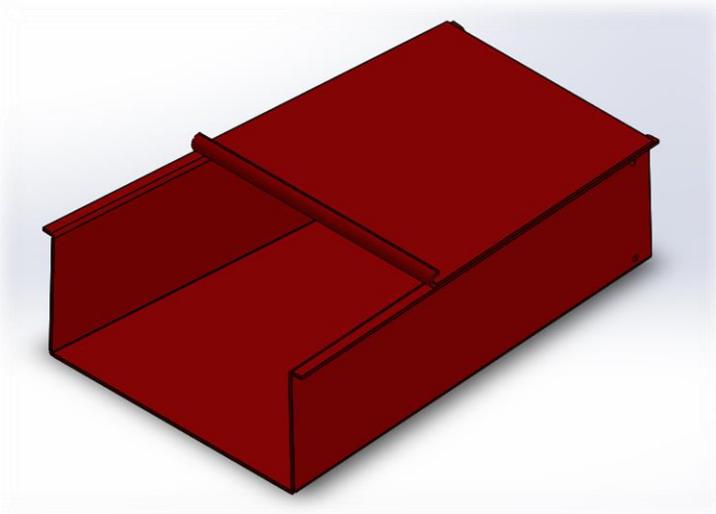


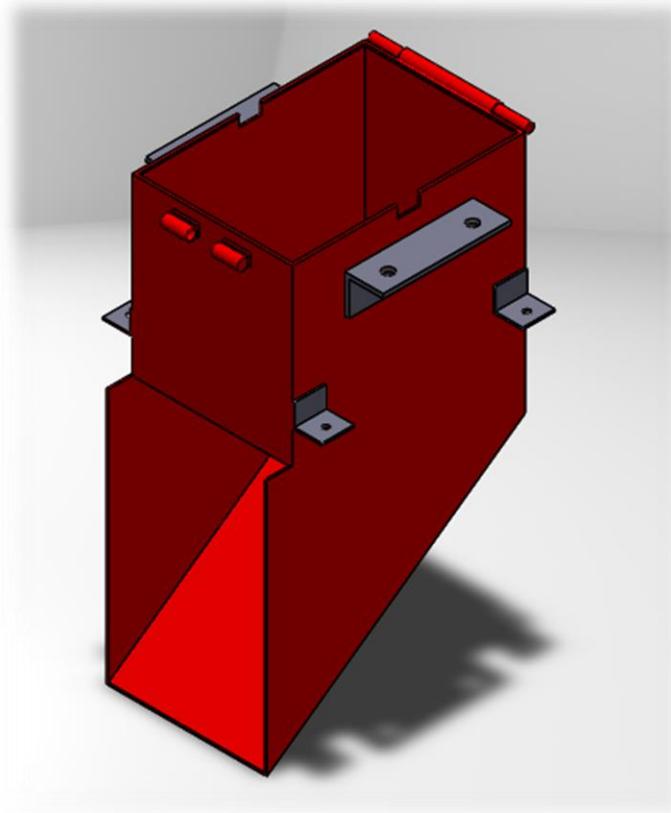
Figura 4 – Tolva de alimentación, vista isométrica

Fuente: Autor

5.2.2. Tolva de descarga y bastidor.

La figura 5 muestra la tolva de descarga y la parte inferior del bastidor, las cuales el fabricante las diseñó como un solo componente. Esta pieza está construida con platina de acero, con un espesor de 4.8 mm, siendo un material más espeso que el anterior, debido a que, como se muestra en la ilustración, lleva unos perfiles base, que van soldados. Los perfiles pequeños de la parte inferior, por medio de tornillos sirven como sujeción de la pieza a la estructura general que soporta todo el sistema de trituración (*ver (4) de la figura 3*); y los perfiles superiores tienen la función de alojar el sistema de trituración, la criba y las chumaceras principalmente.

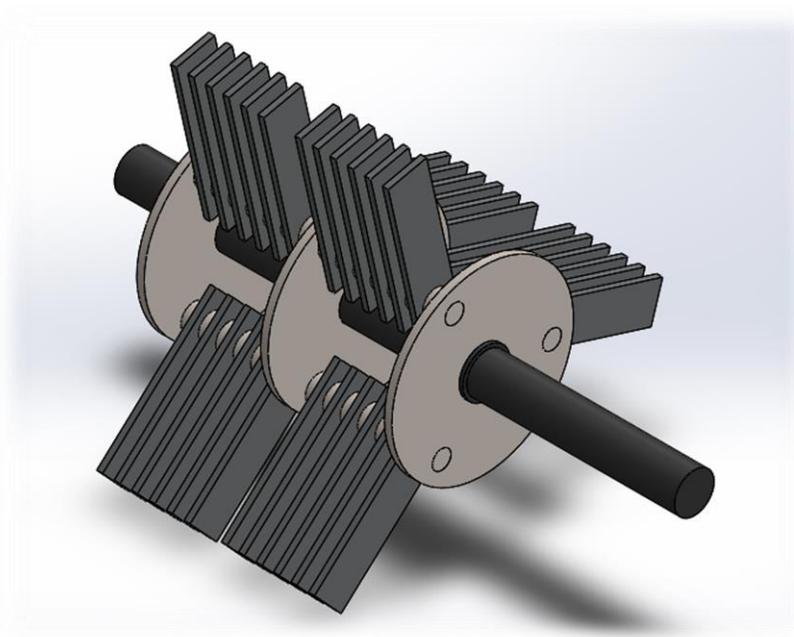
La sección que forma la parte de la tolva de descarga (parte inferior), presenta una inclinación, siendo de ayuda para el fácil deslizamiento del material ya triturado; aunque, gracias a la fuerza centrífuga generada por la rotación de los martillos, se genera una corriente de aire que también le ayuda al material a ser expulsado sin dificultad. La pieza en general también está recubierta por anticorrosivo y esmalte.



