



Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

**Henry Junior Aranzales López
Javier Arturo Aguillón Calderón**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá D.C., Colombia
2020

Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Henry Junior Aranzales López
Javier Arturo Aguillón Calderón

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecatrónico e
Ingeniero en Control y Automatización Industrial

Director (a):

Ingeniero José German Gutiérrez

Línea de Investigación:

Proyectos orientados a la solución de problemas de la industria, que contemplen una metodología y generen impacto.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá D.C., Colombia

2020

Dedicatoria,

A DIOS: por habernos permitido, a pesar de las adversidades y dificultades del camino, lograr los alcances pertinentes dentro de nuestra formación como ingenieros competentes.

A nuestros padres: por el inmenso apoyo brindado a lo largo de nuestra formación académica. Por habernos forjado como las personas que somos hoy en día y por brindarnos su acompañamiento moral, espiritual y económico. Su motivación día a día a fin de que alcanzáramos nuestros objetivos a nivel académico y profesional hoy se ve retribuida.

Agradecimientos

Queremos dejar plasmado nuestro más grato agradecimiento a la empresa Molinos Pulverizadores J.A., por habernos permitido desarrollar y aplicar este proyecto. El proceso fue enriquecedor ya que se nos permitió adquirir experiencias y habilidades necesarias para ser competentes en nuestro ámbito profesional.

De igual manera, nuestro grato reconocimiento a los docentes de la Universidad Antonio Nariño, que con sus conocimientos y metodologías de enseñanza contribuyeron grandemente en nuestra formación, permitiéndonos desempeñarnos de manera óptima y profesional al momento de la realización de nuestro proyecto integral de grado. De antemano, agradecemos al Ingeniero José German Gutiérrez, nuestro director del proyecto, por su constante apoyo, guía y orientación.

Resumen

En el presente documento se exhibe el desarrollo de un proyecto enfocado en la implementación de sistemas de pulverización en procesos industriales, el cual consiste en el diseño, fabricación y puesta en funcionamiento de un sistema industrial semiautomatizado para la reducción de partículas de arroz inoculado, que permita la obtención de un producto que cumpla con la granulometría requerida por la compañía colombiana INVESA, empresa que fabrica y comercializa productos para los sectores agropecuario, industrial y de la construcción. La partícula de arroz debe alcanzar un tamaño final específico para ser soluble y aplicable dentro del sector agrícola, en conjunto con otros componentes y aditivos, como fertilizante y plaguicida.

La máquina construida, consiste principalmente en una tolva de alimentación con su sistema dosificador por tornillo helicoidal, una unidad de pulverización y una unidad de clasificación que conecta con una unidad filtrante. Además, el sistema es controlado desde un único mando, denominado tablero de control eléctrico.

El sistema, en concordancia con el proceso de caracterización de la problemática a la cual se dio solución, cumple a cabalidad con los requerimientos exigidos por el usuario directo, los cuales se basan principalmente en: la obtención de un artefacto que cumpla con estándares de higiene, que ofrezca facilidad de mantenimiento, y que, además, permita alcanzar una producción de 40 kg/h de harina de arroz inoculado, donde las partículas presenten un tamaño de 90 micras.

Palabras clave: Pulverización, granulometría, transportador de tornillo, clasificador dinámico, molino de martillos, filtro de mangas.

Abstract

This document sets out the development of a project focused on the implementation of spray systems in industrial processes, which consists in the design, construction and implementation of a semi-automated industrial system for the reduction of inoculated rice particles, which allows the obtaining of a final product capable of complying with the granulometry required by colombian company INVESA, a company that manufactures and markets products for the agricultural, industrial and construction sectors. The rice particle must reach a specific final size to be soluble and applicable within the agricultural sector, in conjunction with other components and additives, such as fertilizer and pesticide.

The machine built consists mainly of a feed hopper with its helical screw dosing system, a spray unit and a sorting unit that connects to a filter unit. In addition, the system is controlled from a single controller, called an electrical control board.

The system, in accordance with the process of characterization of the problem to which solution was made, fully complies with the requirements demanded by the direct user, which are mainly based on: obtaining an artifact that meets hygiene standards, that offers ease of maintenance, and that also allows to achieve a production of 40 kg/h of inoculated rice flour, where the particles are 90 microns in size.

Keywords: Micropulverization, granulometry, screw conveyor, dynamic classifier, hammer mill, bag filter

Contenido

	Pág.
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	XI
Introducción.....	12
1. Capítulo 1: Antecedentes.....	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo General	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
2. Capítulo 2: Marco Teórico.....	19
2.1. Molienda y pulverización	19
2.1.1. Tipos de molienda.....	21
2.2. Molinos y tipos de molinos.....	21
2.2.1. Molino de Rodillos (Verticales).....	23
2.2.2. Molino de bolas	23
2.2.3. Molino de martillos (Fijos)	24
2.2.4. Mecanismos de molienda	25
2.2.5. Fuerzas y características propias de la partícula.....	26
2.3. Tolva de alimentación	27
2.4. Transportador de tornillo.....	28
2.4.1. Componentes del transportador de tornillo	28
2.4.2. Tipos de transportadores de tornillo.....	30
2.5. Clasificador dinámico.....	30
2.6. Filtro de mangas	31
2.6.1. Tipos de sistemas de limpiezas en los filtros de mangas	32
2.7. Tablero de control eléctrico	32
2.7.1. Contactor.....	33
2.7.2. Dispositivos de protección	33
2.7.3. Variador de velocidad	34
3. Capítulo 3: Metodología de desarrollo.....	35

4. Capítulo 4: Diseño sistema de molienda	38
4.1. Tolva de alimentación (Prismática)	39
4.2. Tornillo helicoidal para transporte de materia prima.....	42
4.2.1. Capacidad del transportador de tornillo	43
4.2.2. Tipo de acción del tornillo	45
4.2.3. Expansión térmica y deflexión	45
4.2.4. Potencia de accionamiento	45
4.3. Disco de molienda	47
4.4. Clasificador dinámico	51
4.5. Filtro de mangas	56
4.5.1. Selección de material filtrante y sistema de regeneración.....	57
4.5.2. Velocidad de filtración	59
4.5.3. Área total de filtrado y número de mangas	60
4.5.4. Velocidad ascendente y dimensionamiento del filtro	61
4.5.5. Caída de presión.....	62
4.5.6. Selección del ventilador	65
4.6. Apartado eléctrico de control	66
4.6.1. Motores y elementos de accionamiento y protección	66
4.6.2. Variadores de frecuencia	66
4.6.3. Control automático de limpieza.....	67
4.6.4. Control de carga en el motor principal y conductores.....	67
5. Capítulo 5: Resultados obtenidos	69
6. Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones	78
6.1. Conclusiones	78
6.2. Recomendaciones.....	80
7. Bibliografía	81

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1 Molino de rodillos	23
Figura 2-2 Molino de Bolas	24
Figura 2-3 Molino de martillos	25
Figura 2-4 Mecanismos de fractura en un proceso de molienda	26
Figura 2-5 Tipo de flujo del material en una tolva	27
Figura 2-6 Principio de funcionamiento de un transportador de tornillo	28
Figura 2-7 Rotación de un tornillo helicoidal (Sentido de giro)	29
Figura 2-8 Modelo de clasificador dinámico.....	30
Figura 2-9 Estructura general de un filtro de mangas.....	31
Figura 3-1 Etapas metodológicas para la elaboración del sistema de pulverización.....	35
Figura 4-1 Diseño de tolva prismática implementado	40
Figura 4-2 Especificaciones de una de las caras del tronco de pirámide	41
Figura 4-3 Grafica de relación entre el diámetro del disco y el número de revoluciones ..	49
Figura 4-4 Esquema en AUTOCAD de la zona de molienda	50
Figura 4-5 Dimensionamiento de la canastilla del clasificador	56
Figura 4-6 Magnitudes necesarias para el cálculo de la velocidad ascendente	62
Figura 4-7 Tarjeta GOYEN para control de válvulas solenoides	67
Figura 5-1 Descripción general de partes del sistema de molienda	69
Figura 5-2 Gabinete de control eléctrico	70
Figura 5-3 Unidad de alimentación	71
Figura 5-4 Unidad de molienda y clasificación.....	72
Figura 5-5 Variación de la granulometría en función de la variación de frecuencia	74
Figura 5-6 Unidad de filtración y captación.....	75
Figura 5-7 Partícula de arroz resultante del proceso de molienda: Tamaño de 90 micrómetros.....	76
Figura 5-8 Sistema de molienda completo e instalado	77
Figura 5-10 Ensamble final de las tres zonas del sistema de molienda	77

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1 Escalas del proceso de reducción de partícula	20
Tabla 2-2 Definición de tamaños de la partícula para los niveles de molienda	22
Tabla 2-3 Tipos de molinos con respecto al tamaño alcanzado al final del proceso.....	22
Tabla 4-1 Longitudes del trapecio de la cara de la tolva de alimentación	40
Tabla 4-2 Coeficiente de relleno de acuerdo con el tipo de carga.....	44
Tabla 4-3 Coeficiente de disminución del flujo en el transportador con respecto a la inclinación.....	44
Tabla 4-4 Magnitudes de partida para el diseño del transportador	46
Tabla 4-5 Eficiencia y precisión en la clasificación por aire de acuerdo con la inclinación	55
Tabla 4-6 Magnitudes de partida para el diseño del filtro de mangas	58
Tabla 4-7 Datos de los VFD seleccionados para el sistema de molienda	66
Tabla 5-1 Magnitudes definitivas de la tolva de alimentación.....	71
Tabla 5-2 Parámetros importantes de diseño del transportador.....	71
Tabla 5-3 Variación de la granulometría en función de la variación de frecuencia	73
Tabla 5-4 Resultados de diseño del Filtro	74

Introducción

La molienda se concibe como el proceso en el que las partículas de una materia en estado sólido se someten a una reducción de tamaño a través de un mecanismo mecánico o electromecánico (ECURED, 2013), que se implementa en diversos escenarios, como, por ejemplo, en el ámbito de alimentos y minerales. También hace referencia a la pulverización y micropulverización, que son procesos, en donde el tamaño del producto final es mucho más reducido y específico (fino). La molienda es la segunda etapa de un proceso de reducción de partículas, la primera corresponde a la trituración, que es la fase de reducción para tamaños gruesos (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 8), s.f.).

Esta es una labor que ha acompañado a la humanidad en tareas que abarcan desde ámbitos caseros hasta industriales, y es que a pesar de ser solo una transformación física de la materia que no altera la naturaleza de las sustancias (ECURED, 2013), es una operación de vital importancia en diversos procesos en la industria, ya que el tamaño de la partícula afecta directamente el proceso para la obtención de un producto final y su aplicación dentro de los diversos sectores de producción de la actividad económica nacional e internacional.

Las máquinas que se utilizan para llevar a cabo la reducción de partículas en la etapa de molienda se conocen como molinos. En la actualidad existe una amplia variedad de molinos pulverizadores, que difieren en su modo de funcionamiento, potencia y sector de aplicación en la industria, lo que hace que existan molinos de variadas formas y tamaños. Uno de los criterios de clasificación de estos equipos, es el tamaño del material que permiten alcanzar en el producto final, este puede ser grueso, fino o ultrafino (Duroudier, Ball and Rod Mills, 2016).

En este caso, en particular, el tipo de proceso que se lleva a cabo es el de molienda fina (Ver **Tabla 2-2**), para el cual, existen determinadas clases de molinos, tales como: de

12 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

martillos, de bolas y de rodillos; que permiten la obtención de un producto con el tamaño definido para tal tipo de transformación (de 0.09 a 1 mm). El molino usado para dar solución a la problemática que da origen al presente proyecto es un molino de martillos fijos.

De acuerdo con lo anterior y con base en una revisión bibliográfica, a la fecha, existen diversos emprendimientos a nivel académico, tanto nacional como internacionalmente, que hacen uso de un sistema para molienda fina basado en el molino de martillos para facilitar labores en diferentes contextos. A continuación, se exponen algunos de estos trabajos llevados a cabo por estudiantes de instituciones de educación superior:

- En la región de Nariño, Colombia, estudiantes de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, han realizado el diseño y elaboración de un arquetipo de máquina secadora y pulverizadora a fin de transformar la hoja de coca en harina natural dentro de la comunidad indígena Inkal Awa Unipa, creando una alternativa tecnológica que mejora los métodos artesanales y optimiza tiempos y costos, basada en la implementación de un secador rotatorio por inyección de aire caliente en compañía de un molino de martillos. (Bastidas Solarte & Guerra Lasso, 2019)
- En la Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas (Cuba), los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, diseñaron un molino de martillos para la obtención de harina de sorgo, solucionando así la principal problemática de personas que padecen de “Celiacía” o “Enteropatía al gluten”, ya que el molino proporciona harina de sorgo necesaria para la producción de varios tipos de alimentos que van desde dulces, bebidas y embutidos para personas sensibles al gluten. (Monteagudo Castillo, 2016)
- Estudiantes de la Universidad César Vallejo, en la ciudad de Trujillo en Perú, diseñaron un sistema para la alimentación de granos de maíz en un molino de martillos automatizado, implementando controladores lógico programables, permitiendo mejorar la uniformidad de la operación, mediante la variación de magnitudes como: velocidad, flujo másico y presión, de acuerdo a conveniencia del proceso y del producto a obtener. (Velasco Adrianzén , 2019)

Ahora bien, en cuanto a las soluciones brindadas a nivel industrial frente a procesos que requieren de una molienda fina, se tiene que en la industria colombiana existen pocas

compañías dedicadas y enfocadas en esta labor, como SIMSA LTDA, que es una empresa que se encarga de importar su maquinaria de molienda desde Alemania (incluidos los molinos de martillos); así mismo presta el servicio de instalación y mantenimiento técnico de los equipos comercializados (SIMSA, 2020). El proceso de importación de los equipos, trae consigo un aumento considerable en los precios de los mismos, puesto que son equipos que se comercializan por encargo y que, en ocasiones muy particulares, deben cumplir requerimientos específicos de diseño.

Es importante destacar que la empresa alemana con la cual tiene convenio esta entidad, es el Grupo NETZSCH, una compañía con una trayectoria de 140 años en el mercado global (NETZSCH, 2020), por lo que el motivo de dicha adquisición es principalmente el respaldo que ofrece en relación a la eficiencia de la maquinaria. Hay que tener en cuenta que, en Colombia, la industria de la fabricación de maquinaria para los procesos de micropulverización no es un ámbito que este desarrollado a profundidad, sino que, por el contrario, requiere de una inversión de tiempo, conocimientos y recursos económicos para lograr un avance significativo y llegar así a competir con los productos provenientes de países significativamente más desarrollados que la nación colombiana.

Además de la compañía mencionada anteriormente, están presentes las empresas MAQUINARIA INDUSTRIAL JL y MOLINOS PULVERIZADORES J.A., que se dedican al asesoramiento técnico y comercialización de equipos de molienda de nivel industrial, así como a la fabricación, mecanizado, mantenimiento y comercialización de molinos pulverizadores y micro pulverizadores. Esta última es la organización con la cual se trabajó para llevar a feliz término el diseño y construcción del sistema de molienda que se desarrolló.

El sistema de molienda construido, cuenta con cuatro unidades principales: unidad de control eléctrico, unidad de alimentación, unidad de molienda y clasificación, y unidad de captación y filtración del producto. La unidad de control eléctrico, es la que se encarga de controlar las unidades de alimentación, pulverización y filtración del sistema.

Como primera etapa del circuito de molienda, el sistema diseñado integra una tolva de alimentación con su sistema dosificador por tornillo sinfín. La unidad de pulverización, compuesta de un disco que incorpora martillos periféricos dispuestos equidistantemente, realiza la reducción de tamaño implementando alta velocidad para impactar las partículas con gran energía, además cuenta con una sección de clasificación granulométrica

14 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

integrada en la misma recámara, que permite, según la velocidad de rotación ajustada, determinar con un alto grado de precisión el tamaño final de la partícula de arroz.

Una vez las partículas logran el tamaño deseado, evacuan el molino para ser conducidas hacia la unidad filtrante. En el interior de esta unidad se encuentran las mangas filtrantes confeccionadas en tela industrial apropiada para este propósito y que permiten que el aire sea evacuado al exterior sin generar polución en el ambiente.

El presente documento, estructurado en seis capítulos, contiene información relevante que sustenta el diseño y construcción del sistema de pulverización. El capítulo uno contiene la descripción del objeto de estudio, la explicación de la importancia del desarrollo del proyecto y la definición de los resultados esperados al culminar con el desarrollo del proyecto.

En el capítulo dos y tres, se exponen la recopilación bibliográfica y consideraciones teóricas en las que se sustenta el proyecto y el conjunto lógico de etapas que se llevaron a cabo para llevar a feliz término el mismo, respectivamente.

En el cuarto capítulo se exponen detalles y consideraciones puntuales e importantes a cerca del diseño del sistema de molienda. Finalmente, los capítulos finales (5 y 6) se encargan de exponer los principales resultados y la revisión reflexiva de los mismos.

1. Capítulo 1: Antecedentes

A continuación, se exponen los aspectos relevantes del problema al cual se dio solución con la implementación del proyecto. De igual manera, se definen y aclaran los objetivos, así como los beneficiarios del mismo.

1.1. Planteamiento del problema

La iniciativa de crear un sistema electromecánico semiautomatizado que se encarga de la reducción de partículas en tamaños que pueden llegar hasta las 90 micras, surge como respuesta a los problemas de tipo ingenieril a los que da solución la empresa colombiana MOLINOS PULVERIZADORES J.A. Empresa Colombiana con una trayectoria de algo más de 20 años, dedicados a la industria de la reducción de partículas, cuya misión es la de permitir el uso de elementos de agregado en diferentes procesos industriales, a la vez que incrementa los niveles de producción (a nivel nacional) por medio de procedimientos eficientes de molturación.

La empresa mencionada anteriormente contaba con un cliente, la compañía colombiana INVESA, productora y comercializadora de productos para los sectores agropecuario, industrial y de la construcción, que requería un sistema de pulverización que le permitiera llevar el grano del arroz a un tamaño de 90 micras, que es lo mismo que alrededor de una malla 170 (Ver **Anexo P**). La malla es una medida del tamaño de partícula que se utiliza a menudo para determinar la distribución del tamaño de partícula de un material granular (carbotecnia, 2017).

El cliente solicitó el sistema en vista de que necesitaba complementar una línea de producción de fertilizantes, para lo cual, luego de introducir arroz en una autoclave a una temperatura de 130 °C y una presión de 15 psi, acompañado de un proceso de higienización, enfriamiento, inoculación, deshidratación y molienda, requería que su

16 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

materia prima alcanzara un tamaño de 90 micras, que al ser mezclado con otros componentes químicos se pueda aplicar en las plantas con el objetivo de combatir plagas y fertilizar cultivos.

