

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Informe de práctica profesional:
Escalamiento del proceso productivo de
tabletas ecológicas para el revestimiento de
paredes interiores**

Tulio César Assia Montero

Ingeniería Mecatrónica

Director del trabajo de grado

Jhon Alexander Isaza Hurtado

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en el marco de las prácticas profesionales para optar al título de ingeniería mecatrónica. La práctica se realizó en el observatorio ÍGNEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. En este documento se presentará el desarrollo de uno de los proyectos ejecutados en la práctica profesional, el cual se titula: “Escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores”. Este proyecto consiste en el escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores, a partir del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), tomando como función propia la automatización del proceso de molienda. Este proyecto consistió en una etapa de diagnóstico y análisis del proceso actual, esto identificando deficiencias y potencialidades, y una etapa de búsqueda y detección del proceso más adecuado que permita diseño de un proceso productivo que genere una mayor producción de tabletas ecológicas.

Palabras clave: Molienda, RCD, automatización, tabletas ecológicas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

La realización de este informe de prácticas como trabajo de grado fue posible, en primer lugar, a la cooperación brindada por el asesor de prácticas Jhon Alexander Isaza, quien en su desempeño como Ayudante procuró por el buen desempeño en mis prácticas profesionales. De igual modo se agradece a los compañeros estudiantes y profesores de la institución por su disposición y confianza, que sin ellos no se hubiera podido recoger los datos necesarios en este estudio.

Cabe también agradecer al profesor Antonio Romero Hernández, director del observatorio Ígnea de la Universidad Nacional de Colombia, lugar donde realice mis prácticas profesionales, por su gentileza, cooperación, y por su constante apoyo en esta investigación y mi desarrollo en la empresa.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ÍGNEA Inteligencia, Gestión de Negocios, Economía y Administración del territorio.

RCD Residuos de Construcción y Demolición

PLC Programmable Logic Controller

NTC Norma Técnica Colombiana

I+D Investigación y desarrollo

mA mili Amperes

VDC voltage direct current

Hz Hertz

mV mili voltios

kW Kilowatt.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Lista de figuras	7
Lista de tablas.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Escalamiento de procesos productivos.....	11
2.2 Automatización industrial	11
2.2.1 Sensores.....	12
2.2.2 Actuadores.....	12
2.2.3 Dispositivos de control	12
2.3 Norma técnica colombiana	12
2.4 Tabletillas de revestimiento.....	13
2.5 Residuos de construcción y demolición	13
2.6 Molienda.....	14
3. METODOLOGÍA	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
3.3 Diagnóstico del proceso actual	16
3.4 Propuesta del diseño de mejoramiento.....	18
3.4.1 Requerimiento del sistema automatizado de molienda.	18
3.4.1.1 Requerimientos operativos y de proceso:.....	18
3.4.1.2 Requerimientos mecánicos:	18
3.4.1.3 Requerimientos electrónicos y eléctricos:.....	19
3.4.2 Esquema de mejoramiento del proceso de molienda.....	19
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Esquemática del diseño final del proceso.	22
4.2 Automatización del sistema de molienda.	25
4.2.1 Sensores.....	25

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.1.1	Sensores de nivel	25
4.2.1.2	Sensor de Sonido	26
4.2.1.3	Célula de carga.....	27
4.2.2	Actuadores.....	28
4.2.2.1	Motor del alimentador helicoidal.....	28
4.2.2.2	Motor para el molino de bolas	28
4.2.2.3	Ventilador centrífugo.....	29
4.2.2.4	Pilotos indicadores.....	30
4.2.3	Dispositivo de control y módulo de expansión.....	31
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	33
	REFERENCIAS	34
	APÉNDICE.....	36

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lista de figuras

Figura 1 Proceso de aprovechamiento y elaboración de tabletas. Elaboración propia.....	17
Figura 2 Vista frontal sistema de molienda. Elaboración propia.....	19
Figura 3 Tolva con tornillo sin fin. Elaboración propia.	20
Figura 4 Molino de bolas. Elaboración propia.....	21
Figura 5 Esclusa de extracción. Elaboración propia.....	21
Figura 6 Diagrama de funcionamiento del proceso. Elaboración propia.	24
Figura 7 Sensor de nivel. Fuente: Datasheet Vegacal 62.....	26
Figura 8 Sensor de sonido. Fuente: datasheet del sensor TR-SLT.	26
Figura 9 Célula de carga. Fuente: (Siemens, 2017).....	27
Figura 10 Motorreductor. Fuente: (Eurodrive, 2017).....	28
Figura 11 Motor molino de bolas. Fuente: (Eurodrive, 2017).....	29
Figura 12 Ventilador Centrífugo. Fuente: (Airtec s.a, 2017).....	29
Figura 13 Piloto indicador. Fuente: (Signaworks,Inc, 2017).	31
Figura 14 PLC y módulo de expansión. Fuente: (Siemens, 2017).....	31

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Lista de tablas

Tabla 1 Clase de RCD aprovechables (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).	13
Tabla 2 Datos técnicos ventilador centrifugo. Elaboración propia.....	30
Tabla 3 Especificaciones técnicas PLC. Fuente: (Siemens, 2017).	32
Tabla 4 Cotización sistema mecánico. Elaboración propia.....	36
Tabla 5 Cotización sistema electrónico. Elaboración propia.	37
Tabla 6 Cotización sistema de potencia. Elaboración propia.	37

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

El Observatorio ÍGNEA reúne profesores, estudiantes y profesionales de diferentes áreas del conocimiento, nacionales y extranjeros, quienes, mediante la investigación y la innovación, formulan propuestas para la solución de problemas y aprovechamiento de la economía del Territorio. Esto mediante el desarrollo de herramientas y proyectos para la valoración y valorización de los capitales del Territorio mediante la gestión tecnológica, la gestión del riesgo y la siembra de competencias (Universidad Nacional de Colombia, 2017).