*Figura 5 – Tolva de descargue, vista isométrica
Fuente: Autor*

5.2.3. Sistema de trituración.

El sistema de trituración hace referencia al ensamble de varios componentes (eje principal, ejes secundarios, discos de soporte, martillos y separadores), que junto a la fuerza centrífuga generada por su rotación, llevan a cabo el proceso de desintegración de algún tipo de material. En la figura 6, se puede observar el ensamble del sistema de trituración de la trituradora de endocarpio y mesocarpio de coco. [20]



*Figura 6 - Sistema de trituración, vista isométrica
Fuente: Autor*

5.2.3.1. Eje principal

El eje principal de la figura 7 es fabricado en acero AISI 1040, con un diámetro de 32 mm y una longitud de 450 mm. Dentro del sistema de trituración, debe soportar las fuerzas flexionantes por la presencia de la polea del sistema de transmisión, las fuerzas del sistema de transmisión, las reacciones de los apoyos, además soporta el torque del motor.

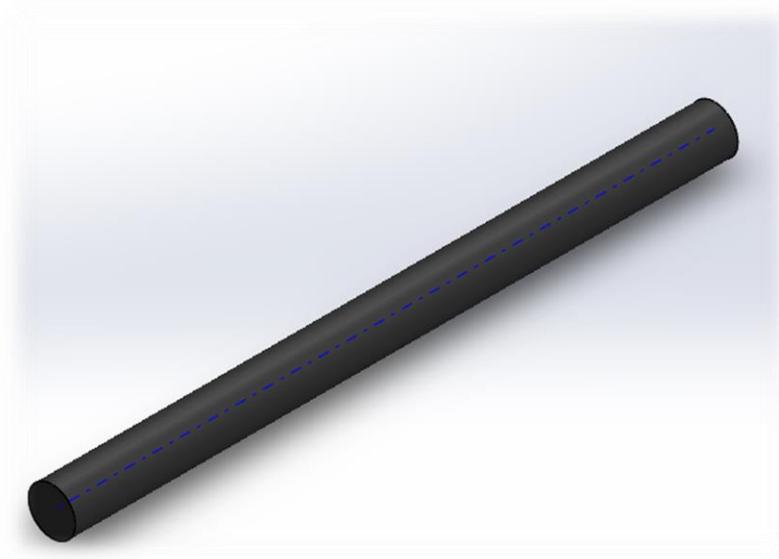


Figura 7 – Rotor principal, vista isométrica
Fuente: Autor

5.2.3.2. Martillos

Los martillos son los componentes más importantes dentro del sistema del sistema de trituración, puesto que son los encargados de realizar el impacto durante su giro al material a triturar. El sistema está compuesto por un total de 36 martillos, diseñados en platina de acero ASTM A36, de 4.8 mm de espesor, los cuales se reparten en 3 ejes secundarios y son soportados por 3 discos de soporte. Cada martillo (ver figura 9), está instalado en los ejes secundarios, no están fijos y están separados por unos separadores del mismo material.

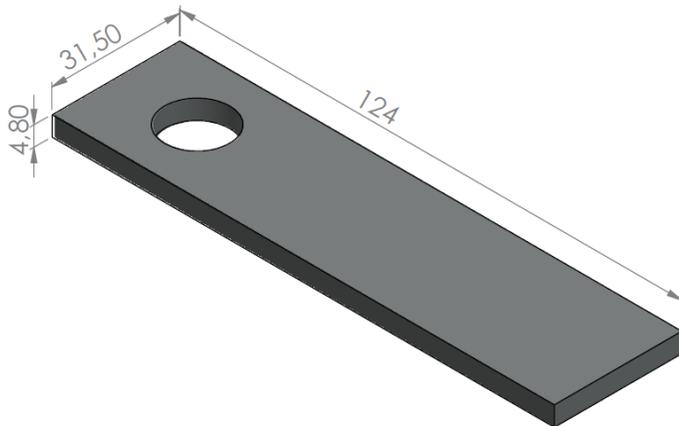
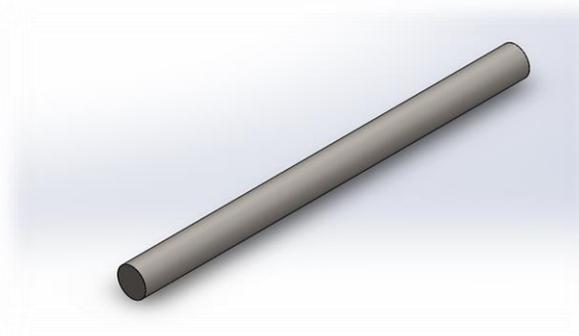


Figura 8 – Vista isométrica de un martillo y dimensiones
Fuente: Autor

5.2.3.3. Eje secundario

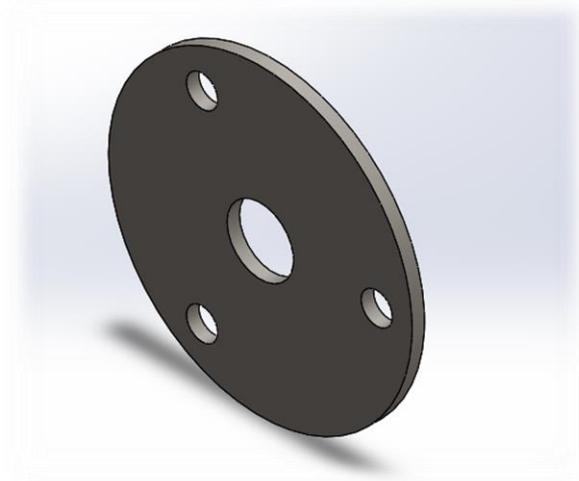
Dentro del sistema de trituración se encuentran 3 ejes secundarios al eje de giro principal, los cuales soportan 12 martillos y 14 separadores cada uno; cada eje está soportando en cada extremo y en el medio por un disco de soporte. En la figura 9, se muestra el modelado del eje, el cual está fabricado en acero AISI 1040, con un diámetro de 15 mm.



*Figura 9 - Eje secundario, vista isométrica.
Fuente: Autor.*

5.2.3.4. Discos de soporte

Los soportes, fabricados con platina de acero ASTM A36 de espesor 6 mm, se muestran en la figura 10. Estos sirven de soporte a los 3 ejes secundarios. En el sistema se encuentran 3 discos de soporte, que están soldados al eje principal, y posicionados a una distancia de 94 mm.