De acuerdo con lo anterior, se plantea el problema desde el punto de vista de la ingeniería como la necesidad de diseñar y construir un sistema electromecánico que permite reducir el tamaño del grano de arroz hasta cumplir con la granulometría específica. Para esto, se hizo uso de cada una de las destrezas y conocimientos adquiridos durante el proceso de formación académica en relación a áreas del conocimiento como el diseño mecánico, eléctrico y electrónico, la supervisión, control y automatización de los procesos, la resistencia de materiales y la manufactura de productos para la industria, que a su vez permiten diagnosticar, diseñar, construir y ejecutar posibles soluciones a necesidades que se presentan en la sociedad y la industria, como es el caso.

La aplicación de dichos conocimientos se aprecia ya que, de manera específica, por ejemplo, se diseñó un sistema de dosificación por tornillo helicoidal que permite suministrar la cantidad adecuada de materia prima para cumplir con los parámetros de producción, por lo que es indispensable controlar la frecuencia de suministro, la capacidad del transportador de tornillo y la potencia de accionamiento. De igual manera, el diseño y manufactura de cada elemento, mecanismo y dispositivo no universal se llevó a cabo por parte de los autores del presente documento en trabajo conjunto y colaborativo con el personal de la empresa MOLINOS PULVERIZADORES J.A.

1.2. Justificación

La economía colombiana tiene sus bases, principalmente, en la producción de: bienes primarios y bienes de consumo, los primeros para exportación y los segundos para consumo interno en el mercado nacional, donde la agricultura se establece como una de las principales fuentes de ingreso económico (PORTAFOLIO, 2020).

Con el desarrollo de este proyecto se contribuye parcialmente a la solución de una necesidad en un contexto específico, enmarcado dentro de los lineamientos de una organización en particular. Puesto que el diseño y construcción de un sistema de pulverización que permite obtener un producto final capaz de cumplir con la granulometría que se requiere para ser soluble y aplicable en la producción de fertilizantes y plaguicidas, no solamente soluciona el problema de ingeniería que afronta dicho proceso, supliendo la

necesidad de una máquina que facilite, complemente y garantice la obtención del insumo agrícola requerido, sino que a su vez, de manera indirecta, contribuye a mantener una agricultura sostenible, ya que, se ha demostrado que la sanidad de los cultivos es un factor de vital importancia para alcanzar niveles óptimos de productividad y rentabilidad económica en los sistemas agrícolas, por ejemplo, el director de Biodiversidad de la Asociación Europea de Protección de los Cultivos (ECPA), Gavin Whitmore, explica en una publicación de la revista digital Open Access Government la importancia de la protección de los cultivos mediante un correcto control de plagas para así garantizar el desarrollo de un sistema de agricultura sostenible, exponiendo que la incidencia de plagas afecta directamente el rendimiento y la calidad de las cosechas (2015).

Este proyecto de ingeniería, cuenta con determinadas características de funcionamiento que delimitan los rangos de especificaciones técnicas y de producción dentro de las cuales el equipo mantendrá un óptimo desempeño (Ver **Anexo Q**), por lo que contar con el buen funcionamiento del mecanismo es de vital importancia para alcanzar una buena ejecución de los procesos y etapas determinados para los resultados requeridos específicamente, lo que permite a la empresa directamente beneficiada, estar a la vanguardia tecnológica de los procesos y técnicas de pulverización de partículas en el marco nacional, contando con un sistema novedoso y eficaz, que hace uso de los avances tecnológicos con el objetivo de permitir el control y semiautomatización de un molino para el desarrollo de una actividad industrial completa y satisfactoria.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y construir un sistema semiautomatizado para la reducción de partículas de arroz inoculado, que permita complementar una línea de producción de mezclas de fertilizantes y plaguicidas inorgánicos en polvo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar y caracterizar el proceso de la empresa dedicada a la producción de insumos agrícolas para determinar las especificaciones técnicas, tecnológicas, de

18 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

recursos y de producción que permitan elaborar un sistema que cumpla a cabalidad con las necesidades del cliente.

- Realizar el diseño completo del sistema de pulverización haciendo uso de software de diseño asistido por computadora como SOLIDWORKS y AUTOCAD.
- Seleccionar de manera eficaz los equipos, componentes y materiales necesarios para cumplir con la inocuidad y el desarrollo del sistema de molienda y clasificación.
- Diseñar el sistema de mando y control para la semiautomatización necesaria a fin de alcanzar el propósito del proyecto.
- Construir y ensamblar cada una de las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas del sistema.
- Implementar y poner en marcha el sistema de pulverización a fin de verificar su adecuado funcionamiento y garantizar que el grano de arroz inoculado alcance la granulometría requerida.
- Elaborar el correspondiente manual de usuario, que permita conocer previamente el funcionamiento del sistema al operario que se encargará de la ejecución del proceso.

2. Capítulo 2: Marco Teórico

En la extensión de este capítulo encontrará los detalles de la colección de estudios e investigaciones anteriores, así como los fundamentos teóricos en las que se sustenta el proyecto en mención.

2.1. Molienda y pulverización

La economía de una nación se clasifica en sectores económicos, que corresponden a la distribución de la actividad económica de la misma. Dentro de estos sectores, se encuentra el encargado de la transformación de materias primas en productos industrializados con valor agregado o en equipos industriales (Reina, Zuluaga, & Rozo, 2006). De esta manera, la industria se puede definir como toda actividad que busca obtener como resultado un producto con un valor agregado, esto, como consecuencia del procesamiento al que es sometido algún tipo de materia o material.

La molienda, concebida como un procedimiento que tiene como fin la reducción del tamaño de una partícula sólida independientemente de la técnica o método, hasta obtener una granulometría deseada, es un proceso de vital importancia dentro de muchos sectores industriales como: el minero, el metalúrgico y siderúrgico, el alimentario, el cementero, el naturista, el de reciclaje y el agroindustrial; siendo este último, el sector de particular interés dentro de la realización del proyecto en mención (ECURED, 2013).

Por su parte, el término pulverización, aunque con el mismo objetivo, hace referencia a un proceso donde el tamaño de la partícula es mucho más reducido (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 5: Fragmentación), s.f.). Sin embargo, es muy común que, en ámbitos reales y prácticos, la molienda también se conozca como pulverización. Lo que, si es cierto, independientemente del término que se use, es que esta actividad tiene

20 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

diversos fines y propósitos dentro de la industria. La reducción del tamaño de partículas se lleva a cabo para:

- Facilitar el procesamiento de los sólidos e incrementar los usos del producto.
- Aumentar la dispersión de un sólido en un líquido.
- Aumentar la velocidad de disolución en un líquido.
- Permitir mezclas íntimas y homogéneas.
- Facilitar la reacción química entre productos.
- Facilitar la extracción de constituyentes.

Es importante destacar que la molienda se concibe como el escalón final de un proceso completo de fragmentación (reducción de partículas) y se distingue por que el tamaño de los productos está entre rangos de los mm (milímetros) y los μm (micrómetros) (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 8), s.f.). Aunque el proyecto llevado a cabo se centra en la etapa de molienda, en la **Tabla 2-1** se exponen las principales diferencias entre las denominaciones asignadas a los procesos de reducción de partículas en la industria:

Tabla 2-1
Escalas del proceso de reducción de partículas

Proceso	Etapa	Escala de acción	Tipo de equipo implementado
Reducción de partículas.	Trituración (Etapa de reducción para tamaños gruesos)	Primaria Secundaria Terciaria	Trituradoras
	Molturación (Etapa de reducción para tamaños finos)	Gruesa Fina Ultrafina	Molinos

Nota: La tabla describe las etapas, consideradas industrialmente, dentro del proceso de reducción de partículas. Fuente: (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 8), s.f.).

En la **Tabla 2-1** se aprecia que para la operación de fragmentación se utilizan las máquinas conocidas con el nombre trituradoras y molinos, que se caracterizan por su diseño especializado para diferentes tamaños y productos, en diversos ámbitos de la industria. Comúnmente, los sistemas de reducción mediante trituradoras trabajan en los tamaños

grandes y los molinos en los tamaños menores, siendo esta, la diferencia entre un proceso de trituración y uno de molienda.

2.1.1. Tipos de molienda

El proceso de molienda se puede categorizar en dos tipos, de acuerdo con el circuito de molturación (PROCESAMINERALES, 2016):

- **Molienda en circuito abierto:** en este proceso, el material que será reducido pasa solamente una vez por el molino. No existe una interacción inmediata y paralela entre las etapas de clasificación y de molienda.
- **Molienda en circuito cerrado:** en este proceso, existe una interacción paralela y constante entre las etapas de clasificación y de molienda. El molino hace uso de un clasificador que se encarga de permitir el paso de las partículas que ya alcanzaron la granulometría deseada, por su parte, el producto grueso retorna de nuevo al molino cuantas veces sea necesario.

Otra clasificación que se tiene en cuenta dentro de la molienda es según el estado del material que va a ser reducido. De acuerdo con este criterio, se tiene (Fayed & Otten, 1997):

- **Molienda por vía seca:** es cuando el material llega seco al molino, es decir, con un bajo grado de humedad. Es ideal que esta humedad no exceda el 7%.
- **Molienda de secado:** aquí el material ingresa húmedo y se seca durante el proceso de reducción.
- **Molienda por vía húmeda:** el material que ingresa al circuito de molienda es previamente mezclado con una cantidad conveniente de agua o de algún otro fluido, según se requiera. Los rangos de humedad oscilan entre el 40% y el 70%.

2.2. Molinos y tipos de molinos

Los molinos son aparatos compuestos por elementos móviles que se encargan de reducir el tamaño de un material sólido (Real Academia Española, 2019). Para llevar a cabo esta acción de reducción, existen diversos tipos de molinos, cuya elección se debe a la

22 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

naturaleza de la materia prima (dureza, granulometría y humedad) que se desea procesar y al grado de finura que se requiere al final del proceso de molienda.

El tamaño de salida de los productos de un proceso de molienda, según el docente Hükki, se clasifica en las siguientes categorías (Duroudier, Principles and Theories, 2016):

Tabla 2-2

Definición de tamaños de la partícula para los niveles de molienda

Tipo de proceso	Tamaño de salida [mm]
Molienda gruesa	De 10 a 1
Molienda fina	De 1 a 0,09
Molienda ultrafina	De 0,09 a 0,01

Nota: La tabla muestra los rangos de tamaño en milímetros que se contemplan para cada nivel de molienda. Por debajo del rango de molienda ultrafina, se considera el proceso conocido con el nombre de micronización. Fuente: (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 5: Fragmentación), s.f.).

Tabla 2-3

Tipos de molinos con respecto al tamaño alcanzado al final del proceso.

Tipo de proceso	Nombre del equipo	Tipo de equipo
Molienda gruesa	Molinos de gruesos	-De rodillos
Molienda fina	Molinos de finos: "Mills Grinders"	-De martillo-De bolas- De rodillos
Molienda ultrafina	Molinos de ultrafinos	-De martillo-De bolas

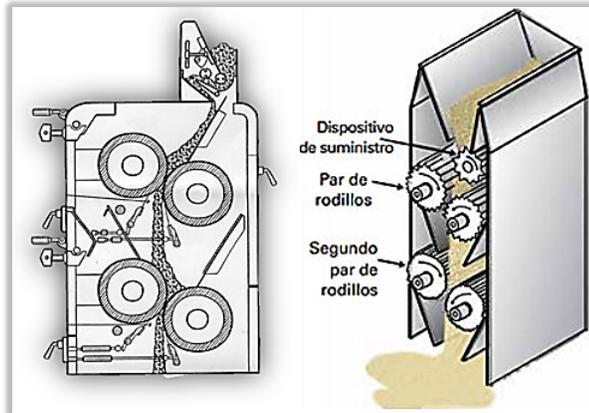
Nota: Se presenta una clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido. Por temas de practicidad y simplicidad, el enfoque teórico se centra en los molinos utilizados para un rango de reducción de tamaño intermedio y fino. Fuente: (Universidad Nacional del Sur, 2013).

En la realidad industrial, normalmente, un solo equipo no puede realizar la reducción del tamaño de un bloque de partículas requerida desde el tamaño de alimentación (entrada) hasta el tamaño exigido en los productos (salida), razón por la que se establecen etapas de fragmentación que suelen estar referidas a los equipos que la producen o a los tamaños requeridos en el uso de los productos (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 5: Fragmentación), s.f.).

2.2.1. Molino de Rodillos (Verticales)

La reducción de partículas en este molino se basa en la compresión entre los rodillos rotatorios y la fricción que se ejerce sobre materia prima (Ver **Figura 2-1**).

Figura 2-1
Molino de rodillos



Nota: La ilustración muestra un esquema general y simplificado de la configuración habitual de un molino de rodillos vertical. Fuente: (Wood & Malcomson, 2011)

Este molino consta de rodillos moledores, los cuales giran en posición contraria uno con respecto al otro. Estos rodillos se sostienen a presión mediante cilindros hidráulicos, mediante un mecanismo rotatorio en forma de huella. El material a moler se introduce a mediante un ducto de alimentación y llega a las huellas de molido (pistas) gracias al efecto de gravedad (Duroudier, Ball and Rod Mills, 2016).

La granulometría del producto final se controla a través del espacio entre los rodillos rotatorios. Los rodillos pueden ser lisos, dentadas o estriadas, dependiendo de la acción de adherencia que se requiera para la molienda del material.

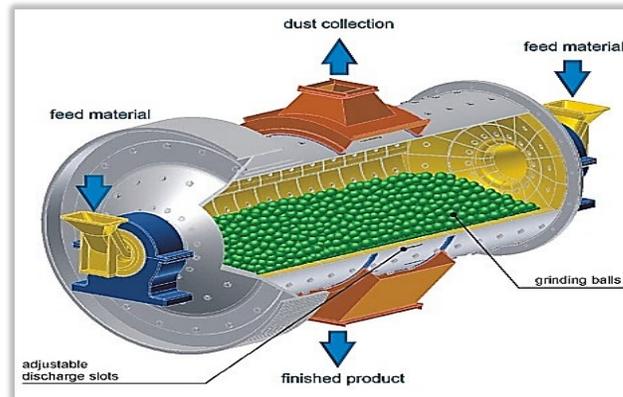
2.2.2. Molino de bolas

Este molino tiene un cuerpo cilíndrico con eje horizontal, que contiene esferas libres, fabricadas en un material duro (Ver **Figura 2-2**). Dicho cilindro gira gracias al accionamiento de un motor conectado al eje del mismo cuerpo. En este equipo, predominan las fuerzas de impacto y cizalla para la disminución del cuerpo. A medida que el cuerpo cilíndrico gira, las esferas se elevan dentro del mismo y caen en un efecto de cascada sobre las partículas a moler, que llenan la zona libre entre bolas. Las esferas caen

24 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

a su vez entre sí, generando el cizallamiento de la materia fragmentada (Duroudier, Ball and Rod Mills, 2016).

Figura 2-2
Molino de Bolas



Nota: En este tipo de molino, influye en gran medida la velocidad de giro del eje del cilindro, ya que, a velocidades pequeñas, Las esferas giran unas sobre otras de forma que las fuerzas de cizalla predominan, mientras que, si las velocidades de rotación son altas, la elevación de las esferas también es mayor y crecen las fuerzas de impacto. Fuente: (Brown, 2016)

2.2.3. Molino de martillos (Fijos)

El principio que rige las condiciones de funcionamiento de este molino es el impacto generado por el material entre los cuerpos. Estos molinos son los más utilizados para la trituración de granos por la técnica de percusión.

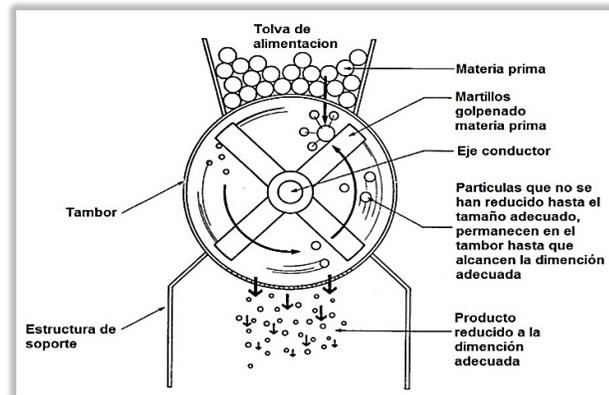
Es tipo de molino se compone normalmente de un cuerpo móvil llamado martillo, que rota entorno a un eje giratorio accionado por un motor; y una criba, que cumple la función de tamiz al filtrar mediante sus perforaciones el material reducido (Ver **Figura 2-3**). Los martillos rotan a velocidades muy altas que varían entre 500 y 1900 RPM (Revoluciones por minuto). Esta es una condición necesaria para lograr una gran energía cinética, que una vez entregada al martillo logre fracturar la partícula en el punto de choque, logrando un comportamiento similar al de materiales frágiles (Ortega Rivas, 2015).

Las principales características positivas de este molino son:

- Tiene la capacidad de funcionar sin interrupción.
- El mantenimiento es relativamente fácil.
- Es apropiado para molienda por vía seca.

- La molienda es continua hasta que la granulometría alcanzada le permita al producto cruzar la criba.

Figura 2-3
Molino de martillos



Nota: La ilustración muestra un esquema general y simplificado de la configuración habitual de un molino de martillos. Fuente: (Ortega Rivas, 2015)

2.2.4. Mecanismos de molienda

Para lograr la reducción del tamaño de una partícula se requiere de una energía que cause la fractura de la misma. Los molinos destacados anteriormente utilizan diferentes mecanismos de molienda y se clasifican también, de acuerdo al tipo de fuerza que participa en el proceso. Así mismo, para su diseño, se tienen que tener en cuenta factores y propiedades fundamentales del producto que se va a procesar. Con base en la forma de aplicación de los esfuerzos para tal fin, se distinguen los principales mecanismos de la molienda que se presentan a continuación:

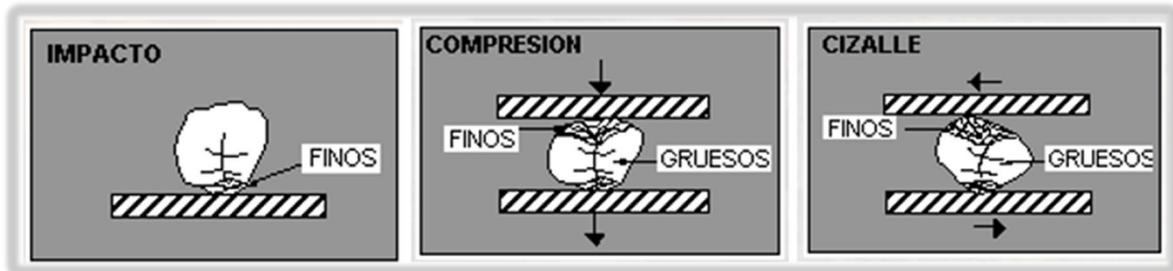
- **Abrasión:** se da con la existencia de un rozamiento (esfuerzo de cizalle concentrado en la superficie de la partícula) que permita alcanzar una reducción deseada. Esta técnica, aplica las fuerzas de compresión y de impacto de manera simultánea (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 8), s.f.).
- **Impacto (Percusión):** se refiere a un golpe instantáneo de un objeto moviéndose contra otro. Este mecanismo se utiliza principalmente en molinos de impacto y molino de martillos. En general, este tipo de fuerza no es apta para materiales muy abrasivos la reducción es muy elevada (Duroudier, Principles and Theories, 2016).