El objetivo del proyecto realizado en la práctica busca la aplicación, el desarrollo y la extensión de los conocimientos, actitudes, y habilidades, previamente adquiridos en el programa académico. Alcanzando las competencias y la capacidad para desempeñar las tareas y roles que se esperan de un Ingeniero Mecatrónico. Esto con el fin de complementar la formación integral y de cumplir con las exigencias del mercado laboral.

En la formalización minera la ingeniería puede jugar un rol importante, facilitando soluciones tecnológicas. En ese sentido, el presente trabajo se refiere el diseño de un sistema automatizado de molienda, que puede satisfacer los requerimientos para el aprovechamiento residuos de construcción y demolición (RCD) de una forma particular. Se elige el proceso de molienda por su importancia, y cuyo proceso incide directamente en la recuperación de estos residuos.

El escalamiento del proceso de producción se realizó debido a que la capacidad de producción de la planta piloto es de mil (1.000) unidades día, sin embargo, se necesita incrementar su producción en un 2.000% con el fin que la producción aumente y el valor de producción de las tabletas disminuyan significativamente, para responder a la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

demanda del mercado de la construcción sostenible, demanda que hasta el momento no ha sido capaz de responder debido a su baja producción y alto costo.

Actualmente el proceso de producción de tabletas presenta déficit en las etapas de aprovechamiento del RCD, por tanto, se hace de suma importancia generar un sistema que permita mejorar estos procesos, se centra en el proceso de molienda ya que en este es donde se logra la mayor parte de la transformación y aprovechamiento del RCD.

En España se han adelantado estudios en el campo del aprovechamiento de RCD, se ha analizado la situación de Europa, presentan cifras como: en España, tan sólo un 1% de RCD se reutiliza, mientras que, Holanda incorpora alrededor del 90% del RCD. Durante el proceso de reciclaje una de las principales dificultades está en la homogeneidad de los materiales que llegan y la falta de información del origen o procedencia de los residuos. Cuanto más mezclados sean los residuos que se producen, más facilidad hay en su reutilización y a su vez se puede llevar a cabo con mayores garantías (Barluenga Badiola, Melián Marrero, Flores Medina, Hernández Olivares, & Pérez Luzardo, 2008).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que fundamenta esta investigación pretende mostrar los conceptos básicos que se tienen en cuenta en el proceso de molienda, dentro del escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores.

2.1 Escalamiento de procesos productivos

El escalado se define como el proceso necesario para alcanzar la producción industrial a partir de un logro científico a nivel del laboratorio, de esta definición de escalado quedan excluidos los casos de diseño de unidades industriales realizados con procedimientos de cálculos tradicionales, para los cuales sólo se necesitan los datos de las propiedades físico-químicas de las sustancias en proceso y las cantidades a procesar para obtener los valores de diseño requeridos. (Vina S, 1994)

Para que el concepto de escalado sea aplicado, es imprescindible que el diseño se realice sobre la base de investigaciones que se tengan que realizar con ese fin específico, a una escala inferior a la industrial, pero no se requiere que se transite por todas las etapas convencionales en que se dividen los procesos de I+ D (Vina S, 1994).

2.2 Automatización industrial

Es el medio por el cual los procesos de producción utilizan el avance de la computación para controlar las variables de entrada, de proceso, y de salida que gobiernan el sistema de producción. Esto implica que procesos, máquinas y materiales serán controlados por medio de programas, bajo los niveles de calidad y cantidad exigidos por el cliente o consumidor (Acuña Acuña, 2009).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para llevar a cabo este proceso se utiliza medios físicos y electrónicos para dar lugar a la automatización, estos nos permiten establecer la comunicación entre las variables controladas y el objetivo que se pretende alcanzar. Dentro de los medios físicos requeridos se encuentran:

2.2.1 Sensores

Elementos que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar. Esta variable puede ser física o química y por medio de un transductor es acondicionada y enviada hacia la unidad de control.

2.2.2 Actuadores

Constituyen la interfaz entre el procesamiento de la señal y el proceso, generando una acción lógica que corresponde a lo establecido en la programación (E.Guarella, Heredia, Rodriguez, & Bagatto, 2011).

2.2.3 Dispositivos de control

Estos dispositivos reciben la información captada y por medio de un control diseñado realiza acciones establecidas por el usuario o programador.

2.3 Norma técnica colombiana

Los materiales utilizados en la construcción deben cumplir con unas especificaciones técnicas para ser usados en la industria de la construcción, para el caso de Colombia las normas son las, Normas Técnicas Colombianas (NTC), su función es normalizar las especificaciones técnicas de los materiales para que cumplan con estándares de calidad, que permitan dar seguridad en su uso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4 Tabletas de revestimiento

Son recubrimientos o revestimientos que se aplican a diferentes elementos constructivos, como muros, escaleras, columnas, vigas etc. para dar durabilidad y resistencia. Ellos se pueden construir de diferentes materiales tales como piedras naturales y artificiales, maderas, materiales vítreos, plásticos, etc.

Se dice que las tabletas de revestimiento son ecológicas cuando están compuestas de material reciclado. El material reciclado proviene de la reutilización de los residuos que se desechan en la construcción y demolición.

2.5 Residuos de construcción y demolición

Se denominan residuos de construcción y demolición (RCD) a los desechos generados por el sector construcción el cual es resultado de las demoliciones de edificaciones e infraestructura que han quedado en desuso, o de los procesos de nuevas construcciones o mejoras en éstas (Bedoya Montoya, 2003).