*Figura 10 - Disco de soporte, vista isométrica.
Fuente: Autor.*

5.3. PROCESO DE TRITURACIÓN

El proceso de trituración maneja un principio de funcionamiento fácil de entender. Este inicia en la parte superior de la tolva de alimentación, ingresando por ahí la materia prima a triturar; por acción de la gravedad ésta cae al interior de la cámara de desintegración. En ésta cámara, el eje principal está girando a gran velocidad y por acción de la fuerza centrífuga, los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trajo, golpeando el producto que ha caído al interior. Luego el material choca contra las paredes de la cámara de trituración y nuevamente es impactado por los martillos; este proceso se da de manera sucesiva hasta que el producto alcance un tamaño de manera tal que pueda pasar por las perforaciones de la criba. Dentro de la cámara, también se genera corriente de aire, por la misma fuerza centrífuga, la cual ayuda al material ya triturado salir con cierta fuerza por la cámara de descarga. [21]

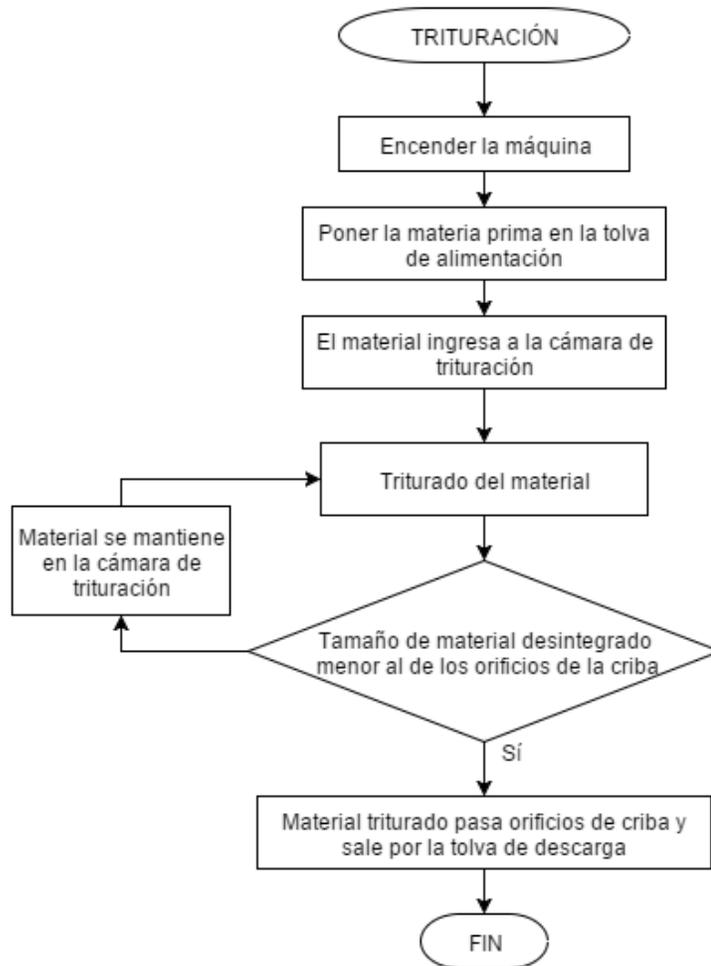


Figura 11 – Diagrama de flujo de trituración.
Fuente: Autor.

5.3.1. Regulación.

Para el material de ingreso, justo en la parte superior de la tolva de alimentación (ver figura 11 y 12) tiene una cavidad donde se puede incrustar una placa de hierro, la cual ayuda a variar el área de cavidad por donde la materia prima ingresa a la cámara de trituración. Dicha lámina, presenta diferentes perforaciones, en forma de línea vertical, que son de ayuda para poder sostenerse.

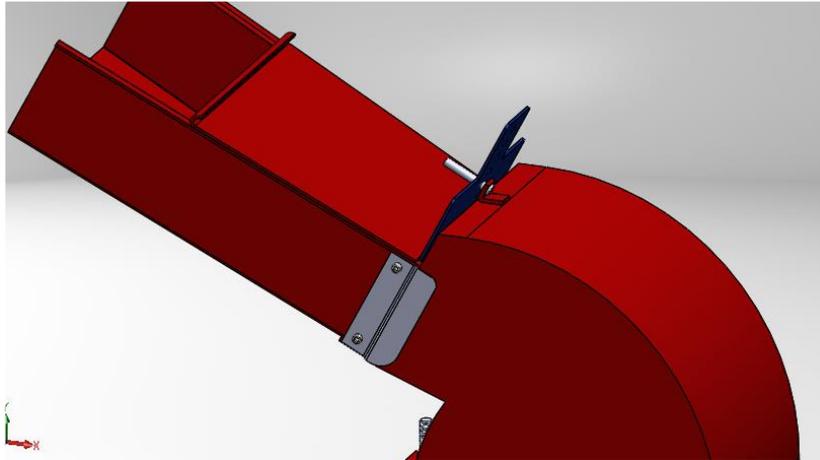


Figura 12 – Sistema de sujeción de lámina de control de entrada, zoom vista dimétrica
Fuente: Autor

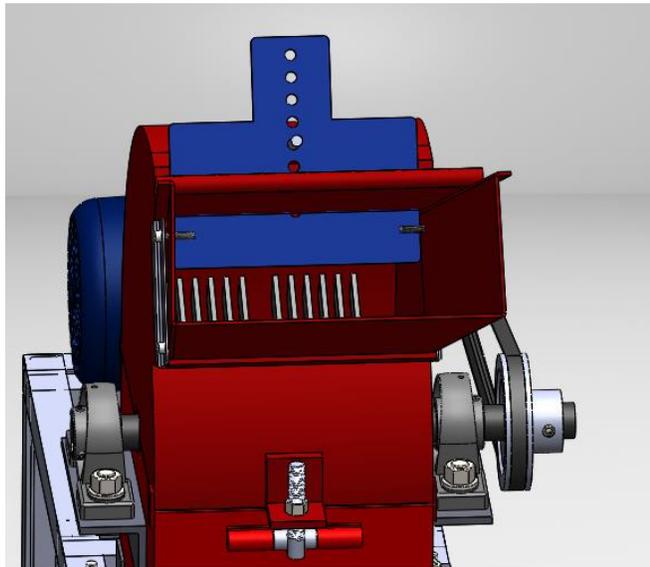


Figura 13-Control del área de alimentación de la tolva
Fuente: Autor

La regulación para el material que debe ser expulsado por la tolva de descarga es llevada a cabo por una criba de hierro de 3.2 mm de grosor y perforaciones de 24 mm y 12 mm (ver figura 14), la cual es instalada justo bajo los martillos. Ésta permite que el material, luego de recibir el impacto y ser procesado, pueda ser filtrado por las perforaciones; el material que no logra expulsarse continua en el cámara de trituración, donde sigue siendo impactado y reducido en tamaño hasta lograr sobrepasar.