26 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

- **Compresión:** sucede cuando la energía suministrada es la adecuada para llevar la partícula su punto de quiebre. Es utilizada para la reducción gruesa de cuerpos rígidos, generando productos robustos, medios y finos. Esta técnica se usa en molinos giratorios y de cilindros (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 8), s.f.).

Figura 2-4

Mecanismos de fractura en un proceso de molienda



Nota: En la ilustración se evidencia, de manera gráfica, la aplicación de los esfuerzos de impacto, compresión y cizalle como mecanismos para la reducción de partículas. Fuente: (Metalurgia Extractiva, 2018)

Además de los mecanismos destacados, existen equipos que utilizan una combinación de estas técnicas para la reducción de partículas, conocidos como sistemas de molienda mixtos. La **Figura 2-4** muestra de manera gráfica el modo de operación de cada una de las técnicas de molienda mencionadas.

2.2.5. Fuerzas y características propias de la partícula

Previamente al proceso de molienda, los materiales y sustancias que serán sometidos al proceso de reducción de tamaño deben ser caracterizados en función a las propiedades siguientes (Blanco, Curso de Tecnología Mineralúrgica (Tema 5: Fragmentación), s.f.):

- **Molturabilidad:** es la facilidad para la trituración, normalmente relacionada con la energía necesaria.
- **Dureza:** es la rigidez del material a la deformación localizada en su superficie.
- **Tenacidad:** representa la resistencia de la materia a ser fragmentada por tensión. Se conoce también como la energía que soporta dicho elemento antes de alcanzar la quiebra en el impacto.

- **Abrasividad:** hace referencia a la condición más o menos agresiva en cuanto al deterioro de los equipos y de los materiales.

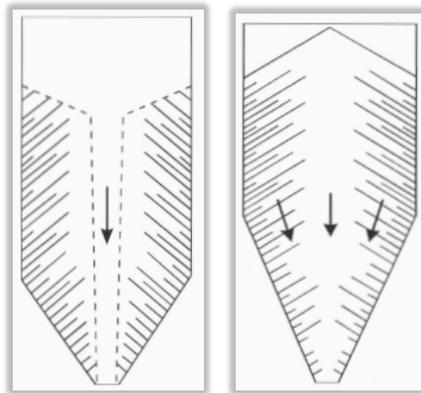
2.3. Tolva de alimentación

Es un dispositivo equivalente a un tronco de pirámide o a un cono invertido, abierta en uno o ambos extremos y de gran tamaño, destinado al depósito y canalización de materiales granulares, entre otros (LEXICO, 2016).

Las tolvas pueden ser cónicas o prismáticas. Sin embargo, independientemente de su forma, el flujo de descarga de un material dentro de estos elementos se puede dar de dos maneras (Amorós, Sanchez, & García):

Figura 2-5

Tipo de flujo del material en una tolva



Nota: La ilustración muestra la representación del tipo de flujo que se da en una tolva. De izquierda a derecha, se muestra el flujo: tubular y másico. Fuente: (Amorós, Sanchez, & García)

- **Flujo tubular:** se forma un canal flujo en línea con la sección de salida de la tolva, que está, formándose una zona alrededor donde el material permanece estático (Ver **Figura 2-5**). Durante la descarga del material, si el material es poco cohesivo, la parte que se encuentra adherida a las paredes se va desmoronando, alimentando el canal central; de lo contrario, el vaciado de la tolva puede llegar a detenerse.
- **Flujo másico:** en este tipo de flujo, todo el material se mueve al tiempo durante la descarga. Además, presenta la ventaja de que el orden de descarga del material, es igual que el de ingreso a la tolva (Ver **Figura 2-5**).

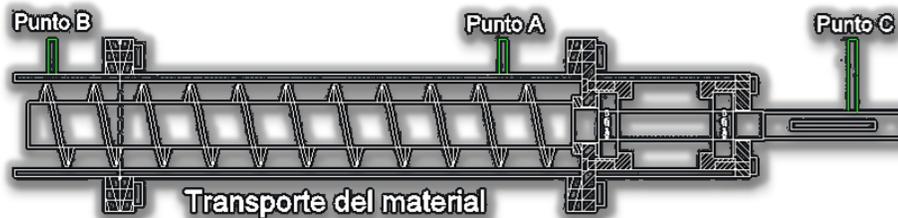
2.4. Transportador de tornillo

Un transportador de tornillo helicoidal, también llamado sinfín es un dispositivo de transporte mecánico principalmente para sólidos a granel en polvo y materiales granulares. En el corazón del mecanismo está el tornillo, compuesto por un eje y un conjunto de helicoidales. El tornillo es girado por una unidad de accionamiento (motor), lo que provoca el desplazamiento del material transportado un paso con cada revolución en la dirección establecida por el sentido de giro del motor (Metalurgia Extractiva, 2018).

El accionamiento del transportador de tornillo es responsable de proporcionar la fuerza para trasladar el material. De esta manera, el caudal del mismo está estrechamente relacionado con las revoluciones de giro del tornillo, el diámetro del eje, el paso (distancia entre crestas de la helicoidal), la inclinación, el nivel del llenado y el roce del material con el mismo (Martin, 2017).

Figura 2-6

Principio de funcionamiento de un transportador de tornillo



Nota: En la imagen se aprecian los puntos de vital importancia para el funcionamiento de un transportador de tornillo. Fuente - Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 2-6**, el material a transportar se ingresa a través de la sección A (Entrada), y por acción del movimiento del mecanismo con respecto al actuador ubicado en el punto C avanza hasta de salida (sección B), garantizándose un flujo aproximadamente constante de material a través del mecanismo.

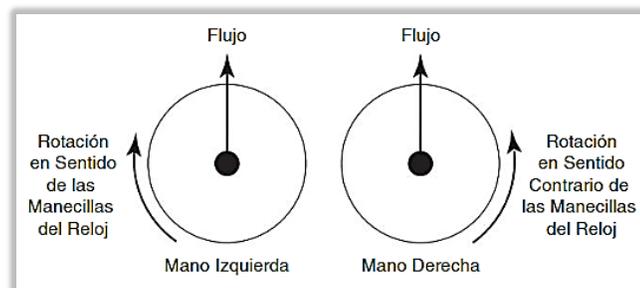
2.4.1. Componentes del transportador de tornillo

Esencialmente, un transportador de tornillo debe estar compuesto por el menos las siguientes partes o componentes:

- **Unidad de accionamiento (Actuador):** un componente de suma importancia para el mecanismo de transporte por tornillo helicoidal es el actuador o unidad de accionamiento, el cual, está conformado habitualmente por un motorreductor, que se encarga de hacer rotar el tornillo a una rapidez deseada y controlada.
- **Carcasa:** este elemento está formado por paredes metálicas, que están allí para proporcionar una superficie de transporte para el material conducido encerrando el tornillo helicoidal, al tiempo que permite el acceso a los componentes internos para el mantenimiento.
- **Tornillo helicoidal (Hélice y eje):** este componente es el órgano principal del transportador y es el que se encarga de desplazar el material a transportar en la longitud del ducto. Las secciones del tornillo se conforman por un eje y espiras adheridas al mismo para formar una superficie continua y con forma helicoidal.

Figura 2-7

Rotación de un tornillo helicoidal (Sentido de giro)



Nota: En la figura se aprecia que, partiendo del punto de referencia del observador, el tornillo helicoidal será mano derecha o mano izquierda si el giro se produce en sentido contrario o acorde a la dirección de las manecillas del reloj, respectivamente. Fuente: (Martin, 2017).

El sentido de giro del tornillo depende directamente del sentido de giro del motor que acciona el mecanismo. El motor puede tener dos sentidos de giro: horario y antihorario. Dicho sentido de giro en conjunto con la configuración del tornillo (Ver **Figura 2-7**), determinan la dirección de desplazamiento del material transportado (Martin, 2017).

De manera física, la estructura de un transportador helicoidal se verá reflejada en la configuración del helicoide y la dirección del mismo se determinará revisando el extremo del helicoidal. Es decir: un helicoidal mano izquierdo es aquel que tiene la hélice enrollada

30 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

al eje en sentido opuesto a las manecillas del reloj, si de lo contrario, este enrollamiento se produce en sentido horario, se dice que el helicoidal es mano derecha (Martin, 2017).

2.4.2. Tipos de transportadores de tornillo

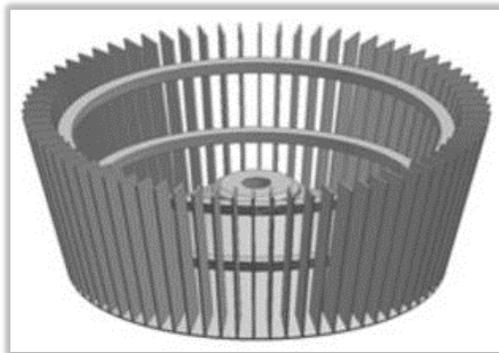
La clasificación que se puede dar a los transportadores de tornillo está dada de acuerdo a tres criterios: según el tipo de carcasa, según el tipo de helicoide y según el paso de la misma. El paso, de un tornillo helicoidal, se puede definir como la distancia entre los picos de la helicoidal con respecto a la horizontal. Esta clasificación se puede apreciar en las tablas y figuras expuestas en el **Anexo R**.

2.5. Clasificador dinámico

Un clasificador dinámico, es una rueda que utiliza los principios de elutriación, fuerza de arrastre y fuerza centrífuga para separar los materiales en fracciones gruesas y finas, mediante la presencia de un flujo de aire desde el exterior hasta el interior (Toneva, Epple, Breuer, & Peukert, 2011). La rueda tiene paletas dispuestas en un anillo que se extiende paralelo al eje de rotación de la rueda. Las paletas se colocan entre los discos superior e inferior de la canastilla (Ver **Figura 2-8**).

Figura 2-8

Modelo de clasificador dinámico



Nota: La rueda de clasificación está fabricada en un material sinterizado resistente al desgaste. Los canales de flujo están formados por las superficies de las paletas que se extienden paralelas entre sí y en dirección del eje de rotación de la rueda. Fuente: (MASEIR, 2015).

Para comprender cómo afecta la velocidad de rotación del clasificador a la admisión de las partículas de acuerdo a su tamaño, se puede partir de lo que le sucede a una partícula cuando se acerca a la rueda. En este punto, existen dos fuerzas que actúan sobre la

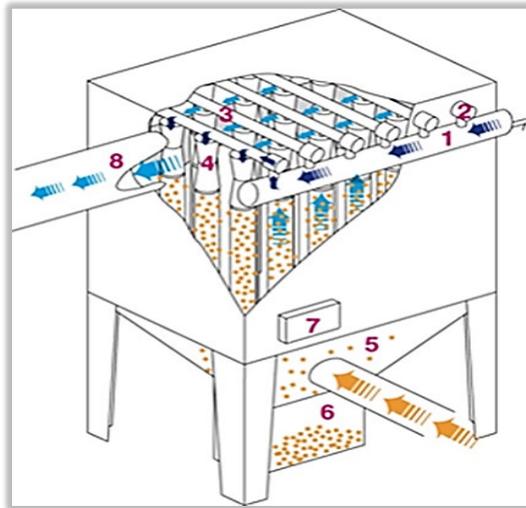
partícula: una fuerza de arrastre (centrípeta) generada por el flujo de aire que viaja hacia la rueda y una fuerza gravitacional (centrífuga) generada por la rotación de la rueda (Toneva, Epple, Breuer, & Peukert, 2011).

2.6. Filtro de mangas

Este sistema es un colector de polvo que utiliza bolsas basadas en materiales filtrantes. Se compone de varias columnas de bolsas de tela (mangas). Internamente, hay un gas (comúnmente aire) que transporta partículas a lo largo del área de las bolsas y luego a través de la tela. En este proceso, las partículas se adhieren a la superficie de las bolsas mientras que el gas limpio se expulsa hacia el ambiente.

Figura 2-9

Estructura general de un filtro de mangas



Nota: Las partes enumeradas en la figura corresponden, en el orden, a: recipiente de almacenamiento de gas comprimido, actuadores neumáticos, toberas para conducción de gas comprimido, bolsas de tela u otro material filtrante, tolva de descarga, flujo de entrada, dispositivo de medición de condiciones al interior y por último, el ducto de salida de gas limpio. Fuente: (Junco, 2019).

Una vez se han recolectado las partículas que llegan al sistema de filtrado, mediante un accionamiento neumático o mecánico (vibrador) de algún actuador preestablecido con anterioridad, se genera la limpieza y remoción de las partículas almacenadas previamente, para su expulsión del sistema.

32 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

La característica principal que genera diferencia entre los tipos de filtros de mangas existentes, es la forma en que se lleva a cabo su limpieza; además, esto condiciona que los filtros sean discontinuos o continuos, es decir, que la limpieza se realice interrumpiendo o no, el paso de aire (con flujo de partículas) por el filtro, respectivamente.

2.6.1. Tipos de sistemas de limpiezas en los filtros de mangas

Los filtros se pueden clasificar teniendo en cuenta diferentes características, como: el método de limpieza, el curso de flujo del aire en la manga (hacia el interior, hacia el exterior o a la inversa), la ubicación del mecanismo de ventilación y el tamaño de la unidad de filtrado. A continuación, se exponen los sistemas de limpieza que pueden ser implementados (Cooper C & Alley, 202):

- **Limpieza por Sacudimiento Mecánico:** en este sistema, una vez llevado a cabo el sistema de recolección, un sistema mecánico vibratorio se encarga de provocar el barrido de las partículas.
- **Limpieza por Flujo Invertido:** en este sistema, se suspende el flujo de entrada al filtro, permitiendo el flujo del aire de limpieza a través de las mangas, en sentido inverso al de ingreso, provocando el desprendimiento de la capa de partículas.
- **Limpieza Pulse-Jet:** este sistema implementa un mecanismo neumático que suministra aire comprimido al interior de cada bolsa, creando una onda de choque, que provoca la separación entre las partículas y la tela.(Cooper C & Alley, 202).

2.7. Tablero de control eléctrico

El tablero de control eléctrico es un armazón o gabinete, en este caso en acero inoxidable, que es utilizado para proteger a todos los componentes, en el cual incluye una serie de dispositivos que permite la medición, maniobra, protección, conexión y señalización, para ejecutar un trabajo en específico dentro de un sistema eléctrico. A continuación, se definen las principales características de los elementos que conforman el gabinete de control eléctrico (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, 2013).

2.7.1. Contactor

El contactor es un componente eléctrico automático, que se usa para activar o desactivar circuitos eléctricos de potencia, ya sean motores eléctricos o sistemas de iluminación. Este accionamiento se da gracias a un electroimán que localizado dentro y que permite que los contactos principales den lugar al enclavamiento del dispositivo.

Su funcionamiento se basa en la energización de la bobina, esto causa un desplazamiento del núcleo que a su vez provoca el movimiento de los contactos principales y secundarios, permitiendo el funcionamiento del circuito eléctrico de potencia. Cuando desaparece la extinción de la bobina, los contactos principales quedan abiertos nuevamente por efecto del resorte de presión, lo cual deja el circuito eléctrico sin circulación de corriente (Vilches, El Contactor, 2018).

2.7.2. Dispositivos de protección

Son dispositivos cuya función principal es salvaguardar al operario de posibles accidentes eléctricos, así mismo proteger de una posible sobrecarga de tensión o cortocircuito el sistema eléctrico y todos sus componentes que lo conforman. A continuación, se describen teóricamente, los dispositivos de protección que se implementaron para garantizar un correcto funcionamiento y evitar incidentes durante el funcionamiento del molino (Vilches, Dispositivos de protección, 2018):

- **Interruptor termomagnético:** también conocido como disyuntor. Tiene la capacidad de suspender automáticamente el flujo de corriente eléctrica, cuando se detectan valores de corriente muy altas o superiores, de acuerdo a la corriente ya establecida por el fabricante del dispositivo. esto sucede cuando sus contactos internos se abren antes de que la instalación sufra daños gracias a estos sucesos. Este elemento también tiene la función de poder dar paso a la corriente eléctrica y así mismo desconectar los circuitos a voluntad del usuario u operario.
- **Relé térmico:** es un elemento utilizado para proteger motores contra las sobrecargas. El relé térmico trabaja sobre el principio del efecto térmico de la energía eléctrica. Las tiras bimetálicas, las bobinas de calentamiento y los transformadores de corriente son las partes importantes del relé térmico. Una sobrecarga hace que las tiras bimetálicas se calienten. Se doblan, a su vez

34 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

haciendo que el contacto se abra e interrumpa el suministro de la bobina del contactor.

2.7.3. Variador de velocidad

Estos dispositivos son convertidores de frecuencia, que permiten el control de la velocidad en motores eléctricos, impulsando el actuador con base a una variación en la frecuencia y el voltaje suministrados. La variación de estos parámetros se lleva a cabo con el objetivo de (Danfoss, 2019):

- Optimizar la producción en procesos industriales.
- Disminuir la cantidad de energía consumida.
- Aminorar el efecto negativo de las fuerzas internas en el control de motores.

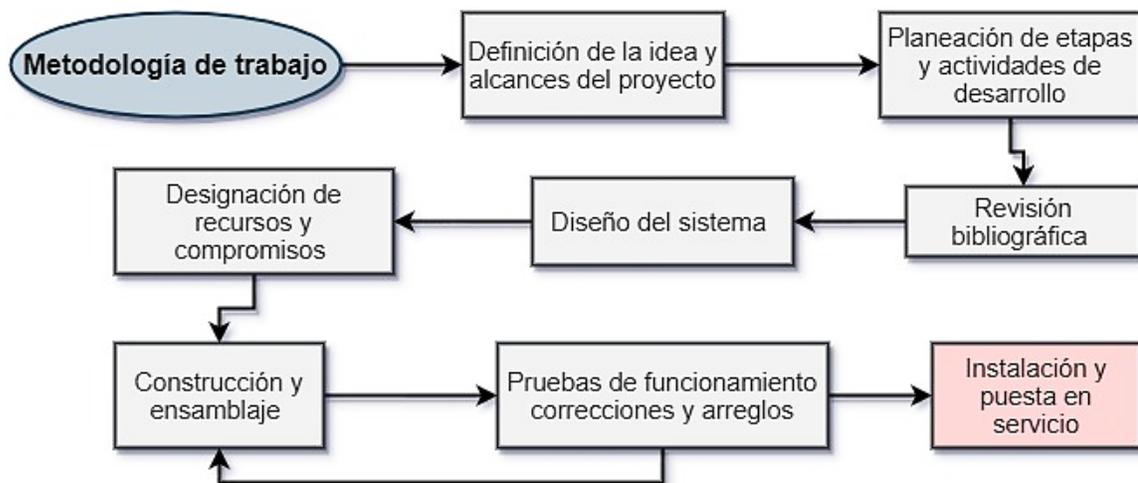
Los variadores de velocidad también se usan para convertir energía originaria de fuentes naturales y renovables a fin de ser utilizadas para el consumo local en una red eléctrica.