Los RCD están conformados por varios tipos de materiales los cuales se pueden dividir en dos grandes categorías donde podemos clasificar los RCD aprovechables y los no aprovechables (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014). Para este caso específico se considerarán la categoría de aprovechable, que a su vez se divide en los siguientes cinco grupos:

CLASE	TIPO DE RESIDUO
I	Residuos comunes inertes mezclados
II	Residuos comunes inertes de material fino
II	Residuos comunes no inertes
IV	Residuos metálicos
V	Residuos orgánicos

Tabla 1 Clase de RCD aprovechables (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6 Molienda

Es un proceso único que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración.

La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, rodamiento de cizalla y cortado (Casado, 1999).

El proceso de molienda se lleva a cabo con molinos de bolas, el cual es clave para este proceso, posteriormente el material sufrirá otro procedimiento de trituración. El molino de bolas es ampliamente utilizado en los siguientes campos: cemento, productos de silicato, nuevos materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizante, metal negro y de color, cerámica y vidrio, etc. El molino de bolas puede usarse para triturar de forma seca o húmeda diversas clases de minas y otros materiales que se puedan moler. En este sentido, la forma seca será para: materiales a prueba de fuego, cemento, fertilizantes y vidrio. Mientras la húmeda será para: minas, cerámica e industria química.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

A continuación, se desarrolla la metodología del presente informe, en la cual se describen las etapas con las que se desarrolló el proyecto.

Los pasos para la metodología son: identificar el planteamiento del problema por medio de un diagnóstico, y posterior a esto realizar una propuesta de mejoramiento de dicho problema con previa investigación.

3.1 Objetivo General

Con el presente trabajo se pretende realizar una propuesta de diseño automatizado del sistema de molienda, en el escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores.

3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del sistema de molienda en el escalamiento del proceso productivo presente.
- Identificar las distintas opciones de solución en el diseño del sistema automatizado de molienda en el proceso actual.
- Diseñar una propuesta de automatización del sistema de molienda, teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para el proceso actual.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3 Diagnóstico del proceso actual

En el esquema del proceso de aprovechamiento y elaboración de tabletas, presentado en la *Figura 1*, se observa a partir de un diagrama de flujo de proceso la fabricación de las tabletas de revestimiento a partir del RCD.

La propuesta de diseño se enfatiza en la zona demarcada en la ilustración, la cual establece el proceso para el aprovechamiento del RCD. En esta sección se observa el ingreso del material y su transporte hacia el molino, como también su realimentación, esta realimentación es definida por el tipo de granulometría requerida para el producto final.

El presente proyecto pretende mejorar el proceso de fabricación de tabletas de revestimiento, de esta manera ayudar al operario en algunas tareas que forzosamente se hacen en forma manual, por ello es necesario la implementación de un sistema automatizado acorde con las tendencias tecnológicas actuales. En la actualidad la oferta de prefabricados ecológicos tiene un crecimiento significativo, pues la demanda de dichos productos va cada día en aumento, debido al crecimiento poblacional, así como el desarrollo arquitectónico de la urbe y de la sostenibilidad ambiental.

Actualmente el sistema no consta de un proceso eficaz que satisfaga las necesidades de producción en el mercado, esto debido a su carácter manual y falta de equipos de medición que me garanticen la calidad del producto final. Dicha calidad depende directamente del resultado obtenido en la molienda, por tanto, es indispensable actuar sobre este.