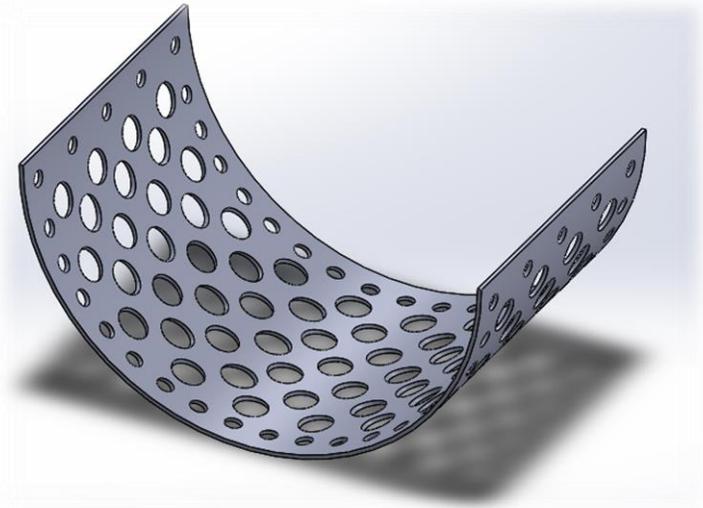


Figura 14-Criba, vista isométrica
Fuente: Autor

6. COMPONENTE ELÉCTRICO

6.1. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

6.1.1. Estado actual

- El motor cuenta con una alimentación de 220 V AC.
- Desde el medidor se toman dos fases de 120 V, las cuales están con cables blancos cada una, de calibre 10 AWG para 600 V.
- En el punto próximo al motor hay como accionamiento, interruptor y modo de seguridad un breaker magnético bipolar, con manejo de voltajes de 120-240 V y 10 kA en cada polo.

- Los cables no cuentan con canaletas, tienen un recorrido en parte por pared cementada y en parte por madera.
- No hay señalización de seguridad.
- No hay un paro de emergencia dentro del circuito de la máquina.

6.1.2. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE

6.1.2.1. Señalización

Principalmente, el sitio debe contar con señalización seguridad, de acuerdo a la resolución No. 90708 de agosto 30 de 2013, contenida en el numeral 6.2 del reglamento RETIE. Las señalizaciones pertinentes para el equipo y sus instalaciones eléctricas se relacionan en la tabla III. [15]

TABLA III
SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD

| USO | DESCRIPCIÓN PICTOGRAMA | SEÑAL |
|---|--|---|
| Riesgo eléctrico | Un rayo o arco |  |
| Prohibido el paso | Peatón caminando con línea transversal sobrepuesta |  |
| Uso obligatorio de protección para los ojos | Cabeza de persona con gafas |  |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Uso obligatorio de protección para los oídos</p> | <p>Cabeza de persona con auriculares</p> |  |
| <p>Uso obligatorio de protección para las manos</p> | <p>Guante</p> |  |

6.1.2.2. Código de colores para conductores

De acuerdo a la norma RETIE, los conductores aislados y conductores desnudos, tales como barrajes instalados en interiores, deben ser marcados con los colores de la figura 15, donde nos muestra una tabla del código de colores, referentes a cada descripción. Si no es posible que el aislamiento del conductor tenga ese color, se debe marcar en las partes visibles con pintura, cinta o rótulo que le permita su identificación. En el caso de la instalación eléctrica de la trituradora de martillos a automatizar, se debe tener en cuenta el código de colores para la instalación monofásica de 240/120, donde hay dos fases de 3 hilos; los colores deben ser negro y rojo, para identificar las fases, y blanco, para identificar el neutro.

| SISTEMA | MONOFÁSICO | MONOFÁSICO | TRIFÁSICO EN U | TRIFÁSICO EN D | TRIFÁSICO EN D- | TRIFÁSICO EN U | TRIFÁSICO EN D |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| TENSIONES NOMINALES | 120 V | 240/120V | 208/120V | 240V | 240/208 /120V | 480, 460 ó 440V | 480, 460 ó 440V |
| CONDUCTORES ACTIVOS | 1 fase 2 hilos | 2 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos |
| FASES | Negro | Negro Rojo | Amarillo Azul Rojo | Negro Azul Rojo | Negro Naranja Azul | Negro Naranja Café | Negro Naranja Café |
| NEUTRO | Blanco | Blanco | Blanco | No Aplica | Blanco | Gris | No Aplica |
| TIERRA DE PROTECCIÓN | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde |
| TIERRA AISLADA | Verde o verde amarillo | Verde o verde amarillo | Verde o verde amarillo | No aplica | Verde o verde amarillo | No aplica | No aplica |

Figura 15 – Código de colores para conductores.
Fuente: RETIE [22]

6.2. MOTOR

La trituradora de martillos es accionada por medio de un Motor Monofásico Semiabierto de la serie 1RF3 (098-2YD90), ejecución B3 de 2 polos, marca Siemens. El cual está diseñado con un alto par de arranque y baja corriente de arranque, para aplicaciones que requieran arranques con carga; distinguiéndose por tener eje con chevetero y cuña para la colocación de poleas o embragues, velocidad de 3600 y 1800 rpm., montaje horizontal o vertical a través de una base con perforaciones según norma NEMA⁶ ó IEC⁷, posibilitando su uso en máquinas con bases tanto americanas como europeas.

El motor cuenta con tensión nominal conmutable 115/230 V, permitiéndole soportar adecuadamente las variaciones de voltaje en la red. Su alto par de arranque es obtenido por medio de un circuito auxiliar compuesto por un devanado en serie con un condensador de arranque, el cual es desconectado mediante un interruptor centrífugo una vez el motor ha alcanzado cerca del 80% de la velocidad nominal, que es ilustrado en la figura 15.