3. Capítulo 3: Metodología de desarrollo

En la ejecución del proyecto, se utilizó la metodología de trabajo que se especifica a continuación, que permitió integrar el conjunto de etapas, procedimientos y actividades necesarias para llevar a cabo el desarrollo del sistema de pulverización. Las fases metodológicas llevadas a cabo se evidencian en la **Figura 3-1**:

Figura 3-1

Etapas metodológicas para la elaboración del sistema de pulverización



Nota: Para cumplir con el desarrollo del proyecto hubo apoyo, orientación y supervisión de la empresa Molinos Pulverizadores JA. Fuente: Elaboración propia.

- **Definición de la idea y alcances del proyecto:** luego de conformar el grupo de trabajo e identificar el problema a resolver, así como el usuario directo del sistema que se diseñó y construyó, se realizó el estudio correspondiente a fin de lograr la caracterización, descripción y delimitación de la necesidad que se supliría, con el objetivo de determinar las especificaciones técnicas, tecnológicas, de recursos, de construcción y de producción acordes con las observaciones, requerimientos y condiciones planteadas por la empresa Molinos Pulverizadores JA, que también

36 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

permitieran la elaboración de un sistema óptimo con altos estándares de calidad para satisfacer las necesidades del cliente.

- **Planeación de etapas y actividades de desarrollo:** aquí, teniendo en cuenta los parámetros de construcción y de funcionamiento del sistema que se deseaba fabricar, se definieron cada una de las actividades que se debían llevar a cabo, de manera organizada y responsable, para dar cumplimiento al desarrollo del proyecto, así como los tiempos y condiciones para su ejecución. Esta etapa metodológica, es de vital importancia, por que permitió al equipo de trabajo hacer entrega del sistema construido cumpliendo con las cláusulas y compromisos adquiridos al momento de firmar el contrato con el cliente.
- **Revisión bibliográfica:** con base en los resultados de la caracterización y en concordancia con las exigencias de la empresa que supervisó el desarrollo del proyecto, se procedió con una minuciosa y completa investigación documental que permitiera hacer una adecuada recopilación de información a fin de adquirir las bases teóricas, metodológicas y científicas para la satisfactoria culminación del diseño y construcción del sistema de pulverizado.
- **Diseño:** en primer lugar y haciendo uso de los fundamentos matemáticos, técnicos, mecánicos, tecnológicos y científicos necesarios, se procedió a realizar el diseño teórico del sistema a construir, teniendo en cuenta aspectos como, dimensionamiento de partes, velocidades y potencias de funcionamiento, planos mecánicos y eléctricos, entre otros.

Una vez definidos los parámetros de funcionamiento, haciendo uso de AUTOCAD y SOLIDWORKS, softwares de diseño asistido por computadora, se realizó el diseño completo del sistema de pulverización.

En cuanto al sistema de semiautomatizado, se definió el rango de valores de funcionamiento óptimo para cada uno de los componentes y actuadores del sistema, posteriormente, con ayuda de sensores, se monitorizarán dichos parámetros desde el tablero de mando y control, donde, se encuentran los elementos necesarios para que el operario pueda interactuar con la máquina (Indicadores, Displays y Pulsadores).

- **Designación de recursos y compromisos:** en esta etapa del proceso metodológico, se procedió a seleccionar los equipos, componentes y materiales que permitieran cumplir con las especificaciones técnicas, de inocuidad y de funcionamiento del sistema de molienda.

Posteriormente se realizó la cotización, que no solo soportaría la viabilidad de desarrollo del proyecto, sino que también sería usada en la negociación con el cliente (Compañía INVESA) para sustentar el costo total del proyecto.

- **Construcción y ensamblaje:** Una vez que el cliente aprobó la propuesta y se dio luz verde para iniciar con la construcción del sistema, se dio inicio a la secuencia de actividades específicas necesarias para lograrlo, el proceso incluyó: adquisición de insumos y materiales, mecanizado de piezas, corte de láminas, realización de perforaciones y aplicación de soldadura, conexiones de elementos eléctricos y electrónicos, pruebas por sección y elemento, para garantizar un excelente acabado final y evitar fallas, y ensayos de prueba y error.
- **Pruebas de funcionamiento, correcciones y arreglos:** al terminar toda la etapa de construcción y ensamblaje y luego de haber obtenido un sistema totalmente terminado en cuanto a construcción física, se realizaron las pruebas definitivas que permitieran garantizar el correcto funcionamiento del sistema de pulverización, cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas. Esto permitió también realizar las modificaciones, arreglos y correcciones necesarias para satisfacer los requerimientos del cliente.
- **Instalación y puesta en servicio:** como etapa final, una vez garantizado el cumplimiento a cabalidad de los parámetros técnicos, de diseño y de funcionamiento, se hizo entrega al cliente del sistema de pulverización, proceso que incluyó un asesoramiento técnico respaldado con el correspondiente manual de usuario, documento de comunicación técnica destinado a dar asistencia a las personas que operarán el sistema y supervisarán el proceso.

Cada una de las etapas y procesos llevados a cabo para cumplir con los objetivos del proyecto, fue supervisada, orientada y evaluada por la empresa MOLINOS PULVERIZADORES JA. El trabajo conjunto permitió el cumplimiento de cada uno de los alcances planteados.

4. Capítulo 4: Diseño sistema de molienda

Anteriormente, se describieron los principales tipos de molinos que se implementan en la industria para un proceso de molina fina e intermedia. En concordancia con las características de cada uno de los equipos mencionados, estos se pueden implementar en diversos campos industriales, sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de caracterización de la problemática a solucionar dentro de la empresa INVESA y la experiencia en el campo de la reducción de partículas de la compañía MOLINOS PULVERIZADORES JA, se decidió que el mecanismo de molienda que mejor se ajustaba a las necesidades planteadas, era el de martillos fijos.

En primer lugar, es importante destacar que el molino construido no es del tipo descrito en la **Figura 2-3**, sino que es un molino de impacto de alta velocidad con un clasificador de aire interno. El material entra en la cámara de molienda a través de la entrada de alimentación donde entra en contacto con una serie de pasadores de impacto giratorios o martillos fijos que se encargan de la fragmentación del material (arroz inoculado) en partículas finas.

Las partículas finas deben pasar a través de una jaula de aspas giratorias, conocida como "canastilla clasificadora", es decir, ya no se implementa la criba como método de tamizaje y clasificación, sino que se introduce un clasificador dinámico. Esta variación en el método de clasificación de las partículas, se debe a que en la industria nacional no existen cribas que permitan alcanzar la granulometría exigida por el cliente de 90 micrómetros. Además, este tipo de técnica de clasificación, permite ajustar el tamaño del producto fácilmente, aumentando o disminuyendo la velocidad del clasificador, sin apagar del molino.

La canastilla actúa como una pantalla y sólo permite que las partículas que son lo suficientemente pequeñas logren pasar a través, también rechaza las partículas grandes haciendo que permanezcan en el molino para un ciclo de molienda adicional, es aquí

donde se establece un ciclo de molienda en lazo cerrado. Las partículas finas salen del molino y se recolectan en la torre de captación y filtración.

Algunos criterios que se tuvieron en cuenta para selección son explicados a continuación:

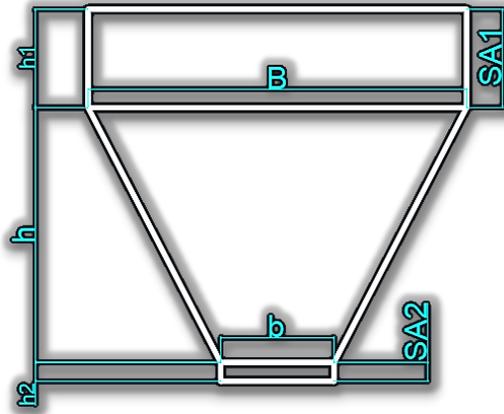
- **Calidad de la molienda:** este tipo de molino, es apto para molienda por vía seca, permitiendo una reducción de tamaño alta y uniforme, a la vez que ofrece una muy baja pérdida de material en el proceso. Como aspecto adicional, este tipo de molino, al tener un sistema de barrido por aire, evita la acumulación de calor que puede llegar a ser perjudicial para los organismos que se cultivaron en el grano de arroz.
- **Higiene:** el producto (arroz inoculado) no debe contaminarse en el proceso de reducción, puesto que la aplicación de este insumo está orientada al sector agroindustrial y las propiedades químicas no deben ser afectadas. Esto quiere decir que se debe seleccionar cuidadosamente el material de construcción del equipo.
- **Mantenimiento:** con el propósito de prolongar la vida útil del sistema de molienda, es de vital importancia limpiar los componentes del equipo al finalizar un ciclo de operación de la máquina, esto contribuye también a la inocuidad del producto en cada ciclo de pulverización; debido a esto, la máquina debe ofrecer fácil acceso a sus componentes. También debe ser fabricado con elementos normalizados que permitan facilidad al momento de reemplazar componentes en caso de daño.
- **Granulometría variable:** un parámetro importante, como se mencionó anteriormente, es que el equipo permite el control del tamaño final del producto a moler. Esto influye de manera directa, en la calidad y la flexibilidad del proceso de molienda.

4.1. Tolva de alimentación (Prismática)

En este caso, y en concordancia con el sistema de transporte que desplazará la materia prima hacia la unidad de molienda, la tolva puede tener una forma prismática. Además, dicho elemento no presenta mayores complicaciones ya que será utilizada únicamente con el propósito de conducir los granos de arroz hacia el sistema de transporte de tornillo sinfín, y su diseño se reduce al dimensionamiento.

Figura 4-1

Diseño de tolva prismática implementado



Nota: La ilustración muestra una de las caras que componen la tolva de alimentación del sistema de molienda. La tolva tiene forma regular, por lo que cada una de las caras tiene la misma configuración. Es figura sirve como referencia para denotar las diferentes magnitudes que se deben tener en cuenta para el diseño. Fuente: Elaboración propia

Asumiendo unas dimensiones acordes a la demanda de producción especificada (40 kg/h) en la sección de alcance y limitaciones, se procede a calcular el volumen a partir de la **Ecuación (4-1)**.

$$V_{tronco} = \frac{h}{3} * (A_B + A_b + \sqrt{A_B \cdot A_b}) \quad (4-1)$$

Donde:

- V_{tronco} = Volumen de la tolva [m^3]
- h = Altura de la tolva (Tronco de pirámide) [m]
- A_B = Área de la base mayor de la tolva [m^2]
- A_b = Área de la base menor de la tolva [m^2]

Tabla 4-1

Longitudes del trapecio de la cara de la tolva de alimentación

Ítem	Lado base mayor [B]	Lado base menor [b]	Lados [L]
Magnitud [m]	0,5	0,15	0,38

Nota: En la tabla se listan las dimensiones del trapecio isósceles que configura la cara de los lados de la tolva. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el área del tronco de pirámide, sin tener en cuenta las secciones adicionales SA1 y SA2 (Ver **Figura 4-1**), se establecen las dimensiones de los lados y las

bases del trapecio isósceles que conforma cada uno de los lados del elemento geométrico tal y como se muestra en la **Tabla 4-1**.

A partir de estos valores, se tiene que el área total del tronco de pirámide que conforma la tolva está dada por la **Ecuación (4-2)**.

$$A_{tronco} = A_B + A_b + 4A_{ti} \quad (4-2)$$

Donde:

- A_{tronco} = Área total del tronco de pirámide [m^2]
- A_{ti} = Área del trapecio isósceles [m^2]

Ahora, con base a las **Ecuaciones (4-3), (4-4) y (4-5)**, se logra determinar lo valores de las áreas A_B , A_b y A_{ti} .

$$A_B = B^2 \quad (4-3)$$

$$A_b = b^2 \quad (4-4)$$

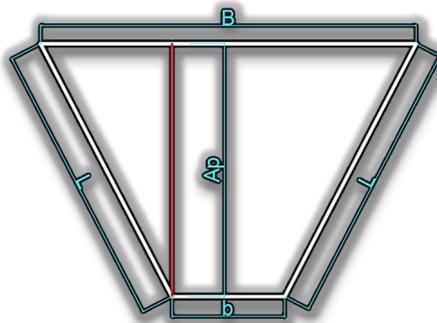
$$A_{ti} = \frac{B + b}{2} \cdot A_p \quad (4-5)$$

Donde:

- A_p = Apotema del tronco de pirámide de la tolva [m]

Figura 4-2

Especificaciones de una de las caras del tronco de pirámide



Nota: En la ilustración se muestra la configuración del trapecio isósceles que corresponde a la cara de los lados de la tolva. Destacándose las magnitudes del mismo. Fuente: Elaboración propia

42 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Recordando que la apotema del tronco de la tolva hace referencia a la altura del trapecio que conforma sus lados (Ver **Figura 4-2**), se hace uso del Teorema de Pitágoras para determinar la magnitud exacta de esta variable.

$$A_p = \sqrt{L^2 - \left(\frac{B-b}{2}\right)^2} \quad (4-6)$$

Con los valores obtenidos hasta este punto ya es posible determinar el área y el volumen total de la tolva, incluyendo las secciones adicionales que se muestran en la **Figura 4-1**. Estas magnitudes se determinan mediante la suma de cada uno de las áreas y volúmenes de las geometrías que configuran el elemento de alimentación: SA1, SA2 y el tronco de pirámide cuadrangular (Ecuaciones (4-7) y (4-8)). Las dimensiones de los lados h_1 y h_2 son 0,15 y 0,03 metros, respectivamente. Las áreas laterales de las secciones SA1 y SA2 se determinan teniendo en cuenta su configuración geométrica rectangular. Así mismo, se determina el volumen y el área total.

$$V_T = V_{tronco} + V_{SA1} + V_{SA2} \quad (4-7)$$

$$A_T = A_{tronco} + 4 \cdot A_{SA1} + 4 \cdot A_{SA2} \quad (4-8)$$

Una vez relacionadas las expresiones matemáticas y reemplazando los valores conocidos, se obtiene el dimensionamiento que se aprecia en la **Tabla 5-1**.

4.2. Tornillo helicoidal para transporte de materia prima

En esta sección se exponen los parámetros que permiten el diseño adecuado para un correcto funcionamiento del sistema de transporte, permitiendo el transporte adecuado de los granos de arroz hacia la unidad de molienda.

Como primera medida, previa al diseño del transportador, es importante caracterizar los materiales a transportar a través de este elemento. Como se ha mencionado en apartados anteriores del presente documento, aunque el molino diseñado puede lograr la molienda de un variado grupo de materiales, siempre y cuando compartan características físicas y químicas, para el diseño preliminar, no solo del tornillo helicoidal sino de cada uno de los componentes del sistema de molienda, se seleccionará como material principal el arroz en bruto.

Una vez seleccionado el material que se transportará es necesario consultar información fiable que exponga características de estos materiales. Estas características son de vital importancia, ya que al provenir de estudios científicos y de laboratorio, garantizan un proceso de diseño óptimo y confiable. Conveyor Equipment Manufacturers Association, por ejemplo, es una entidad que desde los años 90 ha estado proporcionando exitosamente información técnica para la industria, relacionada con los tipos, medios y métodos utilizados en la maquinaria de transporte de materiales a granel.

En el **Anexo E** se exponen información sobre las características de estos materiales. En las tablas, se proporcionan datos sobre el factor de material, la carga de artes y el peso específico:

4.2.1. Capacidad del transportador de tornillo

La capacidad del transportador hace referencia al caudal del material que se desea y se permite transportar en el mecanismo, hacia la unidad de molienda. Esta capacidad es necesaria para el cálculo de la potencia que se debe suministrar al tornillo para que alcance los requerimientos de funcionamiento.

Para obtener dicha capacidad de transporte del elemento, como primera medida se debe determinar el área de llenado del mecanismo de transporte, que es ocupada por el arroz que se desplaza a través del tornillo (IngeMecanica, 2017) con base a la **Ecuación (4-9)**.

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4-9)$$

Donde:

- *S*: Área de relleno del transportador [m^2].
- *D*: Diámetro del cilindro del transportador [m].
- λ : Coeficiente de relleno de la sección.

Lo ideal es que el coeficiente λ sea menor que uno, esto, a fin de evitar que se produzca un acumulamiento del material, y por consecuencia, contribuir al flujo adecuado a lo largo del tornillo. En la **Tabla 4-2** se enuncian los valores para esta constante en relación al tipo de carga que se transportará.

Como etapa previa a la determinación de la capacidad del transportador, se debe establecer

44 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

también la velocidad de desplazamiento, que es la magnitud que define con que rapidez el mecanismo transporta el material (IngeMecanica, 2017). Esta velocidad depende de manera directa tanto del paso como de la velocidad de rotación que suministra el actuador (motor) al eje del tornillo (Ver **Ecuación (4-10)**).

Tabla 4-2
Coefficiente de relleno de acuerdo con el tipo de carga

Características de la carga	Coefficiente de relleno
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.250
Ligera y poco abrasiva	0.320
Ligera y no abrasiva	0.400

Nota: Para el caso del arroz, al ser un material ligero y poco abrasivo, se selecciona un coeficiente de relleno de 0.320. Elaboración propia con base a la información de (Martin, 2017)

$$V = \frac{p \cdot n}{60} \quad (4-10)$$

Donde:

- V : Velocidad de desplazamiento del material del transportador [m/s].
- p : Paso del tornillo [m].
- n : Velocidad de giro del eje del tornillo [rpm].

Con estos valores, y reemplazando los datos en la **Ecuación (4-11)** ya es posible determinar la capacidad de material que el transportador puede manejar (Martin, 2017).

$$Q = 3600 \cdot S \cdot V \cdot \rho \cdot i \quad (4-11)$$

Donde:

- Q : Capacidad de transporte de materia prima [kg/hr]
- S : Área de relleno del transportador [m^2].
- V : Velocidad de desplazamiento del transportador [m/s].
- ρ : Densidad del material transportado [kg/m^3]
- i : Coeficiente de disminución del flujo debido a la inclinación (ver Tabla 4-3).

Tabla 4-3
Coefficiente de disminución del flujo en el transportador con respecto a la inclinación

Inclinación del transportador [°]	0	5	10	15	20	25	30	35
Coefficiente de disminución de flujo	1.00	0.90	0.80	0.70	0.65	0.42	0.30	0.20

Nota: Para este caso, el transportador tiene una inclinación de cero grados con respecto a la horizontal. Fuente: (Martin, 2017)

4.2.2. Tipo de acción del tornillo

Como se detalla en el marco teórico del documento, existen diversas variaciones en el diseño de un transportador de tornillo de acuerdo con el helicoide. Conforme con estas particularidades de forma de construcción, este puede tener otras funciones agregadas a la de trasladar el material a lo largo de la carcasa.. Sin embargo, en este caso, se usan espirales estándar puesto que no es necesaria otra función diferente al transporte del material. Además, este tipo de helicoide, reduce el costo de construcción del tornillo del transportador.

4.2.3. Expansión térmica y deflexión

En este caso, la expansión térmica es un factor que se puede despreciar debido a que no se trabajará en ambientes a altas temperaturas. Así mismo, cuando se utilizan transportadores de longitudes pequeñas, como en este caso, la deflexión no es un problema.