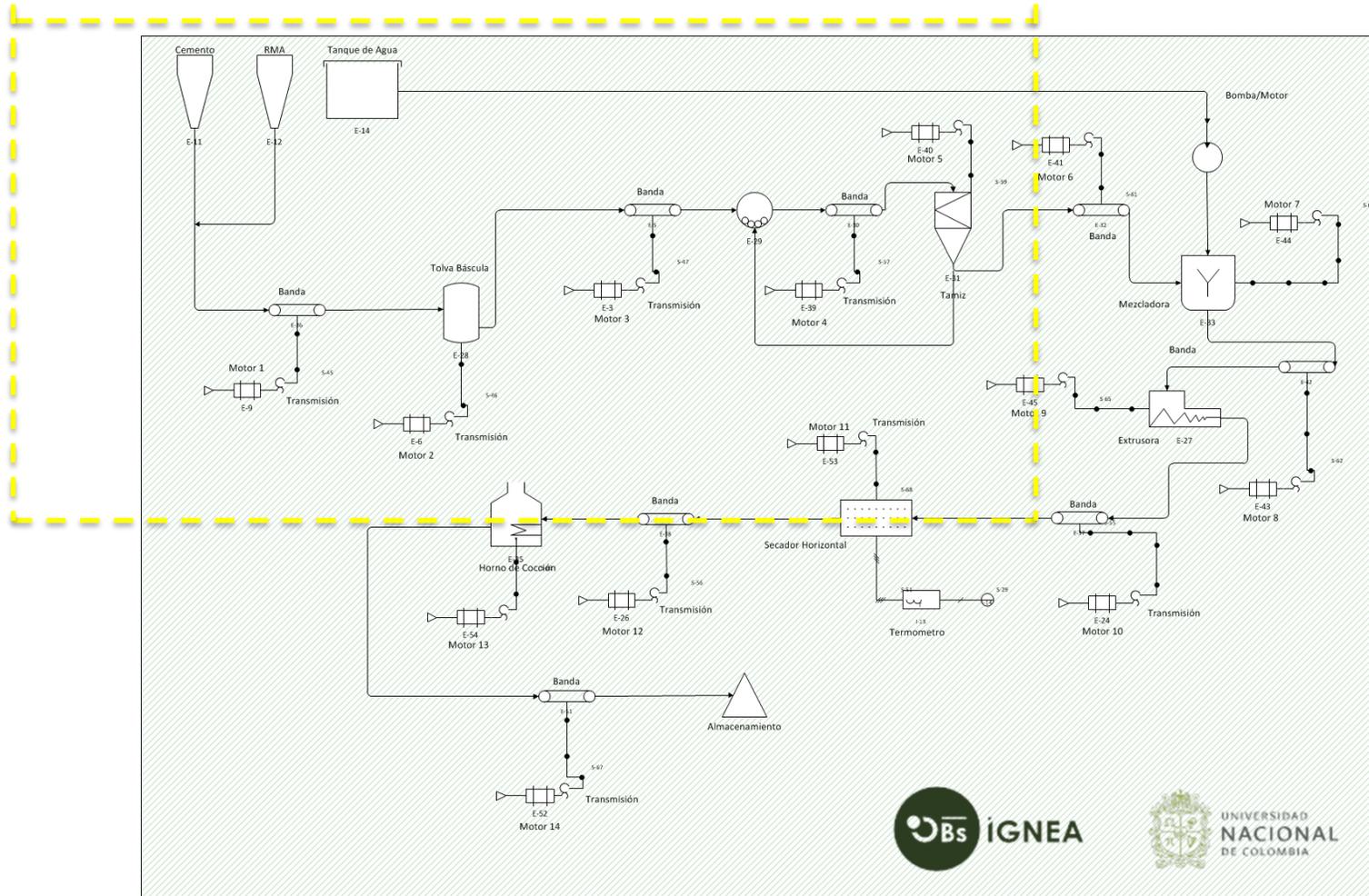


Figura 1 Proceso de aprovechamiento y elaboración de tabletas. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3.4 Propuesta del diseño de mejoramiento

En la búsqueda de información para el mejoramiento del proceso de molienda en la elaboración de tabletas de revestimiento a partir de RCD, se caracterizaron los requerimientos necesarios para llevar a cabo dicho mejoramiento.

A continuación, se definen algunos requerimientos identificados.

3.4.1 Requerimiento del sistema automatizado de molienda.

De acuerdo con la identificación y caracterización del proceso de molienda, se pudieron establecer los componentes que integran dicho proceso y así esquematizar los requerimientos necesarios en cada área que la componen, teniendo así:

3.4.1.1 Requerimientos operativos y de proceso:

- Alta eficiencia y seguridad en el proceso de molienda.
- Granulometría necesaria para cada tipo de material.
- Granulometría de entrada establecida para cada proceso.
- Intervención del operario al cargar y descargar el material.
- Capacidad de molienda respectiva al tipo de proceso.

3.4.1.2 Requerimientos mecánicos:

- Resistencia de los elementos mecánicos, de acuerdo con el concentrado mineral que necesite procesamiento.
- El sistema debe contar con tolvas para la carga y descargar del mineral o material procesado.
- Facilidad en el desmonte de piezas mecánicas para su mantenimiento o eventual cambio por falla.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4.1.3 Requerimientos electrónicos y eléctricos:

- El control del sistema propuesto se realizará mediante un dispositivo de control lógico programable (PLC).
- Control de las cantidades de material que ingresa y sale del proceso de molienda.
- Elementos de protección para los actuadores.
- Registro de actividades durante el proceso.
- Protección de los actuadores que intervienen en el proceso.

A continuación, se presenta el esquema propuesto para el proceso de molienda.