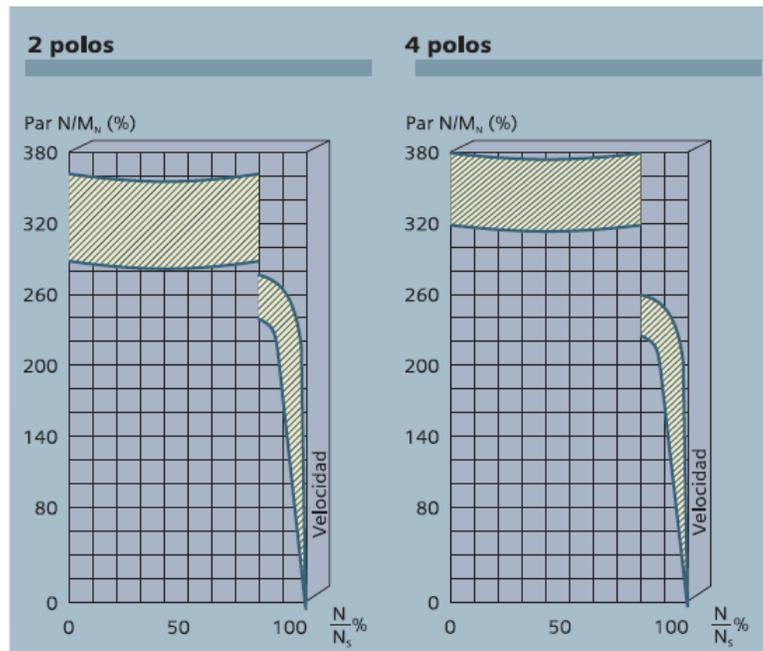


Figura 16 – Par de arranque de motor.
Fuente: Siemens (Fabricante)

⁶ NEMA: National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos). Es una asociación industrial estadounidense.

⁷ IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional). Es una organización de normalización.

Cuenta además con protección térmica automática incorporada, desconectando el motor de la red en caso de sobretensión originada por sobrecarga o bloqueo y reconecta el motor una vez se ha enfriado. Cuenta con protección IP23, que protege el motor contra la penetración de cuerpos sólidos con diámetro mayor de 12 mm. y contra goteo de agua (drip-droof) con una inclinación cualquiera de hasta 60° respecto a la vertical. [23]

El motor permite conexiones para tensiones de 115 V ó 230 V, en redes de 60 Hz., permitiéndose giro en ambos sentidos para cada tensión.. En este caso, el motor con ejecución B3 sale conectado de fábrica con sentido de giro derecho, permitiendo el cambio a giro izquierdo en la regleta de bornes, intercambiando los cables Z1 y Z2. En la figura se puede observar más claramente la nomenclatura de las conexiones para conexiones de 115 y 230 V.

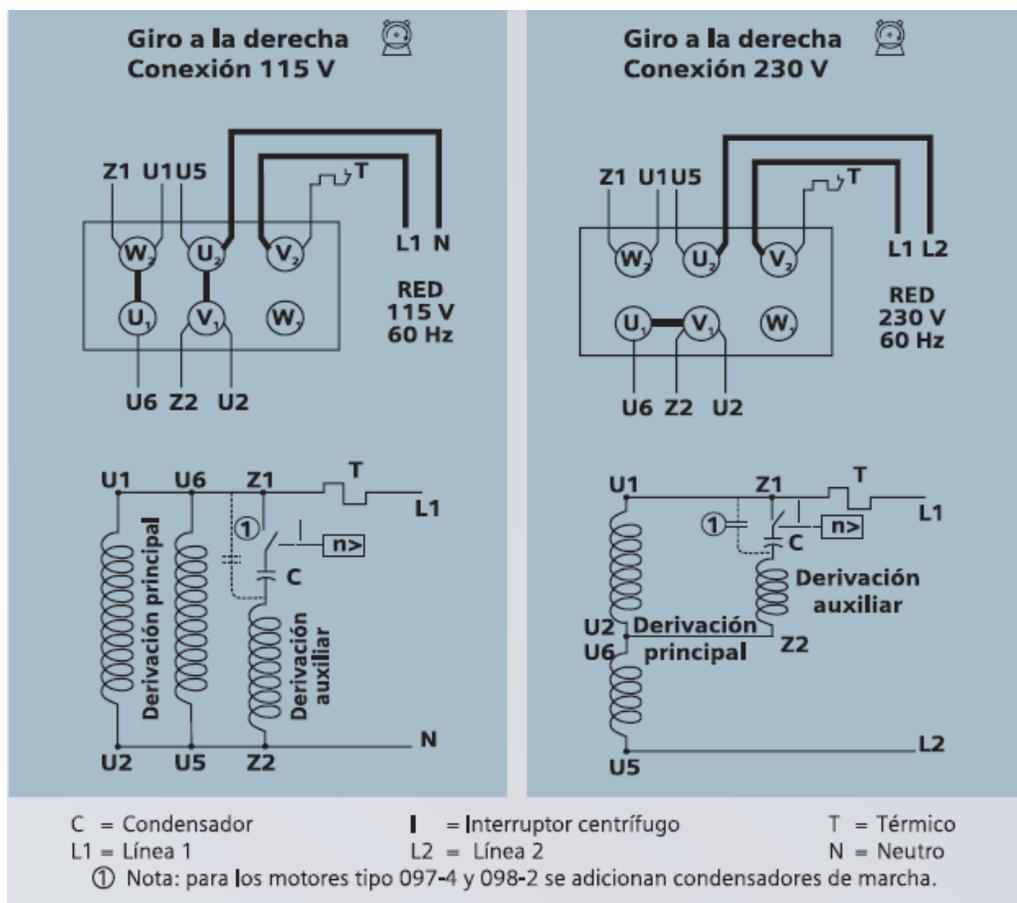


Figura 17 – Conexiones de motor.
Fuente: Siemens (fabricante)

Todas las características mencionadas anteriormente y además, las expuestas en la TABLA I, junto a la estructura mecánica, hacen proporcionan grandes ventajas para la automatización y buen funcionamiento de la trituradora de martillos. Sus especificaciones se presentan en la tabla I.