4.2.4. Potencia de accionamiento

Este es un parámetro importante al momento de seleccionar el motor que accionará el tornillo helicoidal. Esta potencia se consigue mediante la suma de tres diferentes potencias que afectan el funcionamiento del elemento (Martin, 2017): la potencia de accionamiento sin carga, la potencia para el desplazamiento con carga y con respecto a la horizontal y la potencia de inclinación, necesaria en caso de que el transportador requiera cierta pendiente en su instalación (Ver **Ecuación (4-12)**).

$$P_T = (P_{fr} + P_m + P_i) \cdot 745.7 \quad (4-12)$$

Donde:

- P_T : Potencia total [W].
- P_{fr} : Potencia de accionamiento en vacío [HP].
- P_m : Potencia de desplazamiento del material [HP].
- P_i : Potencia en caso de un transportador de tornillo inclinado [HP].

$$P_{fr} = \frac{L \cdot n \cdot F_b \cdot F_D}{1000000} \quad (4-13)$$

$$P_m = \frac{Q \cdot L \cdot \rho \cdot F_f \cdot F_m \cdot F_p}{1000000} \quad (4-14)$$

46 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

$$P_{in} = \frac{Q \cdot \rho \cdot H}{2000000} \quad (4-15)$$

Las **Ecuaciones (4-13), (4-14) y (4-15)** permiten el cálculo de las potencias mencionadas (Martin, 2017).

Donde:

- *L*: Longitud del transportador [ft].
- *n*: Velocidad de operación de la maquina [rpm].
- *F_b*: Factor del buje para colgante.
- *F_D*: Factor del diámetro del tornillo.
- *L*: Longitud del transportador [ft].
- *ρ*: Peso específico del material [lb/ft³].
- *Q*: Capacidad de transporte de material [ft³/hr].
- *F_m*: Factor del material.
- *F_p*: Factor por paletas.
- *F_t*: Factor de la helicoidal del tornillo.
- *L*: Longitud del transportador en [ft].
- *H*: Altura de la instalación [ft].

Tabla 4-4
Magnitudes de partida para el diseño del transportador

Especificación	Magnitud
Diámetro externo [m]	0.0590
Diámetro interno [m]	0.0320
Diámetro de la carcasa [m]	0.0614
Paso del tornillo [m]	0.0345
Largo del Tornillo [m]	0.3900
Velocidad del eje del tornillo [RPM]	45 (con reductor)

Nota: Elaboración propia.

En las tablas del **Anexo S** se relacionan los valores de los coeficientes requeridos para la sustitución en las ecuaciones. Para su elección, es importante tener en cuenta que: en cuanto al factor de buje para colgante, es un parámetro que no se debe tener en cuenta, ya que la longitud del tornillo es corta, no sufrirá problemas graves de flexión y no requiere de una extensión. Este valor se toma como la unidad para no afectar la solución de la expresión matemática.

Una vez relacionados los diversos coeficientes y valores conocidos para cada expresión

de potencia, es posible determinar la potencia que se debe suministrar al eje del transportador. Por medio de la **Ecuación (4-16)**, se puede obtener el torque que debe producir el motor que accione el transportador.

Para el proceso de diseño, se utilizaron los datos de partida que se establecen en la **Tabla 4-4**:

$$T = \frac{P_T}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (4-16)$$

Donde:

- T : Torque producido [Nm]
- n : Velocidad del giro del rotor [rpm]

Con base a los datos expuestos en la **Tabla 4-4**, se procede a determinar las diferentes magnitudes desglosadas anteriormente. Es importante tener en cuenta las diferentes unidades que se definen para cada expresión matemática necesaria, por lo que cada procedimiento debe ir acompañado, si es pertinente, de la conversión entre unidades según corresponda. En la **Tabla 5-2** se detallan los principales resultados del proceso de diseño del transportador de tornillo.

4.3. Disco de molienda

El molino diseñado consta un disco con martillos fijos, que permiten la trituración de las partículas de arroz gracias a las fuerzas de impacto que se encargan de reducir el tamaño del material particulado.

Las herramientas de impacto (martillos) se montan alrededor del borde del disco de rotor ubicado debajo de la rueda clasificadora; dicho disco está montado en una caja de cojinetes con una transmisión separada de la transmisión de la rueda del clasificador dinámico. Un revestimiento en forma de anillo, con ranuras verticales, rodea el disco del rotor y los martillos.

Los martillos giratorios impactan las partículas y las desvían hacia el revestimiento, donde las ranuras verticales del revestimiento reducen la velocidad circunferencial de las partículas y las desvían hacia el camino de los martillos para maximizar la fuerza de impacto sobre las partículas. Las partículas reducidas son transportadas hacia arriba por

48 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

el movimiento del aire, y los deflectores en el conjunto de cubierta y deflector ayudan a dirigir las partículas hacia la zona de clasificación. Las partículas finas pasan a través de las ranuras entre las paletas de la rueda clasificadora y fluyen sin el aire de la salida de aire y producto,

Es importante tener en cuenta que la tasa de generación de pequeños fragmentos depende de colisiones que ocurren entre partículas, el disco y la pantalla de choque, puede ser posible analizar el proceso de reducción del tamaño de las partículas de una manera similar a la cinética de colisión. Al igual que la cinética de reacción, dos o más partículas deben colisionar con suficiente energía de activación para dar lugar a la fragmentación de modo que se generen partículas por debajo del tamaño de corte (Wang, Silva, & Melaaen, 2006).

El material a moler se introduce en la punta de los martillos rotativos. Los martillos giratorios unidos al disco del rotor de impacto sirven para fracturar el material de proceso con una velocidad requerida.

El revestimiento dentado montado en la periferia de la cámara de trituración en la trayectoria del martillo sirve para mejorar la eficacia del triturado evitando que las partículas aceleren a la velocidad de los martillos, aumentando así la diferencia de velocidad relativa.

El flujo de aire que pasa a través del estrecho espacio formado entre el revestimiento y el disco del rotor de impacto junto con la acción de los martillos del elemento rotatorio, transporta el material a la parte superior del molino. Luego, un anillo de dispersión dirige el material hacia abajo, hacia el clasificador.

El conjunto de la cubierta separa eficazmente la zona de trituración de la clasificación, además de proporcionar un camino definido para que fluya el material y el aire. Dependiendo de la tasa de flujo de aire y el ajuste de velocidad, las partículas menos densas y con un tamaño acorde al requerido, logran pasar la zona de clasificación. Las partículas rechazadas caen por gravedad y son arrastradas por debajo del conjunto de la cubierta hacia los martillos giratorios para un mayor impacto.

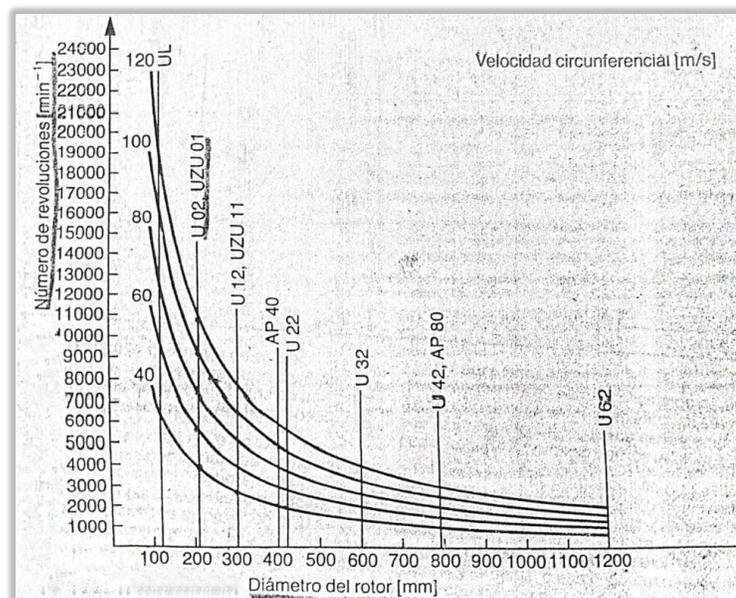
Para el dimensionamiento del disco de molienda, la Empresa Molinos Pulverizadores JA, suministró la gráfica que se evidencia en la **Figura 4-3**. A través de los datos que allí se relacionan, para una clasificación de partículas que ellos denotan como **U02** con

propiedades similares a las del arroz en bruto, es necesario lograr una velocidad circunferencial en el rotor de 100 m/s.

Con base en lo anterior, y con la asunción de una magnitud para el diámetro del disco de la zona molienda de 0.245 m, en la gráfica se aprecia que la velocidad en revoluciones por minuto que debe proporcionarse al eje de transmisión del elemento rotatorio debe ser de aproximadamente 8000.

Figura 4-3

Grafica de relación entre el diámetro del disco y el número de revoluciones



Nota: En la ilustración se expone la relación entre el diámetro del disco de molienda y el número de revoluciones. Esta relación permite determinar la velocidad perimetral que debe alcanzarse para lograr la trituración de una partícula con características similares al arroz en bruto. Fuente: Molinos Pulverizadores JA.

Una vez definida el valor de dicha velocidad, se diseña una transmisión de poleas que permita alcanzar dichas revoluciones por minuto. Para esto, se hace uso de la **Ecuación (4-17)**.

$$Rel(\#Max) = 8000rpm$$

(4-17)

Donde:

- *Rel*: Relación de transmisión
- *#Max*: Número máximo de revoluciones según catálogo [3600 rpm]

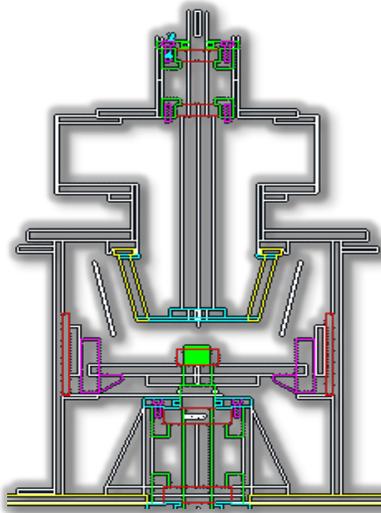
50 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Al despejar la relación de transmisión de la expresión matemática, se obtiene una relación de 2.16. De acuerdo con este valor, y definiendo una polea principal con un diámetro igual a 6.5 in, se obtiene el diámetro de la polea secundaria. En este caso, debe ser de 3 in. La comprobación se aprecia en la siguiente ecuación.

$$\frac{DPolea\ 1}{DPolea\ 2} = \frac{6,5\ in}{3\ in} = 2,1 \quad (4-18)$$

Figura 4-4

Esquema en AUTOCAD de la zona de molienda



Nota: La sección fucsia representa los martillos del rotor. Fuente: Elaboración propia

Para verificar que la relación de poleas garantiza una velocidad perimetral de 100 m/s en el disco de molienda, se hace uso de la **Ecuación (4-22)**.

$$Velocidad\ perimetral = \frac{P(rpm\ del\ motor)}{f} = \quad (4-19)$$

Donde:

- P : Perímetro del disco
- $rpm\ del\ motor = rpm\ con\ relación\ de\ transmisión$
- f : Frecuencia de operación del motor [60 Hz]

Una vez determinado el perímetro del disco ($Diametro * (\pi)$) y al reemplazar en la **Ecuación (4-22)**, se obtiene una velocidad perimetral de 102,53 m/s. Las dimensiones completas de la unidad de molienda se pueden apreciar en el **Anexo B**. Es importante

destacar, que el número de martillos, se definió buscando un equilibrio. Más martillos significan una molienda más fina, pero también mayores requisitos de energía.

4.4. Clasificador dinámico

De manera habitual, en un proceso de reducción del tamaño de partículas, se utilizan cribas para determinar el tamaño final de las mismas. Las cribas no son más que un obstáculo físico que se utiliza para separar fracciones de diferentes tamaños, de tal manera que las partículas con un tamaño inferior o igual al definido puedan pasar a través de los orificios del elemento clasificador (criba), mientras que las de tamaño superior son retenidas en el proceso.

Las cribas son el elemento más usado en los procesos de clasificación de partículas de acuerdo con su tamaño, sin embargo, estas son insuficientes cuando de molienda fina se trata. En este caso en particular, en Colombia no existen cribas industriales que permitan determinar un tamaño de la partícula de 90 μm o inferior. Debido a esto, se opta por utilizar un método de clasificación dinámico, que utiliza la acción de arrastre por un fluido que presenta un movimiento relativo con respecto a las partículas. En este caso, aire.

Dentro de la unidad de molienda hay una canastilla clasificadora giratoria con paletas, como se muestra en la **Figura 2-11**. Durante el accionamiento de dicha canastilla, la corriente de aire que circula al interior de la unidad de molienda, transporta partículas finas a través de los espacios entre las paletas hacia la unidad de filtración, mientras que las partículas gruesas se rechazan y regresan al disco de molienda para continuar con su proceso de reducción.

En este tipo de elemento, hay tres fuerzas principales que afectan directamente a la partícula, y como consecuencia, su proceso de clasificación: fuerza de gravedad, fuerza de arrastre y fuerza centrífuga (Karunakumari, Eswaraiah, Jayanti, & Narayanan, 2005). El comportamiento de cada una de estas fuerzas, en una partícula, está dado por la **Ecuaciones (4-20), (4-21) y (4-22)**, respectivamente.

$$F_g = v_p \cdot \rho_p \cdot g = m_p \cdot g \quad (4-20)$$

$$F_a = \frac{C_d \cdot \rho_a \cdot A \cdot V_{aire}^2}{2} \quad (4-21)$$

$$F_c = v_p \cdot \rho_p \cdot \frac{v_t^2}{r} = m_p \cdot \frac{v_t^2}{r} \quad (4-22)$$

52 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Donde:

- F_g : Fuerza de gravedad [N]
- F_a : Fuerza de arrastre [N]
- F_c : Fuerza centrífuga [N]
- v_p : Volumen de la partícula [m^3]
- ρ_p : Densidad de la partícula [kg/m^3]
- ρ_a : Densidad del aire [kg/m^3]
- m_p : Masa de la partícula [kg]
- r : Radio del rotor [m]
- C_d : Coeficiente de arrastre
- A : Area de sección transversal de la partícula [m^2]
- V_{aire} : Velocidad relativa entre el fluido y la partícula [m/s]
- V_t : Velocidad periférica del rotor [m/s]
- g : Constante gravitacional [m/s^2]

De manera genérica, el funcionamiento del clasificador es el siguiente: el material molido que se clasificará se suspende en una corriente de aire y la fracción gruesa se separa de la fracción fina por la corriente de aire mediante la fuerza de arrastre aerodinámico, que generalmente supera otra fuerza, como la gravitacional, de Coriolis o Centrífuga, o su combinación (Karunakumari, Eswaraiah, Jayanti, & Narayanan, 2005).

Las fuerzas dominantes se consideran que son la centrífuga y la de arrastre del aire. Un clasificador dinámico genera fuerzas centrífugas, cuando las partículas se aceleran a la velocidad periférica del rotor. Cuando una partícula entra en el tipo de clasificador ilustrado, lo hace gracias a la intervención del flujo de aire que circula ascendentemente en la recamara de molienda y a la rotación de la canastilla de clasificación. Considerando una partícula con forma esférica que está en equilibrio cuando se expone a estas fuerzas, el tamaño de partícula se define mediante la **Ecuación (4-23)**, donde D_p es el diámetro de la partícula (en metros) (Karunakumari, Eswaraiah, Jayanti, & Narayanan, 2005):

$$D_p = \frac{3 \cdot C_d \cdot r \cdot \rho_a \cdot V_{aire}^2}{4 \cdot \rho_p \cdot V_t^2} \quad (4-23)$$

Es importante destacar que la forma de la partícula se debe tener en cuenta para determinar las magnitudes físicas de la misma (área y volumen).

Como puede verse, el tamaño de partícula depende principalmente de las velocidades

periféricas del aire y del rotor, que tienen una función cuadrada. Otros factores, como el coeficiente de arrastre o la densidad de la partícula y del aire, tienen menos efecto sobre las fuerzas de separación. Solo cuando se trata de materiales muy pesados o muy ligeros o bien, la forma de la partícula varía, habría un factor significativo a considerar (Johansen & Silva, 2002).

La fuerza de arrastre, aplicada por la succión de la canastilla del clasificador en movimiento, intenta halar de la partícula. Cuanto mayor sea el volumen de aire, y por lo tanto la velocidad del flujo del mismo en el rotor del clasificador, más partículas serán atraídas. En resumen, si la partícula es pequeña, la fuerza de arrastre predominará y la partícula se moverá con la corriente de aire y será capaz de superar el obstáculo impuesto por la canastilla de clasificación. Por el contrario, si la fuerza centrífuga es mayor que la fuerza de arrastre, las partículas no serán admitidas por el clasificador (Kolacz, 2005).

En principio, si las dos fuerzas son iguales, las partículas se mantendrán en equilibrio. El tamaño de partícula para el cual la fuerza centrífuga es de igual magnitud a la fuerza de arrastre se llama punto de corte. Dicho equilibrio, permite determinar el tamaño de corte en un clasificador ideal.

La fuerza centrífuga tiende a empujar el material hacia las paredes exteriores del clasificador. La fuerza de arrastre tiende a tirar de las partículas hacia las paletas de la canastilla giratoria. Por tanto, es la suma de estas fuerzas lo que determina la trayectoria de las partículas; bien sea a través del clasificador o de regreso al disco de molienda (Karunakumari, Eswaraiah, Jayanti , & Narayanan, 2005).

Para hacer la transición a través del clasificador, la partícula primero debe ser acelerada a la velocidad del rotor. Si tanto la partícula como el rotor tienen una velocidad similar y la partícula es lo suficientemente fina (lo suficientemente pequeña en masa), además de la condicional del equilibrio de fuerzas, el clasificador recolectará la partícula, quien continuará con su camino hasta el filtro de mangas. La fuerza depende de manera directa de la masa de la partícula. Como resultado, cuanto mayor sea la masa que tenga la partícula, mayor será la probabilidad de que no alcance la velocidad límite de transición y sea rechazada por el clasificador. Ahora bien, cuanto más pequeña y ligera sea una partícula, mayor es su probabilidad de que logre pasar por el clasificador (Yu, Liu , & Zhang , 2015).

54 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Un parámetro de vital importancia dentro del diseño de la canastilla del clasificador, es el diámetro de corte. En el proceso de clasificación dinámico, este parámetro es comparable con el tamizado mediante el cual, dicho diámetro corresponde a la apertura del tamiz. En pocas palabras, el diámetro de corte es quien permite el paso o no, de las partículas de acuerdo con su tamaño.