3.4.2 Esquema de mejoramiento del proceso de molienda

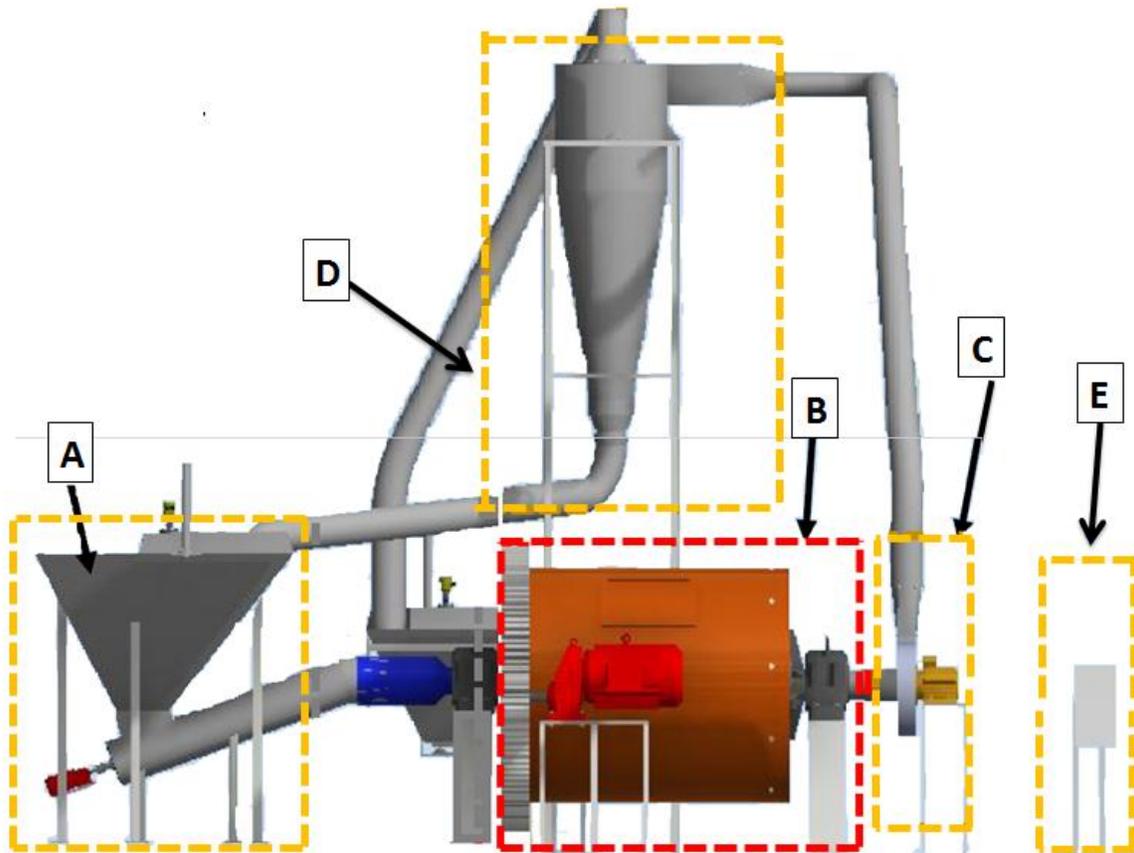


Figura 2 Vista frontal sistema de molienda. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La propuesta de solución diseñada para resolver parte del problema se muestra en la *Figura 2*, En esta ilustración se observa la vista frontal del sistema automatizado de molienda, el cual se compone de 5 subsistemas demarcados en la ilustración.

El subsistema de ingreso y alimentación, definido como subsistema (A), tiene como función almacenar el RCD y dosificarlo al subsistema de molienda (B), este subsistema consiste en una tolva con una salida hacia un alimentador helicoidal. Este alimentador helicoidal, visto en la *Figura 3*, se compone de un tornillo sin fin soldado a un eje, un motor tipo jaula de ardilla y la tubería que conecta hacia el subsistema B.



Figura 3 Tolva con tornillo sin fin. Elaboración propia.

El segundo subsistema (B), de molienda, es el encargado de la molienda del RCD. Está compuesto por el molino de bolas, el juego de engranajes rectos corona y piñón y el motor reductor, como se observa en la *Figura 4*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 4 Molino de bolas. Elaboración propia.

El tercer subsistema de extracción y clasificación (C), está compuesta por el ventilador centrífugo y el ciclón clasificador, como se ve en *figura 5*.



Figura 5 Esclusa de extracción. Elaboración propia.

El cuarto subsistema (D), tiene como función almacenar el RCD molido proveniente del ciclón clasificador.

El quinto subsistema (E) lo comprende el tablero de control donde encontrara el PLC, su respectiva circuitería y los diferentes elementos de protección de los actuadores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para mostrar los resultados obtenidos se realiza la esquematización del diseño del proceso, caracterizando las variables y dispositivos que actúan en él, como también se realiza la propuesta de los equipos a intervenir en el proceso:

4.1 Esquematización del diseño final del proceso.

En el diagrama de funcionamiento del sistema automatizado de molienda, visto en la *Figura 6*, se tiene como entradas principales al RCD que va a ser molido, a los datos que son parte de la programación, la intervención del operario y la energía.

El RCD molido es almacenado en una tolva la cual se ira dosificando al molino de bolas mediante un alimentador helicoidal conectado en la parte inferior de la tolva. Conforme el compartimiento del molino se vaya descargando, para regular la cantidad de concentrado ideal dentro del molino de bolas se tiene un sensor de sonido que va captando los decibelios. Un molino descargado sonará más fuerte por el impacto que producen las bolas, un molino cargado en su nivel ideal tendrá un sonido característico y un molino sobrecargado hará un menor sonido ya que el exceso de concentrado actúa como un colchón que absorbe el impacto de las bolas.

La extracción de concentrado del molino se realiza usando un ventilador centrífugo y un ciclón clasificador, está formado por el motor del ventilador centrífugo, el propio ciclón y las tuberías de salida y regreso del concentrado.

Al final del diagrama pertenece a la parte donde se almacena el resultado final de la clasificación de los RCD molidos, aquí se registra el peso y nivel del material procesado.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dentro del esquema también se encuentra el controlador, en el que se carga la programación de todo el sistema, se procesan las señales analógicas de los sensores, de igual forma se identifican las salidas a controlar, como son motores y pilotos de indicación.

El sistema de suministros eléctrico proviene del tablero de distribución, donde se necesitan 440v para los motores y 220 v para el sistema de control.

La interacción usuario-maquina solo es necesaria al momento de encender el sistema, además de llenar o descargar los residuos cuando los pilotos lo indiquen.