TABLA I
ESPEFICIACIONES TÉCNICAS MOTOR 1RF3 098-2

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Potencia | 3,0 HP |
| Factor de servicio | 1,15 |
| Voltaje | 115/230 V |
| Corriente nominal | 33,8/16,9 A |
| Eficiencia | 76,3% |
| Factor de potencia $\text{Cos}\phi$ | 0,83 |
| Torque nominal | 6,3 Nm |
| Torque de arranque | 15 Nm |
| Corriente de arranque | 4,8 A |
| Condensador de arranque | 540-648 μF |
| Condensador de marcha | 40 μF |

Fuente: Siemens (fabricante) [23]

7. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

7.1. ESTADO ACTUAL DE LA TRITURADORA

La trituradora de martillos, mostrada en la Figura 2, actualmente no cuenta con un proceso de arranque definido. En su instalación, sencillamente se realizó la conexión a las dos fases, donde un breaker magnético bipolar cumple la función de interruptor y accionamiento de la máquina; a la vez como medio de seguridad en casos de exceso de corriente circulante.

La trituradora, dentro del proceso en específico no presenta problemas, puesto que el material es triturado de acuerdo a los requerimientos de la empresa; se presenta problema al momento de arrancar el motor, el cual, después de energizado necesita un momento de inercia externo.

7.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso que realiza la máquina es muy simple. Primero es activada por un operario, el cual debe poner la trituradora en marcha, para posteriormente y de forma manual depositar la materia prima a triturar en la tolva; este proceso se hace continuamente, para controlar en cierta forma la cantidad de material que se agrega. Por acción de la gravedad, el material cae a la cámara de trituración, donde el sistema ya está girando a gran velocidad y por acción de la fuerza centrífuga golpea el endocarpio y mesocarpio de coco, lanzándolo hacia las paredes de la cámara, lo que ayuda también en su fragmentación. Por acción de la misma fuerza, este es desechado hacia la tolva de descarga; sin embargo, no todo el material pasa, pues bajo el sistema de trituración se encuentra una criba calibrada, que permite solo el paso al material que haya alcanzado el tamaño adecuado. Cuando se ha terminado de triturar toda la materia prima, el operario pone en paro la máquina.

7.3. APLICACIÓN GUÍA GEMMA

La guía GEMMA trata de un enfoque de diseño muy estructurado, debido a la complejidad de variedad de factores que intervienen en la automatización de procesos. La idea de utilizar un diseño estructurado es bastante conveniente, a fin de modelar, de forma parcial cada tarea. La presentación de la ésta guía tiene en cuenta la presencia principalmente de un módulo de seguridad, de modos de marcha y de producción, ilustrándose en la figura 18 su jerarquía. [24]

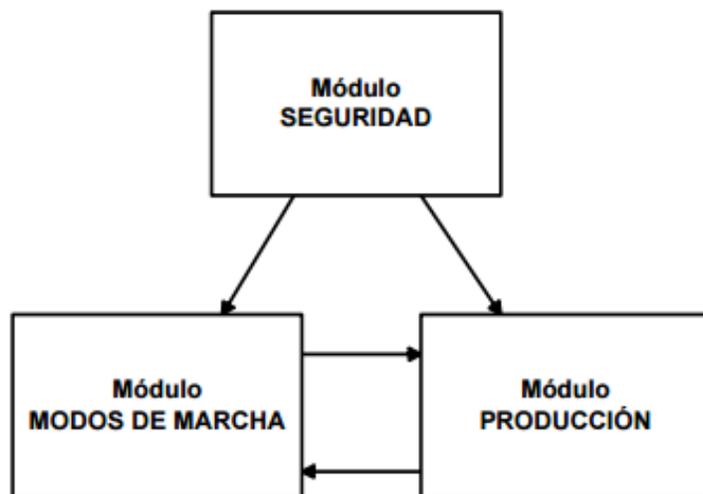


Figura 18 – Estructura modular del diseño estructurado de sistemas.
Fuente: Automatización de sistemas mediante guía GEMMA

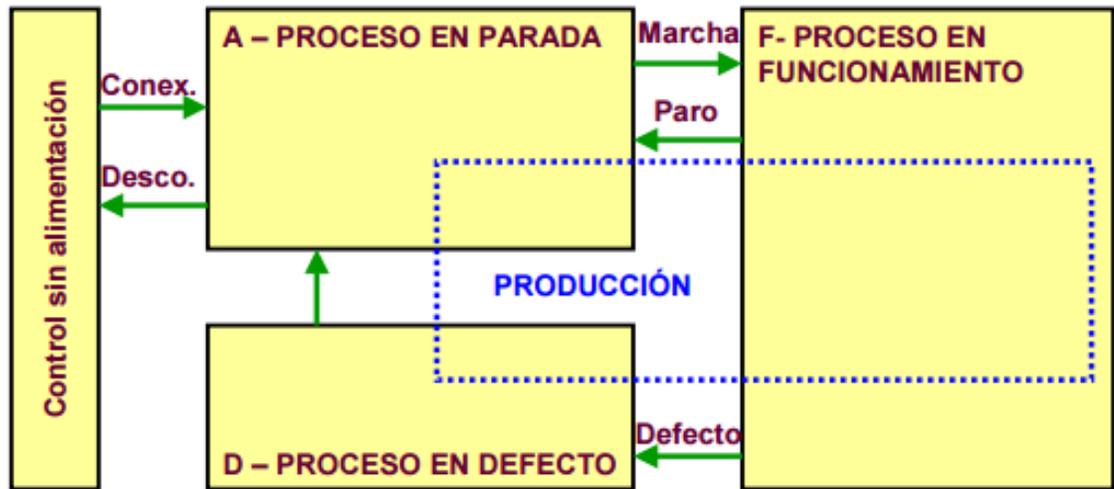


Figura 19 - Modos fundamentales de la guía GEMMA.
Fuente: Guía GEMMA

En la figura 18 y figura 19 se puede observar que la prioridad máxima en la automatización es la seguridad, para lo cual el sistema, ante una parada de emergencia o situación de fallo, debe evolucionar rápidamente hacia un estado seguro. Además, se debe prever los siguientes estados:

- Funcionamiento manual
- Funcionamiento semiautomático
- Situaciones de fallo
- Paradas de emergencia
- Puestas en marcha

7.3.1. GRAFCET

Para el diseño del diagrama de automatización GRAFCET, y su posterior simulación y verificación de funcionamiento, se utiliza el Software AUTOMGEN.