La **Ecuación (4-24)** muestra una relación, de acuerdo con la Ley de Stokes, sobre el cálculo del punto de corte de un clasificador, con base a las influencias de la fuerza de arrastre o volumen de aire, y la velocidad del clasificador, así como las densidad de las partículas y la viscosidad del fluido (Wang, Silva, & Melaaen, 2006).

$$D_c = \sqrt{\frac{\mu \cdot V_a}{\varphi_p \cdot V_r^2}} \cdot R \quad (4-24)$$

Donde:

- D_c : Diámetro de corte [m]
- V_a : Velocidad radial del aire [m/s]
- V_r : Velocidad periférica del clasificador [m/s]
- μ : Viscosidad dinámica del fluido [Pa · s]
- R : Radio entre paletas [m]
- φ_p : Densidad aparente de la partícula [kg/m³]

En la **Ecuación (4-24)**, se aprecia que cuanto mayor es la velocidad radial (flujo de aire), más grueso es el punto de corte (producto final) y cuanto más grande es la rueda, más grueso es el punto de corte a la misma velocidad periférica. Mientras tanto, a la inversa, está la densidad aparente de las partículas, que para materiales más densos hace una clasificación más fina bajo las mismas condiciones de aire y velocidad del rotor, y la rapidez periférica, que hace que el punto de corte sea más delgado a medida que aumenta. Sin considerar la variación de los demás parámetros, un diámetro de corte pequeño necesita altas revoluciones por minuto, así como pequeñas tasas de aire.

La canastilla tiene cierta altura y por lo tanto la partícula tiene un tiempo limitado para entrar en la corriente de finos antes de que, por acción de las mismas fuerzas, sea retornada al disco de molienda (Yu, Liu , & Zhang , 2015).

Con base en los estudios experimentales mencionados (en la revisión bibliográfica), se determina que los tres parámetros operativos, la velocidad de rotación de la jaula del rotor,

la velocidad de entrada de aire y la velocidad de alimentación, deben estar en cierto equilibrio para obtener el proceso de clasificación más efectivo. Es esencialmente el equilibrio entre la fuerza centrífuga y de arrastre lo que define la dimensión que será admitida por el falsificador. Como se observa, típicamente, si la fuerza de arrastre del aire es constante (caudal de aire constante), una fuerza centrífuga más alta (velocidad del rotor más alta) proporcionará una clasificación más fina y viceversa. Sin embargo, si las fuerzas se alteran en la misma medida (ambas aumentan o disminuyen), la finura permanecerá sin cambios, pero la eficiencia de clasificación será diferente.

De acuerdo con estas consideraciones se dimensiona la canastilla que se observa en la **Figura 4-5**. En la actualidad las pletinas o paletas se ubican con una orientación no radial sino oblicua en el sentido que no favorezca en su giro la entrada de las partículas, sino más bien que las rechace. Las paletas ubicadas radialmente, según estudios, aunque tienden a generar un flujo turbulento, en comparación con las oblicuas, se consideran adecuadas, si se acompañan de una inclinación en las paletas con respecto a los discos superior e inferior (Sun, Yang, & Wang, 2003).

Tabla 4-5

Eficiencia y precisión en la clasificación por aire de acuerdo con la inclinación

Ítem de evaluación	Angulo de inclinación de las paletas de la turbina		
	+30°	0°	-30°
D ₅₀	9.40	8.20	7.20
E _T	1.45	2.05	2.98
η	1.34	1.79	2.70
η _N	0.73	0.72	0.59

Nota: D₅₀: Tamaño de corte - E_T: Desviación del flujo – η: Índice de nitidez de clasificación, η_N: Eficiencia de la clasificación. Fuente: (Sun, Yang, & Wang, 2003)

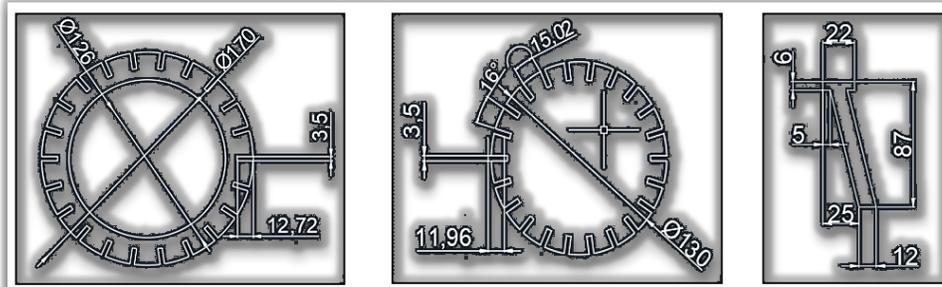
Un diseño estructural adecuado puede mejorar el rendimiento de clasificación de un clasificador de aire. Por lo tanto, se han realizado muchos estudios sobre la estructura de un clasificador de aire, especialmente sobre la estructura de la jaula del rotor. Por ejemplo, Wang et al. compararon el rendimiento de clasificadores con palas de rotor radiales y aquellos con un ángulo de inclinación de las palas igual a -30 grados y +30 grados. Con base en los resultados de rendimiento, acordaron que el ángulo de inclinación de las palas del rotor debería ser de 0 grados si se consideran tanto el tamaño de corte de las partículas como la precisión de clasificación (Ver **Tabla 4-5**). Cuando aumentó el ángulo de inclinación de las palas, el flujo de fluido se convirtió gradualmente en un flujo turbulento y la resistencia a las partículas en la zona de clasificación disminuyó, por lo que las partículas

56 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

grandes pasaron más fácilmente a través del rotor y se convirtieron en partículas finas. Como resultado, el tamaño de corte de partícula clasificado se hizo más grande (2003).

Figura 4-5

Dimensionamiento de la canastilla del clasificador



Nota: De izquierda a derecha: se evidencia el disco superior, el disco inferior y la forma de la paleta.
Fuente: Elaboración propia.

De la información contenida en la tabla **Tabla 4-8**, es posible inferir que, para lograr el mejor tamaño de corte de partículas de clasificación, el rotor con hojas inclinadas con un ángulo de -30° grados era ideal, pero la precisión de clasificación se veía afectada. Por otro lado, teniendo en cuenta solo la precisión de clasificación, el rotor con palas inclinadas con un ángulo de $+30^\circ$ fue óptimo ya que con el aumento del ángulo de inclinación de las palas aumentó la precisión de clasificación. Por su parte, las pletinas radiales permitieron mantener el equilibrio entre el tamaño de la partícula, la eficiencia de la clasificación y la precisión durante el proceso.

Es importante destacar que pesar de que las ruedas clasificadoras con palas radiales presentan buenos resultados de rendimiento de los clasificadores de aire, los diseños de palas de rotor de arco son muy prometedores.

4.5. Filtro de mangas

En el diseño de la unidad filtrante es necesario contemplar todo el proceso que se lleva a cabo; esto involucra tanto al flujo de aire como la instalación. En lo que respecta al flujo del aire se debe tener en cuenta, la temperatura, el tipo de partícula que moviliza y el diámetro de la misma. Por otro lado, en lo que hace referencia a la instalación se debe evaluar, la distancia de recorrido del flujo del aire, el caudal que circula por las tuberías, la caída de presión en el sistema, el medio filtrante y el sistema de limpieza.

4.5.1. Selección de material filtrante y sistema de regeneración

El medio filtrante se define con base a las características de la partícula que se desea filtrar y al método de limpieza (Pulse-Jet). En estos sistemas, habitualmente se emplean materiales de filtro afelpados que tienen buenas relaciones de gas-tela.

Para el sistema de limpieza se seleccionó un método de regeneración que se adaptara al área de trabajo y que tuviese un reducido número de partes móviles, sin necesidad de tener compartimientos adicionales para aislar las mangas durante el ciclo de limpieza. Además, aunque el nivel de producción al que es sometido la maquina no es alto, es importante que el sistema fuera capaz de regenerar grandes volúmenes de polvo sin necesidad de interrumpir el trabajo normal del filtro, es decir, operando de forma continua; y manteniendo una eficiencia notable en la regeneración debido a la alta relación gas-tela.

El mecanismo pulse-jet es muy popular, ya que puede tratar altas concentraciones de polvo, ocupa menos espacio y su operación se basa en una caída de presión constante, que no se ve afectada como consecuencia de la limpieza, permitiendo que el equipo opere de manera continua, siendo las únicas partes móviles importantes las válvulas solenoides. Las mangas poseen un fondo cerrado, la parte superior abierta y se tienen un refuerzo interno a base de jaulas. El gas cargado de partículas fluye al interior de las mangas, permitiendo la adherencia del polvo en lo superficie de las mismas.

El método seleccionado para el proceso de limpieza de las mangas tiene atributos únicos que lo caracterizan. Por ser de corta duración no se necesita suspender el flujo normal de partículas; ya que las otras mangas continúan con su proceso de filtración. Esta limpieza desprende un gran porcentaje de las partículas adheridas a las mangas, cada vez que se genera la onda de choque en el sistema pulse.

Para seleccionar el tipo de material de tela, se deben tener en cuenta algunas características de operación. Por ejemplo, si durante el proceso de molienda se generan gases con cierto nivel de corrosividad, es importante tener en cuenta este parámetro para seleccionar el tipo de material que soporte las condiciones ambientales a la que será sometido. En este caso, el flujo de aire que circula y transporta las partículas de arroz hacia la unidad de filtrado no posee características altamente corrosivas o abrasivas.

Así mismo, se debe considerar la temperatura de entrada de los gases al filtro. Para el

58 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

sistema diseñado, la temperatura de entrada del flujo aire que transporta las partículas de arroz no supera los 40° C.

En los períodos de regeneración, la manga soporta grandes esfuerzos tanto de contracción como de dilatación, así como abrasión por parte del polvo, por lo que lo ideal es que la tela tenga una buena resistencia ante estos fenómenos.

Tabla 4-6
Magnitudes de partida para el diseño del filtro de mangas

Especificación	Magnitud
Tipo de material filtrante	Poliéster Punzado
Sistema de limpieza	Pulse-Jet
Dimensiones de la manga [m]	Diámetro: 0.16 Longitud: 1.2
Material a filtrar	Arroz
Diámetro de la partícula [μm]	90
Caudal de operación [m^3/s]	0.83
Temperatura de operación [$^{\circ}C$]	30
Concentración del material [g/ m^3]	7.08

Nota: Estos son datos de vital importancia para el diseño del sistema de filtrado y se deben tener en cuenta para el desarrollo analítico de las ecuaciones matemáticas que fundamentan teóricamente dicho proceso de diseño. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo descritas anteriormente, se seleccionó una tela de poliéster punzado que cumple a cabalidad con los parámetros requeridos (**Anexo F**). Los medios de filtración usados tienen un importante impacto en el funcionamiento y rendimiento del proceso de filtrado de las partículas, por lo que la selección de medios apropiados para tal fin es una de las etapas más importantes en el diseño del filtro de mangas. La elección de la tela fue el producto del análisis de las variedades de telas, así como el tratamiento recibido.

A partir de la selección del tipo de material filtrante y el sistema de regeneración, se procedió con cada uno de los apartados de diseño, descritos a continuación. La **Tabla 4-6** expone valores y características esenciales para lograr un adecuado diseño de la unidad de filtración y captación del sistema de molienda.

4.5.2. Velocidad de filtración

Uno aspecto de vital importancia para el diseño un filtro de mangas, es determinar la velocidad de filtración que permite un equilibrio adecuado entre la caída de presión y el tamaño total del sistema de filtro (relación gas-tela) (Owen & Viner, 2002). La importancia radica en que además de lograr un excelente proceso de filtración, es importante buscar economía durante. Los costos operativos se ven directamente afectados con el aumento de la caída de presión, e inversamente con la disminución del tamaño completo de la unidad de filtrado.

Los factores que afectan la relación gas-tela, son: las propiedades de la partícula que se desea filtrar, la temperatura de trabajo y la concentración de partículas en el fluido. La **Ecuación (4-25)** define la velocidad de filtración (Cooper C & Alley, 202).

$$V_f = \frac{Q_a}{A_{neta}} \quad (4-25)$$

Donde:

- V_f : Velocidad de Filtración [m/s]
- Q_a : Caudal del aire con concentración de partículas [m³/s]
- A_{neta} : Área total de tela de filtración [m²]

La determinación de la velocidad de filtración es difícil de estimar, por lo que, mediante experimentación empírica, los fabricantes de elementos filtrantes proporcionan ecuaciones y tablas que faciliten su cálculo (Ver **Ecuación (4-26)**) (Owen & Viner, 2002). En el **Anexo G** hay información que contribuye a esta etapa de diseño.

$$V_f = 2.878 \cdot A \cdot B \cdot T^{-0.2335} \cdot C_p^{-0.0602} (0.7471 + 0.0853 \cdot \ln(D_p)) \quad (4-26)$$

Donde:

- A : Factor del Material (Anexo G)
- B : Factor de aplicación (Anexo G)
- T : Temperatura de aplicación (Entre 50 – 275 °F)
- C_p : Concentración de partículas (Entre 0.05 – 100g/ft³)
- D_p : Diametro de la partícula (Entre 3 y 100 um)
- La velocidad de filtración se da en [ft/min]

60 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Se debe tener en cuenta que esta velocidad también se puede seleccionar del con respecto al tipo de polvo y sistema de limpieza a usarse; para este caso el polvo es harina y se usa el sistema de limpieza pulse-jet.

4.5.3. Área total de filtrado y número de mangas

Una vez se tiene el parámetro anterior y conociendo el caudal de operación, el área total de filtración (tela), se obtiene a partir de la razón entre estas magnitudes, como se muestra en la **Ecuación (4-25)**.

Con base en los datos expuestos en la **Tabla 4-6**, es posible conocer el área de una manga (A_{manga}) calculando el área de un cilindro. Se debe recordar que la manga (con forma cilíndrica) tiene cerrado uno de sus extremos, mientras que el otro se encuentra totalmente libre.

$$A_{manga} = (\pi \cdot r^2) + (2 \cdot \pi \cdot r \cdot h) \quad (4-27)$$

Donde:

- r : radio de la base de la manga
- h : Altura o longitud de la manga

Ahora, se debe calcular el número total de bolsas que se deberán configurar en el filtro (ver **Ecuación (4-28)**).

$$N_{mangas} = \frac{A_{mtotal}}{A_{manga}} \quad (4-28)$$

Cada manga va acompañada de una canastilla y un tubo Venturi. Las canastillas se usan para garantizar que las bolsas de tela no colapsen y mantengan su forma una vez se active el pulso de limpieza. Las canastillas tienen forma cilíndrica están fabricadas en un material resistente a la corrosión. Por su parte, los tubos Venturis se implementan para amplificar considerablemente el pulso del aire.

Para la filtración del volumen de gases se necesitan 15 mangas, las cuales se distribuyeron en tres secciones (filas) de 5 elementos cada una (**Anexo C**).

4.5.4. Velocidad ascendente y dimensionamiento del filtro

Esta velocidad es la que experimenta el aire después de ingresar en el compartimento de las mangas en el filtro, como producto de la succión que genera el ventilador y las propiedades del caudal. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., se debe seleccionar un valor para esta rapidez en el rango de los 1.0 hasta los 1.6 m/s (EPA, 1998). El cálculo velocidad ascendente se logra haciendo uso de la **Ecuación (4-29)**

$$V_a = \frac{Q_a}{A_{li}} \quad (4-29)$$

Donde:

- V_a : Velocidad ascendente [m/s]
- Q_a : Caudal del aire con concentración de partículas [m^3/s]
- A_{li} : Área libre [m^2]

El área libre dentro del sistema de filtrado se determina por medio de la **Ecuación (4-30)**. La **Figura 4-6** muestra las dimensiones que se deben tener en cuenta al momento de calcular el área libre del sistema de filtración.

$$A_{li} = (a \cdot b) - N_{mangas} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_m^2}{4} \right) \quad (4-30)$$

Donde:

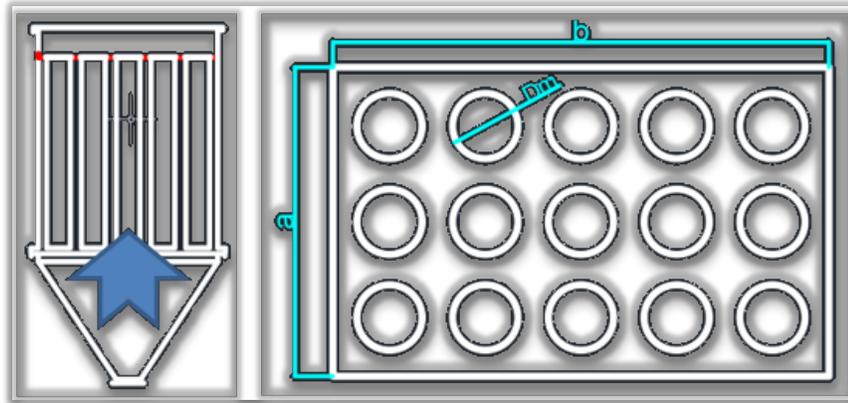
- a : Ancho de la recámara de limpieza [m]
- b : Largo de la recámara de limpieza [m]
- D_m : Diámetro de la manga [m]

El múltiplo $(a \cdot b)$ representa el área de la recámara de filtración donde se ubican las mangas, por lo que si se define el valor de la velocidad ascendente en 1,3 m/s, y luego de relacionar las **Ecuaciones (4-29) y (4-30)** se despejan estas magnitudes (largo y ancho), se obtienen las dimensiones laterales del filtro. Operando, se tiene que:

$$(a \cdot b) = \frac{Q_a}{V_a} + N_{mangas} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_m^2}{4} \right) \quad (4-31)$$

Figura 4-6

Magnitudes necesarias para el cálculo de la velocidad ascendente



Nota: De izquierda a derecha se observa: el flujo ascendente de aire (con partículas) a través del filtro y una vista superior del filtro de mangas que representa el área libre dentro del mismo. Fuente: Elaboración propia.

Al reemplazar los valores conocidos, se obtiene un área de 809 mm^2 . Con base a este dato, las dimensiones definidas para la sección transversal del filtro de mangas son de: 1.14 m de largo por 0.71 m . Los detalles del dimensionamiento del sistema de captación se evidencian en el **Anexo C**.

4.5.5. Caída de presión

La caída de presión presentada por la capa de partículas es la que más contribuye a la caída de presión total en la unidad de filtración. A medida que la capa de partículas crece sobre la superficie de la manga, la caída de presión aumenta. En general, puede esperarse una caída de presión máxima de 5 a 10 Pulgadas de agua (in H₂O) a través del filtro.

Este parámetro (ΔP), está dado por la sumatoria de las variaciones de presión, teniendo en cuenta: un sistema totalmente limpio (ΔP_l), un sistema con acumulación de partículas en la superficie de las mangas (ΔP_p), y también, debido a la estructura (ΔP_e). Esto puede expresarse como lo indica la **Ecuación (4-32)**.

$$(\Delta P) = \Delta P_l + \Delta P_p + \Delta P_e \quad (4-32)$$

Para contrarrestar la caída de presión es necesario limpiar periódicamente el filtro; razón por la que el sistema de limpieza debe ser sincronizado y configurado acorde a los requerimientos.