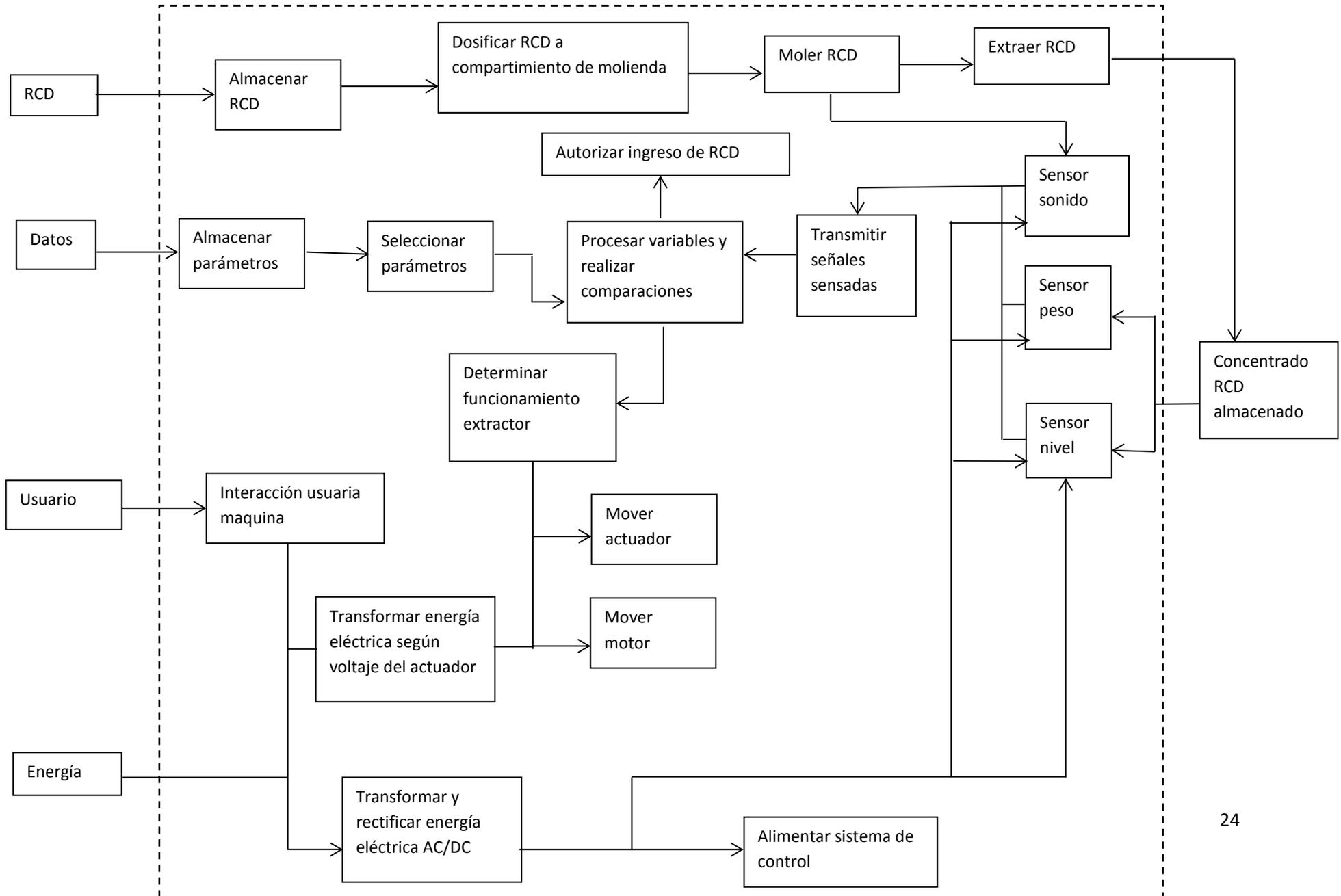


Figura 6 Diagrama de funcionamiento del proceso. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4.2 Automatización del sistema de molienda.

En el diseño de la automatización de molienda se realizó un diagnóstico del proceso actual y así identificar cuáles serían los recursos o dispositivos que permitirían mejorarlo. Teniendo en cuenta este diagnóstico se optó por utilizar estos dispositivos en el diseño del sistema:

4.2.1 Sensores

Los sensores escogidos para la automatización del proceso de molienda tienen como fin optimizar los tiempos, cantidades, y calidad de cada una de las etapas que comprenden el sistema. Cada uno de los sensores tiene características y funciones distintas.

4.2.1.1 Sensores de nivel

El sensor de nivel capacitivo utilizado, modelo Vegacal 62, de la empresa vega, presenta un rango de medición por varilla con electrodo aislado parcialmente es usado para detectar el nivel de sólidos presente en la tolva.

Este sensor trabaja según el principio de admitancia, que significa que el electrodo, el producto y la pared de la varilla forman un condensador eléctrico cuya capacidad del condensador varía según el producto que se está midiendo, esta variación de la capacidad y de resistencia es convertida por el módulo electrónico en una señal proporcional al nivel.

La alimentación del sensor es de 12 a 36 VDC y la señal de salida es de 4 – 20 mA. Por lo que se conecta a una de las entradas analógicas del PLC (VEGA, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 7 Sensor de nivel. Fuente: Datasheet Vegacal 62.

El primer sensor ubicado en la tolva de almacenaje de RCD inicial, cuenta con una varilla de longitud 1.1 metros y otro en la tolva de salida, con una varilla de longitud igual a 0.9 metros, estos sensores van montando en una brida roscada sobre la tapa de las tolvas respectivas.

4.2.1.2 Sensor de Sonido

El sensor de sonido TR-SLT, tiene como función medir el sonido que hace el molino de bolas cuando está operando; con una alimentación de 220 V y 60 Hz, la salida del sensor es analógica de 4-20 mA (Instruments, 2017).



Figura 8 Sensor de sonido. Fuente: datasheet del sensor TR-SLT.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El propósito de poner este sensor es de tener reportes de la variación de la carga del material durante la operación de la conminación, para así poder controlar el motor del alimentador helicoidal, este va junto al molino de bolas para poder captar el sonido sin que interfieran sonidos que no son propios del molino.

4.2.1.3 Célula de carga

Se implementa la célula de carga SIWAREX WL 280 LOAD CELL RN-S SA 2T de la empresa SIEMENS, esta célula de carga está compuesta por un cuerpo elástico de anillo de acero inoxidable. El cuerpo elástico se deforma por la carga que actúa céntricamente en el sentido de medición.

La célula de carga 280 2T tiene una sensibilidad nominal de 2 mV/ V, una tensión de referencia de 5 a 30 V con una tensión de alimentación de 10 V (Siemens, 2017).



Figura 9 Célula de carga. Fuente: (Siemens, 2017).

Esta célula de carga será la encargada de registrar el peso cuando la tolva de almacenaje de RCD molido llegue a un nivel alto de llenado, para ello se coloca en la parte inferior de esta, empernado a un soporte que va soldado a la tolva.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2 Actuadores

Los actuadores implementados en el diseño del proceso de molienda son dispositivos de accionamiento que fueron previamente seleccionados por las características y ventajas que estos ofrecen para el sistema.

4.2.2.1 Motor del alimentador helicoidal

El motor reductor de marca SEW EURODRIVE de denominación en catalogo R07 cuya potencia de salida es de 0.120 kW, con 33 rpm de velocidad de salida y un torque de 4 Nm (Eurodrive, 2017).