7.3.1.1. Automgen

La página de descargas web de programas especializados **Aertia Software** [26], define a Automgen como un taller de automatismo, simulación y supervisión de parte operativa 2D y 3D que funciona bajo sistema operativo Windows. Se utiliza para la enseñanza de automatismos y en la industria para el desarrollo de

aplicaciones. Este programa ofrece a los automatistas gran facilidad de uso del entorno de trabajo.

Automgen permite la creación de programas con lenguajes estandarizados, la simulación, la generación de código y la descarga de los PLC y otros objetivos (Arduino, PIC, etc.). Automgen también permite la creación de aplicaciones SCADA y simulaciones 3D [27]. En la figura 20 se puede observar la interfaz gráfica principal del software.

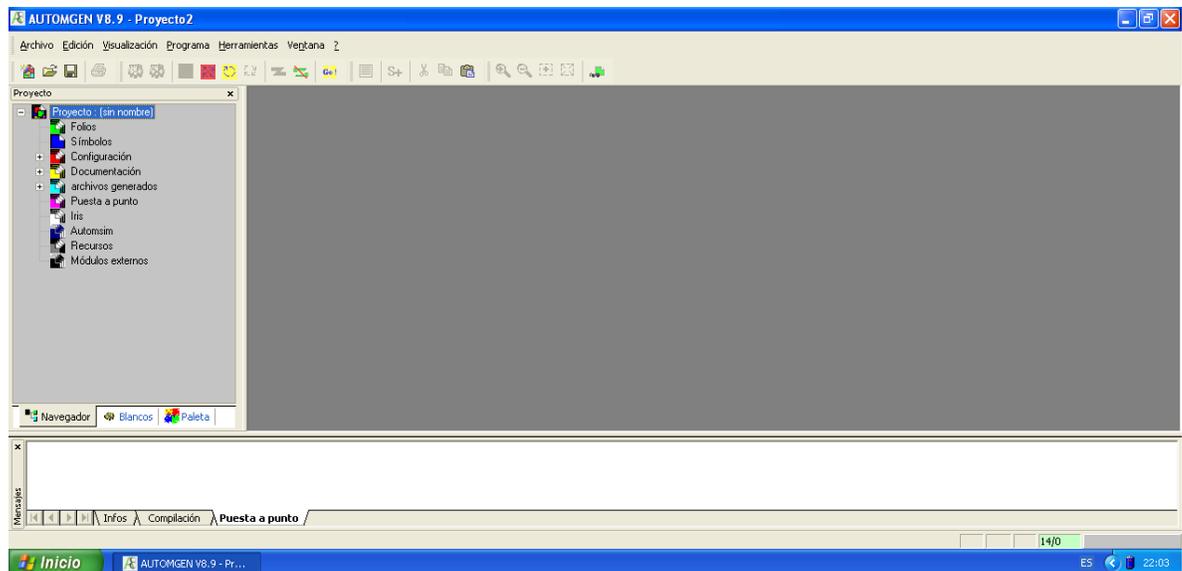


Figura 20 – Interfaz gráfica de AUTOMGEN.
Fuente: Captura de pantalla

7.3.1.2. Descripción de proceso automatizado.

En la figura 21 se el GRAFCET del sistema de control y automatización de la trituradora de martillos, el cual se describe a continuación. Inicialmente la máquina está apagada (fuera de servicio), tras activar el pulsador de encendido el motor empieza a operar; en el momento en que el motor se enciende, el operario se encarga de depositar la materia a triturar en la tolva de alimentación. La máquina lleva a cabo el proceso de desintegración del material y en la tolva de descarga el material que es desechado es captado por un sensor, el cual activa una luz verde para dar a informar que la máquina se encuentra operando; si el sensor no detecta material descargarse, espera un periodo de tiempo corto y procede automáticamente a desactivarse el motor. Para el sistema de seguridad se tiene en cuenta un sensor de vibraciones, el cual, al percibir vibraciones fuera de lo normal en el equipo activa una luz roja y alarma, para que posteriormente el operario pueda activar el paro de emergencia y sistema se bloquee.

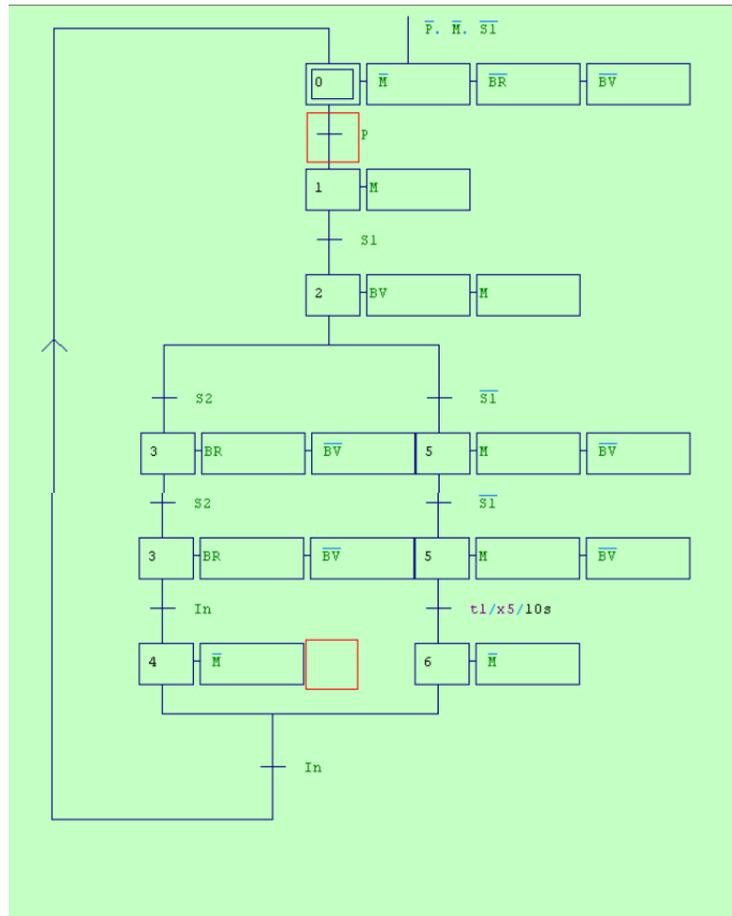


Figura 21 – GRAFCET de automatismo.
Fuente: Autor.