La caída de presión sin tener en cuenta la influencia de la estructura, se puede obtener con base a la **Ecuación (4-34)** (Ohtsuka & Makoto, 1986).

$$\left(\frac{\Delta P}{X}\right) = \frac{V \cdot \mu_g}{k} \quad (4-33)$$

Donde:

- X : Profundidad del filtro o de la capa de polvo [m]
- k : Permeabilidad del filtro o de la capa de polvo [m^2]
- μ_g : Viscosidad del aire [$Pa \cdot s$]
- V : Velocidad superficial de filtración [m/s]

$$\Delta P = \frac{X_l \cdot \mu_g \cdot V}{k_l} \cdot \frac{X_p \cdot \mu_g \cdot V}{k_p} \quad (4-34)$$

En la expresión matemática, los subíndices l y p hacen referencia los casos en los que la manga está totalmente limpia y con la adherencia de partículas, respectivamente.

La disminución de presión causada gracias a la aparición de partículas en la tela, aumenta a medida que transcurre el tiempo de filtrado capa de polvo. Esta cantidad de partículas se obtiene por medio de la **Ecuación (4-35)**, que permite calcular el incremento del espesor de la membrana de polvo sobre la bolsa (Ohtsuka & Makoto, 1986).

$$X_p = \frac{C \cdot V \cdot t}{\rho_{pol}} \quad (4-35)$$

Donde:

- C : Concentración de polvo [kg/m^3]
- t : Tiempo de operación [s]
- ρ_{pol} : Densidad de la capa de polvo [kg/m^3]
- V : Velocidad superficial de filtración [m/s]

Relacionando y reemplazando la **Ecuación (4-35)** en la **Ecuación (4-34)** se obtiene la siguiente expresión (Ohtsuka & Makoto, 1986):

64 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

$$\Delta P = \frac{X_l \cdot \mu_g \cdot V}{k_l} \cdot \frac{(C \cdot V \cdot t) \cdot \mu_g \cdot V}{k_p \cdot \rho_{pol}} \quad (4-36)$$

La limpieza continua de las mangas, hace que de las partículas sean removidas de la manga y resbalen en la tolva, el resto del material será nuevamente depositado en la superficie de la manga como consecuencia del flujo del aire que ingresa a la unidad de captación. (Dennis & Hans A., 2012).

$$\Delta P = (PE) + K_2 \cdot W_0 \cdot V_f \quad (4-37)$$

Donde:

- (PE) : $[S_e + (K_2)_c \cdot W_c] \cdot V_f$
- S_e : Arrastre por el filtro (limpio)
- $(K_2)_c$: Resistencia específica del polvo reciclado
- W_c : Densidad del área de polvo almacenado
- K_2 : Resistencia específica de polvo
- W_0 : Densidad de área de polvo (reciente)

La ecuación anterior representa la caída de presión en la configuración de magas. La desventaja de este modelo es que las constantes, S_e , $(K_2)_c$ y W_c , no pueden predecirse tan fácilmente; por lo que es necesario utilizar datos de ensayos para determinar (PE) .

Para un sistema pulse-jet, Dennis y Klemm concluyeron una vinculación que implica a (PE) , con la presión y la rapidez del filtrado del mecanismo de limpieza. Esto se evidencia en la siguiente expresión (Dennis & Hans A., 2012):

$$(PE) = 6.08 \cdot V_f \cdot P_{pulso}^{-0.65} \quad (4-38)$$

Donde:

- P_{pulso} : Presión del pulso de limpieza [psi]

Finalmente, haciendo uso de las ecuaciones y tomando una disminución de presión con base al tiempo, la caída de presión a través del filtro de mangas puede ser expresada como se muestra en la **Ecuación (4-39)** (Ohtsuka & Makoto, 1986).

$$\Delta P = V_f 6.08 \cdot V_f \cdot P_{pulso}^{-0.65} + K_2 \cdot V_f^2 \cdot C_e \cdot t_f \quad (4-39)$$

Donde:

- ΔP : *Caida de presión total del filtro [inH₂O]*
- V_f : *Velocidad de filtración [ft/min]*
- K_2 : *Coeficiente de resistencia específico del polvo [inH₂O /ft/min – Lb/ft²]*
- C_e : *Concentración de polvo a la entrada del filtro [Lb/ft³]*
- t_f : *Tiempo de filtración (min)*

Reemplazando en la **Ecuación (4-39)** se obtiene que la disminución de presión total es de 8 pulgadas de agua (inH₂O).

4.5.6. Selección del ventilador

Una vez determinado el caudal requerido para el sistema de filtro de mangas diseñado y teniendo en cuenta la pérdida de presión durante el proceso de filtración, se debe seleccionar un sistema de presión negativa que satisfaga estos requisitos. Para dicho sistema se debe seleccionar un ventilador centrífugo que entregue la potencia necesaria para cumplir con los requerimientos de diseño.

Un ventilador centrífugo con aletas curvadas hacia atrás de alta eficiencia, posee habitualmente una eficiencia en el rango del 70 y 80 %. Esto se aprecia en la siguiente expresión matemática:

$$P_V = \frac{Q \cdot \Delta P}{6356 \cdot \eta} \quad (4-40)$$

Donde:

- P_V : *Potencia del motor de accionamiento para el ventilador [HP]*
- Q : *Caudal de operación [CFM]*
- ΔP : *Caida de presión [in H₂O]*
- η : *Eficiencia del ventilador*

Seleccionando la eficiencia más baja (0,7) del mercado para el cálculo teórico, y teniendo en cuenta los valores de caudal y de caída de presión determinados, expuestos y justificados anteriormente, al reemplazar dichas magnitudes en la **Ecuación (4-40)** se obtiene una potencia de 3.2 HP.

Con base al catálogo de Siemens (Ver **Anexo H**) se determina que el motor que se debe usar para accionar el ventilador debe poseer una potencia nominal de 4 HP. Aunque el

aumento en la potencia se debe principalmente al valor comercial de los motores, esta decisión tiene un beneficio adicional, y es que garantiza un excelente factor de seguridad, teniendo en cuenta que gran parte del proceso analítico de diseño se basa en estudios y determinaciones empíricas.

4.6. Apartado eléctrico de control

El diseño del apartado eléctrico se reduce a la selección adecuada de los componentes de protección y accionamiento que garanticen una operación normal de las diferentes unidades del sistema de molienda. Se deben seguir las indicaciones establecidas en el artículo 28 de la norma técnica colombiana NTC 2050, que reglamenta el diseño e implementación de tableros electrónicos de media y baja tensión (ver **Anexo I**).

4.6.1. Motores y elementos de accionamiento y protección

Los motores se seleccionaron con base al catálogo de SIEMENS (Ver **Anexo H**). En el **Anexo T** se destacan las características de estos actuadores. De acuerdo con dicha información se procede a la elección de los dispositivos de protección y accionamiento, haciendo uso del catálogo de CHINT (Ver **Anexo J**).

4.6.2. Variadores de frecuencia

Tabla 4-7

Datos de los VFD seleccionados para el sistema de molienda

Tipo de variador	Potencia [kW] _a 220 V	Corriente Nominal [A]	Eficiencia [%]	Descripción
M1	0.55	2.5	90.2	Alimentador
M1	0.74	2.8	87.5	Clasificador

Nota: Selección realizada con base a catálogo **Anexo N**.

Para una correcta selección del variador de frecuencia (VFD), se debe tener claro algunos criterios como: la potencia del motor y el voltaje de alimentación; esto permite lograr la correcta elección con respecto al catálogo ofrecido por las compañías que se dedican a este campo en la industria. Además, el tamaño del variador de frecuencia debe elegirse también en función de la corriente máxima. Los variadores de frecuencia seleccionados, tanto para el sistema de alimentación como para el de clasificación, son de la marca Danfoss (Ver **Anexo N**)

4.6.3. Control automático de limpieza

Para el control automático de limpieza del filtro de mangas se seleccionó, una tarjeta electrónica de marca GOYEN serie DS, la cual permite la configuración de tiempos de encendido y pausa de las tres válvulas solenoides que controlan la generación de la onda de choque del sistema pulse-jet. Para realizar dicha configuración se hace uso de dos potenciómetros, que deben ser configurados de acuerdo con el tiempo requerido (Ver **Figura 4-7**).

Figura 4-7

Tarjeta GOYEN para control de válvulas solenoides



Nota: Los potenciómetros se encuentran ubicados en la esquina superior izquierda de la tarjeta. Mientras que, en la parte inferior, se observan los bornes para realizar la conexión con las válvulas. Fuente: (GOYEN, 2018)

El tiempo de encendido se gradúa entre el rango de 30 a 1000 ms, de acuerdo al resultado del del diseño del filtro de mangas y su ciclo de limpieza, además de las pruebas experimentales realizadas durante la construcción de la unidad filtrante, se configuró un tiempo de accionamiento de 60 ms por cada válvula solenoide.

El tiempo de apagado, es decir, el tiempo que hay entre cada ciclo de limpieza, se gradúa entre el rango de 1 a 1000 s. Se configuró un tiempo de apagado de 180 s para dar lugar a la activación de cada válvula solenoide.

4.6.4. Control de carga en el motor principal y conductores

Para controlar la carga del motor principal (15 HP) se hace uso de un transformador de corriente de 100/5 A (ver **Anexo L**) y así mismo un amperímetro digital, que permite

68 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

visualizar el amperaje en el tablero de control- Cabe de destacar que el amperímetro digital debe indicar una corriente máxima de 41 amperios operando a 220V, aunque en el arranque y en algún momento puede soportar picos ligeramente por encima de los 41 amperios.

Para la elección de conductores eléctricos, se tuvo en cuenta las corrientes de consumo nominal de los dispositivos, haciendo uso de la tabla NTC 2050 del **Anexo O**, se seleccionaron los conductores eléctricos expuestos en el **Anexo T**.

Finalmente, una vez seleccionados los diversos elementos de accionamiento, protección y regulación, se eligieron los siguientes componentes de mando, conexión e indicación para completar el circuito de control del sistema de molienda (Ver **Anexo M**).

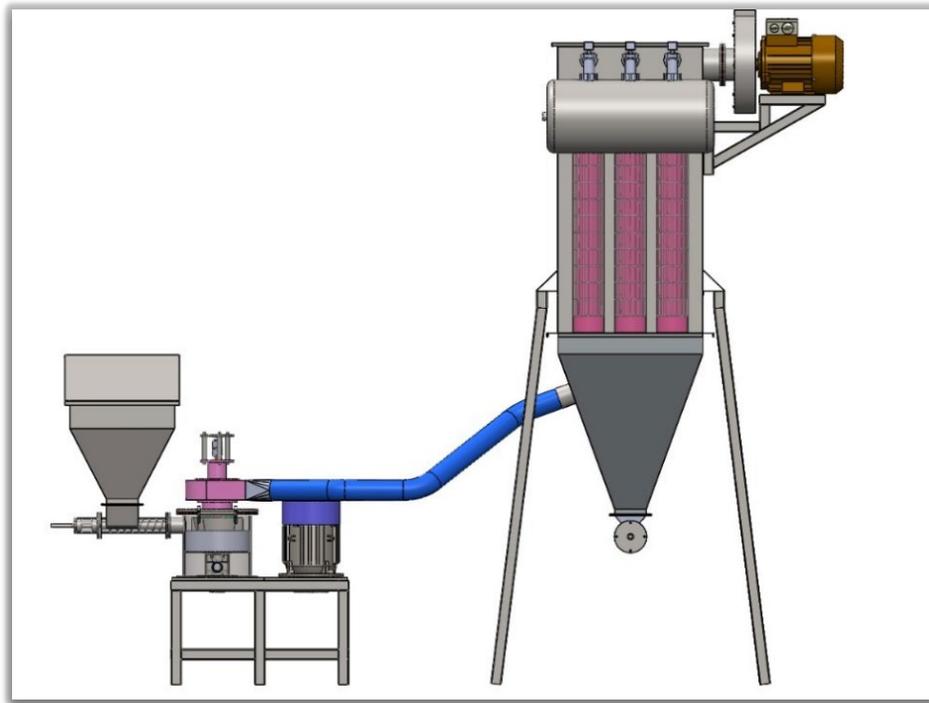
5. Capítulo 5: Resultados obtenidos

El primer resultado significativo se aprecia desde el punto de vista de la caracterización y definición concreta y detallada de la problemática a solucionar, abarcando la totalidad de los requerimientos que se tuvieron en cuenta para al diseño de la máquina. El sistema de molienda fue bien recibido por la empresa INVESA, y su funcionamiento cumple a cabalidad con los requerimientos establecidos desde el inicio.

Los aspectos relacionados con los resultados de diseño, construcción y funcionamiento se relacionan y justifican a lo largo del presente capítulo.

Figura 5-1

Descripción general de partes y componentes del sistema de molienda



Nota: Elaboración propia en Software CAD SOLIDWORKS. Para mayor detalle ver **Anexo C**.

70 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

En la **Figura 5-1** se aprecia la configuración estructural del sistema de molienda, el cual cuenta con cuatro unidades principales: unidad de control eléctrico, unidad de alimentación, unidad de molienda y clasificación, y una unidad de captación y filtración del producto.

La unidad de control eléctrico (Ver **Figura 5-2**), es la que se encarga de regular el accionamiento y funcionamiento de las demás secciones del sistema de pulverización. Esta unidad eléctrica se encuentra en un gabinete o tablero eléctrico desde donde el operario puede verificar el funcionamiento del sistema. La unidad de control eléctrico la componen:

- Un amperímetro digital, el cual indica el esfuerzo del motor del molino y permite controlar la carga máxima del motor principal de 15 HP.
- Dos variadores de frecuencia electrónicos, para la dosificación de la materia prima y para la determinación del tamaño final de la partícula, respectivamente.
- Una tarjeta electrónica que cumple la función de accionar, de manera automática, el sistema de limpieza pulse-jet del filtro de mangas.
- Una serie de pulsadores para el arranque y parada de la válvula alveolar, el ventilador, el accionamiento de los motores y diversos indicadores que suministrarán información al operario. También se tiene un botón de paro de emergencia.

Figura 5-2
Gabinete de control eléctrico

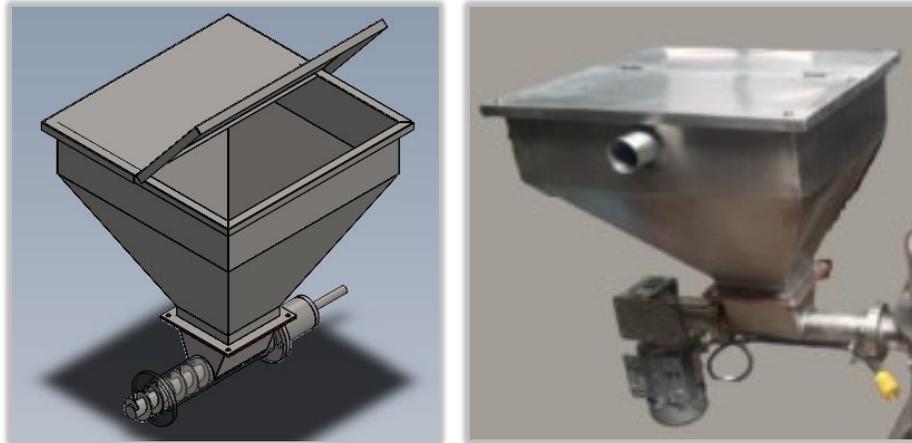


Nota: Fotografías del gabinete de control eléctrico ya instalado y terminado. Elaboración propia

En la unidad de alimentación, el sistema está provisto de una tolva que permite la

dosificación de los granos de arroz al transportador de tornillo helicoidal. Este es accionado por un motorreductor que es controlado por uno de los variadores de frecuencia. El variador de frecuencia permite incrementar o disminuir el flujo de alimentación hacia la recámara de molienda.

Figura 5-3
Unidad de alimentación



Nota: En la imagen, de izquierda a derecha, se aprecia el diseño de la unidad en SOLIDWORKS y el resultado final una vez construida la misma unidad. Los detalles de dimensionamiento se pueden apreciar en el **Anexo A**. Fuente: Elaboración propia.

En la tolva de alimentación se encuentra una conexión neumática que captura la emisión de material particulado en la operación de cargue de la tolva. Este ducto aprovecha la succión del sistema para causar presión negativa en el interior de la tolva de alimentación. El elemento está dotado de una compuerta en la parte superior que permite mantener aislado el material que se deposita dentro del mismo, controlando a su vez la polución en la tolva. Las dimensiones de este elemento se evidencian en la **Tabla 5-1**.

Tabla 5-1
Magnitudes definitivas de la tolva de alimentación

Dimensión	Volumen T [m ³]	Área [m ²]	Espesor de las paredes [m]
Magnitud	0.0334	1.0145	0.0012

Nota: La tabla muestra los datos oficiales para la construcción de la tolva de alimentación. Fuente elaboración propia.

En cuanto al transportador de tornillo, se tiene que su accionamiento se da gracias a un motor de $\frac{3}{4}$ de HP. El tornillo sin fin que se encarga del transporte del material hacia la

72 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

zona de molienda es un tornillo mano derecha, de paso corto, con helicoidales estándar y carcasa del tipo tubular. En la Tabla 5-2 se destacan las características de funcionamiento y de diseño del transportador, así mismo, en el Anexo se detalla el dimensionamiento del elemento.

Tabla 5-2

Parámetros importantes de diseño del transportador

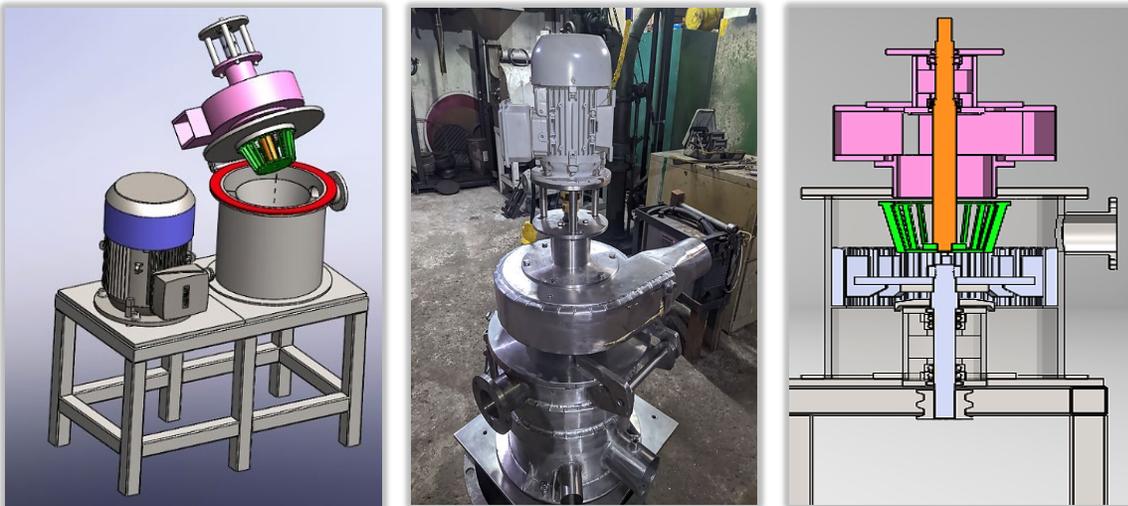
Especificación	Magnitud
Área de relleno [m ²]	0.00875
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0.034
Capacidad del transportador [kg/h]	58.40
Potencia de accionamiento [HP]	3/4

Nota: La tabla muestra las especificaciones de funcionamiento más importantes del transportador de tornillo construido. Fuente elaboración propia.