Figura 10 Motorreductor. Fuente: (Eurodrive, 2017).

Este motor es usado para accionar el alimentador helicoidal, por medio de un acople transmite el movimiento entre el eje del motor reductor al eje del alimentador helicoidal.

El guarda motor elegido para este motorreductor es de la marca SCHNEIDER código GV2 LE05 con una bobina de disparo auxiliar GVAS026 de 24 V, lo que permite al motor ser controlado por una salida del PLC (Schneider electric, 2016).

4.2.2.2 Motor para el molino de bolas

Este motor requiere tener una potencia de 37 kW y su tensión de alimentación es de 440 V, este actuador es el encargado de hacer rotar todo el molino de bolas mediante un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

juego de engranajes rectos de piñón y corona para lograr la velocidad angular en el eje del molino (Eurodrive, 2017).



Figura 11 Motor molino de bolas. Fuente: (Eurodrive, 2017).

Este motor estará controlado por el PLC mediante un arrancando de motor de la marca SCHNEIDER modelo TeSys GV3L65, que cuenta con una bobina de disparo de 24 V (Schneider electric, 2016).

4.2.2.3 Ventilador centrífugo

Este ventilador centrífugo será usado para extraer el concentrado molido del molino, y lo elevará hasta la entrada del ciclón clasificador, donde las partículas mayores de 150 μm serán retornadas a la tolva de ingreso y las menores que 150 μm serán depositadas en la tolva de descarga (Airtec s.a, 2017).



Figura 12 Ventilador Centrífugo. Fuente: (Airtec s.a, 2017).

El ventilador centrífugo de la empresa AIRTEC, modelo VRLG-350x1.3, presenta las siguientes especificaciones técnicas:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventilador centrifugo AIRTEC	
Datos motor ventilador	
Potencia Nominal	3 HP
Voltaje	220/380/440 V
Frecuencia	60Hz
RPM	1750
Encerramiento	TEFC
Grado de protección	IP55
Factor de servicio	1.15
Datos ventilador	
Caudal de aire	1914 cfm
RPM ventilador	1750
Transmisión	directa
Motor trifásico estándar	WEG

Tabla 2 Datos técnicos ventilador centrifugo. Elaboración propia.

4.2.2.4 Pilotos indicadores.

Piloto indicador o torre de luz de la marca SIGNA WORKS modelo ETN56LS de luz roja y verde que será activado mediante el PLC (Signaworks, Inc, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

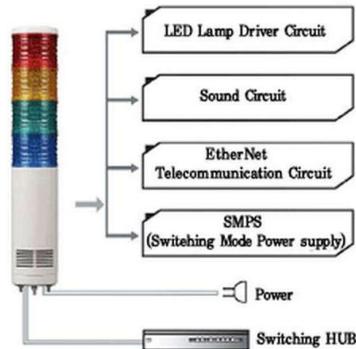


Figura 13 Piloto indicador. Fuente: (Signaworks, Inc, 2017).

Su función básicamente es dar aviso al operario cuando la tolva de ingreso y la tolva de descarga del RCD se encuentren descargadas o al tope.

4.2.3 Dispositivo de control y módulo de expansión.

El dispositivo de control que será usado en el sistema es un PLC de la marca SIEMENS modelo SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, COMPACT CPU, DC/DC/RLY. El módulo de expansión es del modelo SM1231 de 4 AI, lo que permite en total tener 6 entradas analógicas, 2 del PLC y 4 por su módulo de expansión (Siemens, 2017).



Figura 14 PLC y módulo de expansión. Fuente: (Siemens, 2017).

El uso de un PLC en vez de un Arduino o un PIC, permite una mayor versatilidad al operar y presenta un hardware más potente que el Arduino.

PLC s7-1200	
Voltaje alimentación	de 24VDC
Consumo corriente	de 175 mA
Entradas digitales	8
Salidas digitales	6 tipo relé
Entradas analógicas	2

Tabla 3 Especificaciones técnicas PLC. Fuente: (Siemens, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

-
- En este trabajo de investigación se detallaron los pasos metodológicos seguidos para el diseño del sistema automatizado de molienda, en el escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores. Esta propuesta de diseño logra dar una solución viable a los requerimientos del sistema tratado.
 - Se lograron identificar las características del sistema actual de molienda, y así determinar las deficiencias y potencialidades que este presenta para el proceso productivo de las tabletas ecológicas.
 - Con una previa investigación se encontraron posibles soluciones de diseño al sistema de molienda, las cuales fueron analizadas y pasadas por una posterior evaluación, esto con el fin de identificar cual era la más óptima.
 - Teniendo en cuenta los requerimientos del proceso actual y las posibles soluciones de diseño existente, se logró realizar una propuesta de diseño que mejore el sistema de molienda en el escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores.
 - Se propone realizar la puesta en marcha del sistema de molienda diseñado, y así verificar el escalamiento que se realizó en el proceso productivo de tabletas ecológicas.
 - Para trabajos futuros se propone realizar una mejora los sistemas que integran el escalamiento del proceso productivo de tabletas ecológicas para el revestimiento de paredes interiores, esto con el fin de mejorar de manera significativa este proceso productivo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Acuña Acuña, J. (2009). Automatización industrial. *Tecnología en marcha*, 27-30.
- Airtec s.a. (2017). Ventilación industrial. 1-7. Callao, Perú.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra*. Bogotá D.C.: Secretaria distrital de ambiente.
- Barluenga Badiola, G., Melián Marrero, G., Flores Medina, N., Hernández Olivares, F., & Pérez Luzardo, J. M. (2008). Caracterización físico-mecánica de materiales cementicios puzolánicos avanzados y autocompactantes reforzados con fibras cortas de polipropileno. *1er Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante*, p. 617-629.
- Bedoya Montoya, C. M. (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de habitats urbanos sostenibles "La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural". *Universidad Nacional de Colombia*, 1-11.
- Casado, L. F. (1999). Equipos de trituración, molienda y clasificación: tecnología, diseño y aplicación. *Madrid : Rocas y Minerales* , 371 pp.
- Cruz veloza , M. A., & Gómez Rodríguez, O. A. (2013). *Influencia del Agregado Grueso Reciclado de Mampostería en el comportamiento del concreto reciclado*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana .
- E.Guarella, J., Heredia, J. P., Rodriguez, L., & Bagatto, I. (2011). Proyecto de motores. *Universidad Nacional de la plata*, 1-27.
- Eurodrive, S. (2017). Catalogo de productos y soluciones Sew 2017. *Sew eurodrive*, 81-82.
- Godoy Caguana, P. C., & Mora Sánchez, C. A. (2009). *Diseño y construcción de una máquina automática para la fabricación de prefabricados de hormigón*. Riobamba-Ecuador.
- Instruments, P. (2017). *PCE instruments*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2017, de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/sonometro-pce-instruments-son_metro-slt-trm-det_96190.htm?_list=kat&_listpos=9