7.3.1.3. Panel de control

Siguiendo lo establecido en la guía GEMMA, se realiza el panel de control ilustrado en la figura 22, estableciendo colores y formas, de acuerdo a la acción de cada componente.



Figura 22 - Panel de control del automatismo.
Fuente: Autor

8. CONCLUSIONES

Tras la inspección general de la máquina, se logró realizar un diagnóstico de ella, con lo cual se obtuvieron diferentes requerimientos que fueron de ayuda en los posteriores diseños.

Basándose en los requerimientos obtenidos, se consiguió realizar el sistema de automatización en lenguaje GRAFCET, basándose en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y la guía GEMMA.

Posterior al diseño del sistema de automatización, se logró proceder a su simulación mediante el software Automgen, implementando el diagrama de GRAFCET.

Gracias al seguimiento de todos los procedimientos y finalmente a la simulación del sistema automático, se alcanzó verificar el buen funcionamiento del automatismo.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. SMB PERÚ. Centro de producción SMB [En línea]. [Consultado el 10 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://www.sbmperu.com>
- [2]. SOLIMAQ. Innovación en reciclado [En línea]. [Consultado el 10 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://www.solimaq.com>
- [3]. ALIBABA. Global trade starts here [En línea]. [Consultado el 16 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://www.alibaba.com/showroom>
- [4]. CANUDAS, Enrique. Las venas de plata en la historia de México. Síntesis de historia económica, siglo XIX. Xochimilco, México DF. Editorial Utopía. p 45.
- [5]. Shangai Gime Machinery Co, Ltda. PF Trituradora de Impacto [En línea]. [Consultado el 13 de septiembre, 2015] Disponible en: <http://www.grimal.com.mx/products/pf-trituradora-de-impacto.html>
- [6]. Shibang Minería y Construcción SAC. Trituradora de cono hidráulica HPC [En línea]. [Consultado el 13 de septiembre, 2015] Disponible en: <http://www.sbmperu.com/ver/trituradoras-hpchidraulica>
- [7]. Solimaq S.A. Serie de trituradoras ENM [En línea]. [Consultado el 14 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://solimaq.com/serie-enm/>
- [8]. ERRATH, Reinhold A. Roll crusher with variable speed DC drive. ABB Industrie AG. Switzerland. CH-5405 Baden-Daettwil.
- [9]. CHEN, Chang-zhong; FU Cheng-hua; WANG Bang-rong and WU Hao. Design of fuzzy control system for the waste rubber crusher based on feedforward & feedback control. Sixth International Conference on Natural Computation, 2010. Zigong 643000, China.
- [10]. DJOKOTO, Sylvester y KARIMI, Hamid. Modeling And Simulation of A High Pressure Roller Crusher for Silicon Carbide Production. University of Agder, 2011. N-4898 Grimstad, Norway.
- [11]. HERNANDEZ, Camilo y PINTO, Edwin. Diseño y montaje de una máquina trituradora de eje horizontal para el centro recreacional Catay. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico - Mecánicas, 2007. 191 p.

- [12]. LABAHN, Otto y COHLHAAS, B. Prontuario del cemento. 5ta edición. Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona. 1985. p 250-260
- [13]. RHYNER, Charles R. and others. Waste Management and Resource Recovery. Lewis publishers. EEUU, 1995. P. 160
- [14]. PONSA, Pere; VILANOVA, Ramón y DÍAZ, Marta. Introducción del Operario en el Ciclo de Automatización de Procesos Mediante la Guía GEMMA [En línea] Información tecnológica-Vol. 18 N°4-2007. [Consultado el 14 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://www.scielo.cl>
- [15]. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [En línea]. [Consultado el 14 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/documents/>
- [16]. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas-RETIE [En línea]. [Consultado el 15 de septiembre, 2015]. Disponible en: http://www.sic.gov.co/recursos_user/reglamentos_tecnicos/reglamento_tecnico_inst_electricas_RETIE.pdf
- [17]. VENTURA, Isaías. Sistemas de Control de Motores Eléctricos Industriales [En línea]. Manual técnico de curso de control de motores eléctricos industriales. Veracruz, enero de 2008. [Consultado el 15 de septiembre, 2015]. Disponible en: <http://issuu.com/mauricioypamelaleivamellado/docs/control-de-motores-electricos/138>
- [18]. BOLTON, William. Programmable Logic Controllers. United States. Elsevier Ltd, 2009.
- [19]. ENRÍQUEZ, Gilberto. Fundamentos de control de motores eléctricos en la industria. Editorial Limusa S.A. México. 2004. p 159-160
- [20]. BERMEJO, Diana. Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas. Departamento de eléctrica y electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador. p. 2
- [21]. Ibid., p. 4
- [22]. [UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Bogotá, 2016. Ministerio de Minas y Energías. ISBN: 958-97750-4-7]

- [23]. SIEMENS. Motores monofásicos [En línea]. [Consultado el 10 de noviembre, 2015]. Disponible en: <http://orbelect.com/wp-content/uploads/2015/03/monofasicos-semiabierto-tefc-serie-1lf.pdf>
- [24]. PONSÁ, Pere y VILANOVA, Ramón. Automatización de procesos mediante la guía GUEMMA. Universidad Politécnica de Cataluña. Ediciones UPC. 2005.
- [25]. RODRÍGUEZ, José. Guía GUEMMA [En línea]. Universidad Pontificia Comillas. [Consultado el 20 de noviembre, 2015]. Disponible en: http://www.dea.icaei.upcomillas.es/jarm/Asignaturas/AutomatizacionIndustrial_3itiei/transparencias/7gemma.pdf
- [26]. AERTIA SOFTWARE. Automgen [En línea]. Barcelona. [Consultado el 26 de noviembre, 2015]. Disponible en: <http://www.aertia.com/productos.asp?pid=112>
- [27]. IRAI. Les logiciels pour automaticiens, Automgen [En línea]. Francia. [Consultado el 26 de noviembre, 2015]. Disponible en: <http://www.iraifrance.com/#!automgen/c1zwn>