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Schneider electric, C. (2016). *Guardamotores Schneider electric*.

Siemens, S. (2017). *Lista de precios Colombia*.

Signaworks, Inc. (2017). *ENTL-EthernetTowerLight2*.

Universidad Nacional de Colombia. (27 de Junio de 2017). *Observatorio Ígnea*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de <https://minas.medellin.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/ignea/laboratorio/quienes-somos.html>

VEGA, G. (1 de Julio de 2017). *Product Information VEGACAL 62, 65, 66, 67*.

Vina S, C. E. (1994). La ingenierización y la ingeniería concurrente en los proyectos de la industria farmacéutica y la biotecnología. *Revista Produccion Brasil.*, 4, 117-125.

Zapata, G. O. (18 de Mayo de 2016). *Manejo de Escombros un reto para el Aburrá*. Medellín, Antioquia, Colombia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE A

Cotización de los sistemas del proceso de automatizado de molienda.

Para la propuesta de diseño del sistema de molienda se tuvo en cuenta la disponibilidad y precios de los dispositivos que lo integran. A continuación, se muestran las componentes con su respectivo precio:

SISTEMA MECANICO		
COMPONENTE	EMPRESA-FABRICANTE	PRECIO DOLARES
ROD. MOLINO SKF 23144CCK/W33(x2)	ALFA BEARING S.AC	2012.71
CICLON	AIRTEC S. A	4370.82
TOLVA INGRESO	OTINIANO S. RL	1530
TOLVA SALIDA	OTINIANO S. RL	1190.48
SOPORTE EN GENERAL	OTINIANO S. RL	1020.41
CILINDRO MOLINO	OTINIANO S. RL	2721.09
ALIMENTADOR HELICOIDAL	OTINIANO S. RL	510.2
TUBO CONDUCTOR	OTINIANO S. RL	170.07
TUBERIAS CICLON	OTINIANO S. RL	680.27
ENGRANAJES Y PARRILLA MOLINO	OTINIANO S. RL	8319
	SUBTOTAL	22525.66

Tabla 4 Cotización sistema mecánico. Elaboración propia.

SISTEMA ELECTRONICO				
COMPONENTE	MARCA	MODELO	EMPRESA	PRECIO DOLARES
CONTROLADOR PLC	SIEMENS	SIMATIC S7-1200 CPU 1212C	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C	\$ 316.97
MODULO DE AMPLIACION	SIEMENS	SM1231 DE 4 AI	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C	\$ 285.15
SENSOR DE NIVEL POR SONDA CAPACITIVO 1.2M	VEGA	VEGACAL 62	CIMEC INGENIEROS S. A	\$ 1.806.00

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

SENSOR DE NIVEL POR SONDA CAPACITIVO 0.9 M	VEGA	VEGACAL 62	CIMEC INGENIEROS S. A	\$	1.750.00
SENSOR DE SONIDO DB	PCE INSTRUMENTS	NOISE METER SLT.TRM	PCE INSTRUMENTS	\$	313.36
CÉLULA DE CARGA	SIEMENS	SIWAREX WL280 RN-S	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C	\$	1.284.43
PILOTO INDICADOR x2	SIGNA WORKS	ETHERNET TOWER LIGHT 2 COLOR	SIGNA WORKS	\$	790.00
			SUBTOTAL		6545.91

Tabla 5 Cotización sistema electrónico. Elaboración propia.

SISTEMA DE POTENCIA				
COMPONENTE	MARCA	MODELO	EMPRESA	PRECIO DOLARES
MOTORREDUCTOR 2	SEW EURODRIVE	MOTORREDUCTOR_R07 DR63S4	SEW EURODRIVE S.A.C	\$ 497.97
MOTORREDUCTOR 2	SEW EURODRIVE	MOTORREDUCTOR_R07 DR225S4	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C	\$ 10.763.00
VENTILADOR CENTRIFUGO	AIRTEC S. A	MODELO VRLG 350x1.3 TIPO CENTRIFUGO	AIRTEC S. A	\$ 2.962.00
GUARDA MOTOR	SCHNEIDER	TESYS GV2 ME05	SCHNEIDER	\$ 73.00
GUARDA MOTOR	SCHNEIDER	NOISE METER SLT.TRM	SCHNEIDER	\$ 186.05
GUARDA MOTOR	SCHNEIDER	SIWAREX WL200 RN-S	SCHNEIDER	\$ 83.33
			SUBTOTAL	14566.76

Tabla 6 Cotización sistema de potencia. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES: Julio C. Assica.

FIRMA ASESOR : Jhon Alvarado S.U.

FECHA ENTREGA: 24-01-2018.

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____