Continuando con la secuencia del proceso real al que es sometida la partícula de arroz, se tiene la unidad de molienda y clasificación, compuesta de un disco que incorpora martillos periféricos dispuestos equidistantemente, activado por medio del motor principal que entrega una potencia nominal de 15 HP.

Figura 5-4

Unidad de molienda y clasificación



Nota: En la imagen se aprecia el diseño de la unidad en SOLIDWORKS y el resultado final una vez construida la misma unidad. Los detalles de dimensionamiento se pueden apreciar en el **Anexo B**. Fuente elaboración propia.

En concordancia con las condiciones de operación previamente establecidas en el apartado de alcance y limitaciones y en el marco teórico, el sistema de molienda construido es de circuito cerrado y por pulverización de vía seca. Un molino que aplica la trituración por impacto y la clasificación por aire en un solo proceso de reducción de partículas. Realiza la reducción de tamaño implementando alta velocidad para impactar las partículas con gran energía, además de una sección de clasificación granulométrica integrada en la misma recamara, pero con un motor independiente (Ver **Figura 5-4**).

En esta, la etapa que se encarga de la reducción de las dimensiones de las partículas de arroz, el producto está sujeto a la acción de desintegración causada por el impacto al que es sometida la partícula cuando la fuerza centrífuga la impulsa y luego esta es frenada por la banda de choque para que los martillos rotantes la golpeen repetitivamente. Esta intensa turbulencia obliga a las partículas a friccionarse entre sí. Al reducir su tamaño pierden peso y las partículas más pesadas se mantienen impactando en la periferia de la recamara de molienda, mientras que las más livianas empiezan a ser transportadas por el flujo de aire ascendente. Así el material es gradualmente llevado hacia el clasificador dinámico el cual, según la velocidad de rotación ajustada, determina la granulometría de las partículas que pueden ser transportadas, las partículas de tamaño superior regresan hacia el disco de molienda para seguir siendo reducidas hasta tener el tamaño deseado y lograr evacuar el molino para ser conducidas hacia la unidad filtrante.

Tabla 5-3

Variación de la granulometría en función de la variación de frecuencia

Frecuencia [Hz]	Malla [Hilos x in]	Granulometría [μm]
26	80	152.4
30	100	139.7
34	120	116.84
36	150	104.14
40	165	101.6
42	170	90.2
44	200	73.66

Nota: Elaboración propia con base a pruebas experimentales.

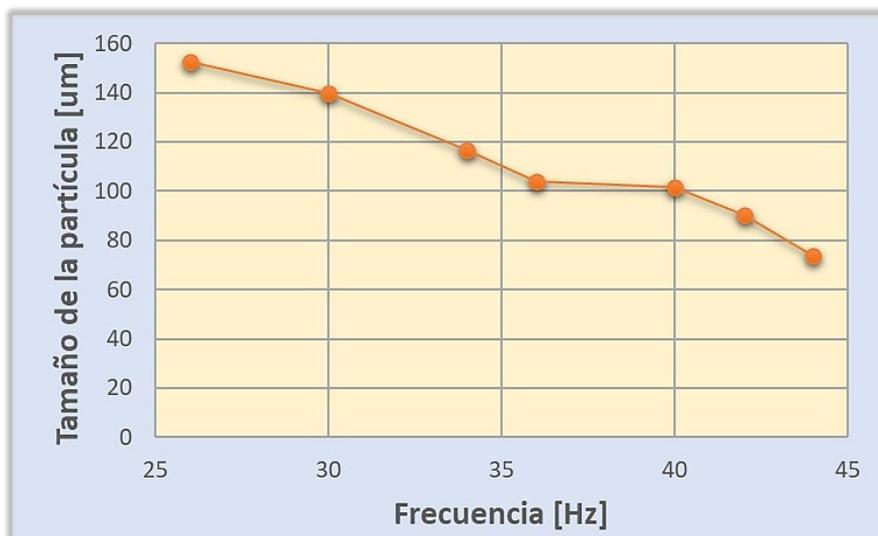
Como se mencionó en el apartado de diseño en la sección del clasificador dinámico, uno de los beneficios que presenta el sistema de molienda construido es que mediante un solo clasificador se pueden conseguir tamaños finales diferentes para la partícula de arroz a través de la variación de la velocidad de la canastilla clasificadora. La relación es inversamente proporcional, al incrementar o reducir la frecuencia de rotación de la

74 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

canastilla, el tamaño del material que pueda cruzarla será cada vez más chico o de gran tamaño, respectivamente. La **Tabla 5-3** muestra el comportamiento del tamaño de la partícula a medida que se varia la frecuencia de funcionamiento del motor que acciona el clasificador dinámico. Los datos registrados son el resultado de pruebas realizadas con el equipo una vez terminado. En la **Figura 5-5** se aprecian estos resultados de manera gráfica.

Figura 5-6

Variación de la granulometría en función de la variación de frecuencia



Nota: Elaboración propia con base a pruebas experimentales

Tabla 5-4

Resultados de diseño del Filtro

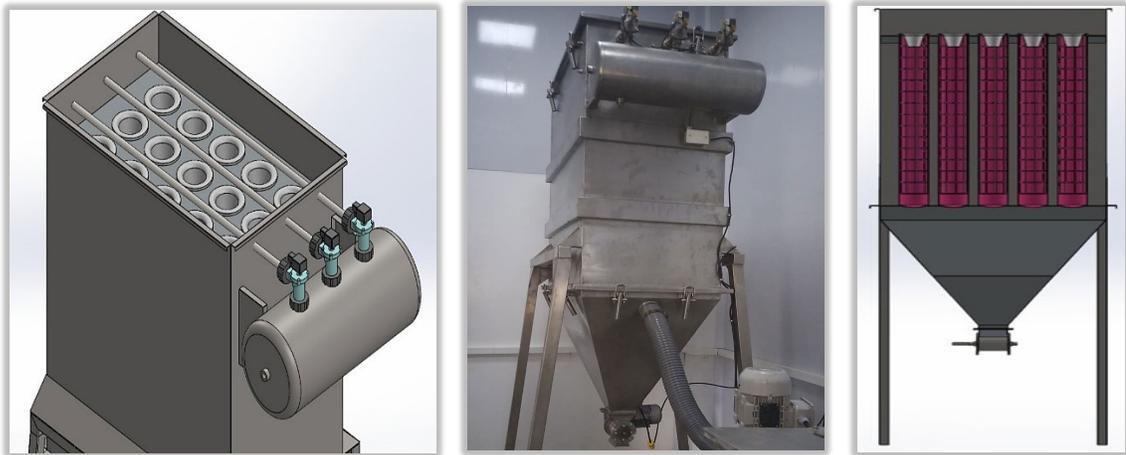
Especificación	Magnitud
Velocidad de filtración [m/s]	0,089
Área total de filtración [m ²]	9.349
Dimensiones de la manga [m]	Diámetro: 0.16 Longitud: 1.2
Área manga [m ²]	0.62
Número de mangas	15
Número de válvulas [3/4 in a 220 V]	3
Disminución de presión total [in.H2O]	8
Potencia del ventilador [HP]	4
Presión del chorro de aire [psi]	125
Tiempo de limpieza [ms] cada 180 s	60

Nota: Fuente elaboración propia.

En el interior de la unidad filtrante se encuentran las mangas confeccionadas en tela industrial (Poliéster Punzado) apropiada para este propósito y que permiten que el aire sea evacuado al exterior sin generar polución en el ambiente, pues están diseñadas para capturar partículas de hasta 20 micras.

Esta unidad de filtrado de aire tiene el área filtrante necesaria para que la unidad de molienda transpire eficientemente, adicionalmente cuenta con un sistema de limpieza programable que dispara aire comprimido en la dirección contraria al flujo de llegada, para que las partículas se desprendan de la tela y se precipiten a la parte inferior de la tolva de descarga, en donde se ubica la válvula rotativa que vacía el producto de manera controlada.

Figura 5-7
Unidad de filtración y captación



Nota: En la imagen, se aprecia el diseño de la unidad en SOLIDWORKS y el resultado final una vez construida la misma unidad. Los detalles de dimensionamiento se pueden apreciar en el **Anexo C**.

El ciclo de limpieza es regulado por un reloj remoto y automático conectado a las válvulas solenoides desde el gabinete de control eléctrico. El pulso de aire es controlado por la válvula solenoide y se descarga a través de tuberías neumáticas equipadas con boquillas y colocadas por encima de las mangas. En la **Tabla 5-4** se exponen en detalle los parámetros de funcionamiento del filtro de mangas.

El gas fluye desde afuera hacia adentro de las mangas y de ahí hacia la salida. El material se acumula en el exterior de las bolsas y descenden hacia una tolva debajo del filtro de mangas. Durante la limpieza por el mecanismo pulse-jet, un pulso corto (60 ms), de aire a

76 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

alta presión (830 kPa) se inyecta dentro de las mangas. El pulso se sopla a través de una boquilla en la parte superior de la manga, generando una ola de impacto direccionada al fondo de la manga. La onda flexiona la tela, la empuja hacia fuera de la jaula y después la sacude desprendiendo la capa de polvo que se ha formado.

Como beneficio adicional, el sistema de molienda diseñado se destaca por su versatilidad. El molino no solo puede moler una amplia gama de materiales, sino que el flujo de aire del molino lo hace muy adecuado para moler materiales sensibles al calor, siempre y cuando se cumplan con requisitos a cerca de la humedad y la dureza. Este molino es apto para moler productos con una dureza máxima de 4 Mohs. El flujo de aire entrante se puede para controlar la temperatura y la humedad. La construcción sanitaria permite que el molino maneje productos y aplicaciones farmacéuticas y de grado alimenticio con requisitos especiales de limpieza.

Una vez se culminó con la etapa de diseño y ensamblaje, obteniendo como resultado el correcto funcionamiento del sistema, se procedió a realizar la respectiva instalación y puesta en marcha del equipo. La **Figura 5-8** muestra el resultado obtenido en cuanto a reducción del tamaño de la partícula, proveniente de las pruebas definitivas realizadas en las instalaciones de la empresa INVESA el día en el que se realizó la entrega oficial del equipo (Ver **Figura 5-8**). Ese mismo día, se explicó de manera detallada el funcionamiento del sistema de molienda a quienes serían sus operarios directos. También, se hizo entrega del manual de usuario que se adjunta en el **Anexo U**.

Figura 5-8

Partícula de arroz resultante del proceso de moltura: Tamaño de 90 micrómetros



Nota: De izquierda a derecha se aprecia: La partícula de arroz bruto introducida al sistema y el producto obtenido al final del procedimiento de pulverización. El color verdoso es el resultado del proceso de inoculación al que la empresa somete al grano de arroz antes de su trituración.

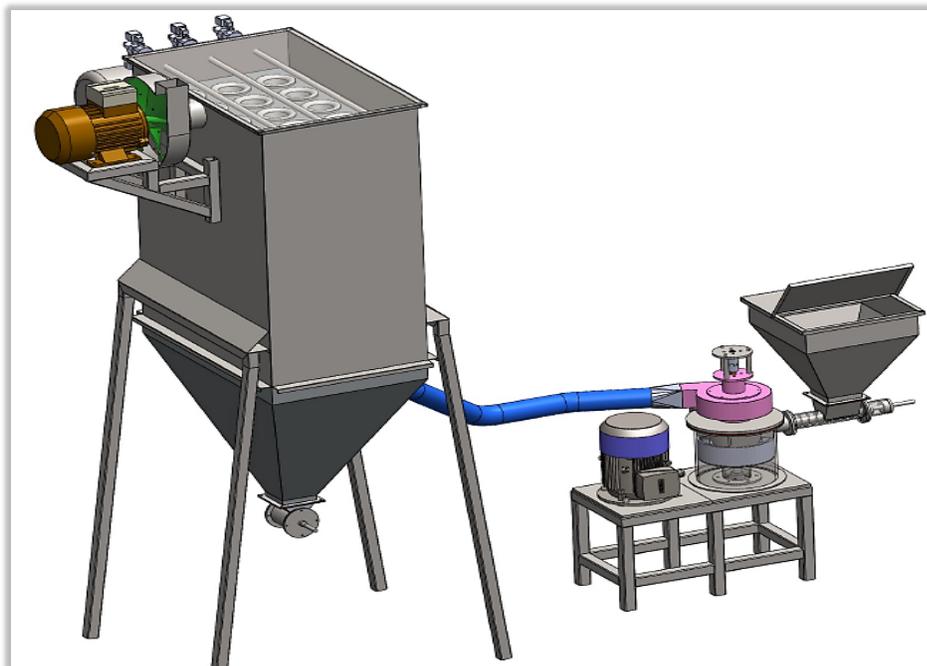
Figura 5-9
Sistema de molienda completo e instalado



Nota: Captura del sistema de molienda una vez instalado en la planta de producción de la compañía INVESA.

La siguiente figura, muestran el ensamblaje final de los componentes y piezas diseñadas en el software de diseño asistido por computadora SOLIDWORKS.

Figura 5-10
Ensamble final de las tres zonas del sistema de molienda



Nota: Fuente: elaboración propia.

6. Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

Una vez concluido el desarrollado del sistema de molienda, el grupo de trabajo llegó a las siguientes conclusiones:

- Determinar las necesidades del cliente (Compañía INVESA), las cuales se basaron principalmente en: la obtención de un artefacto que cumpliera con estándares de higiene, que ofreciera facilidad de mantenimiento, y que, además, permitiera alcanzar una producción de 40 kg/h de harina de arroz inoculado, donde las partículas presentaran un tamaño de 90 micras, a fin de complementar una línea de producción de fertilizantes fue de vital importancia para iniciar con el diseño del sistema de molienda. Esto brindó una secuencia metodológica rigurosa que permitió definir la problemática. A partir de esta caracterización fue posible dar continuidad a las siguientes etapas de desarrollo: diseño, construcción y puesta en marcha.
- Cuando una tolva tiene el propósito de almacenar grandes cantidades de materia en donde a su vez debe soportar grandes esfuerzos, no es recomendable limitar el diseño de la misma únicamente a su dimensionamiento. Para este tipo de casos es importante hacer un análisis detallado de las fuerzas que se aplican a la estructura del elemento y poder así, garantizar un desempeño duradero de la tolva. Es importante destacar, que la tolva de alimentación, es capaz de almacenar hasta 19 kg de materia prima.
- En cuanto al transportador de tornillo, al analizar el diseño teórico, en relación a las expresiones matemáticas, se observa que, con el incremento de la capacidad de transporte, así mismo se eleva la potencia necesaria para accionar el tornillo, de manera directamente proporcional. Sin embargo, la variación de dicha capacidad

está estrechamente relacionada con el ángulo de operación del mecanismo. Cuando aumenta la pendiente con respecto a la horizontal, la capacidad propende a disminuir; reducción que está dada por el coeficiente de disminución del flujo en el transportador con respecto al ángulo de inclinación; como consecuencia, la potencia total requerida para transportar el arroz disminuye de manera directa. Con base en los datos de la **Tabla 4-3**, se tiene, que para una inclinación de 35° la capacidad de transporte se reduce en un 80% aproximadamente, con respecto a una orientación totalmente horizontal del sistema de transporte.

- En el clasificador dinámico, el tamaño de corte disminuye con el aumento de la velocidad de rotación de la jaula del rotor y aumenta a medida que se acrecienta la velocidad de entrada de aire. Una alta velocidad de alimentación aumenta la probabilidad de agregar partículas a medida que aumenta la concentración de sólidos. Esto se puede apreciar de manera gráfica en la **Figura 5-5**, donde, se aprecia que cada vez que aumenta la frecuencia de giro del clasificador, disminuye el tamaño de la partícula, manteniendo una velocidad de entrada del aire sin alteraciones (en la zona de molienda).
- De acuerdo con la revisión bibliográfica que se llevó a cabo frente a la implementación del clasificador dinámico, para determinar claramente las configuraciones ideales de las paletas o pletinas que conforman la canastilla del clasificador de aire, se necesitan más estudios que permitan revelar las interacciones sólido-aire en la región de las paletas en diferentes condiciones. De esta manera, se conseguiría optimizar el proceso de diseño y construcción de estos elementos.
- La velocidad de filtración es de vital importancia en el diseño del filtro de mangas. Su importancia radica en que al ser baja, aumenta la superficie filtrante, y si es demasiado alta, traerá como consecuencia un aumento en la frecuencia del proceso de limpieza, disminuyendo la vida útil del filtro y generando una compactación del material.
- Aunque se reconoce que el proceso de inoculación al que es sometido el arroz previamente al proceso de disminución del tamaño de las partículas afecta las propiedades originales del material, es importante destacar que el sistema diseñado con base a datos que relacionan las propiedades del arroz en bruto, una vez implementado, permitió de manera satisfactoria reducir el tamaño de la partícula de arroz inoculado hasta un tamaño de 90 micrones y de esta manera complementar adecuadamente un proceso de producción de fertilizantes. Lo anterior, sin

80 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

necesidad de hacer modificaciones en los parámetros configurados para el arroz en bruto.

- Relacionando la granulometría que permite alcanzar el mecanismo de molienda, es correcto afirmar que la relación de reducción de la partícula, para el caso de las 90 micras, es de 44, lo que quiere decir, que el tamaño de un grano de arroz de aproximadamente 4 milímetros (arroz en bruto) se reduce 44 veces. Ahora bien, comparando la producción obtenida en kg/h al final del proceso, con respecto a la cantidad de material suministrado a la entrada, en un ciclo de producción normal, la maquina ofrece una eficiencia del 97%.

6.2. Recomendaciones

Para trabajos futuros, como primera medida, se recomienda generar espacios de investigación, dentro de la Universidad Antonio Nariño, en el ámbito de la reducción del tamaño de partículas. Puesto que como se evidencia en la extensión del presente documento, es un ámbito que está inmerso dentro de muchos procesos industriales que representan campos de acción potenciales para el ejercicio de la profesión como ingenieros.

Ahora bien, de manera más precisa y enfocada en el proceso de diseño y construcción del sistema de pulverización, los integrantes del equipo de trabajo recomiendan como trabajo a posteriori, la implementación de un lazo de control que permita la automatización completa de un proceso de moltura como el desarrollado. La implementación de un sistema de control podría incluir, por ejemplo, un sistema automático para el pesaje del material previo a la etapa de alimentación; la supervisión detallada de diversos parámetros a lo largo del proceso, como humedad, temperatura, presión, caudal y demás; y la retroalimentación del mismo sistema con base a los datos que vaya obteniendo de un tiempo inmediatamente anterior para optimizar el proceso de molturación, mejorando la eficiencia del mismo.

Uno de los principales objetivos de la ingeniería en todo su esplendor se basa en el constante reto que se tiene de mejorar los inventos y avances que se han logrado a nivel científico y tecnológico, buscando siempre brindar solución a necesidades sociales, industriales y económicas que busquen el bienestar y el desarrollo de la humanidad. En concordancia, la industria de la pulverización en Colombia es un ámbito que necesita de intervención y trabajo desde el punto de vista ingenieril.

7. Bibliografía

- Amorós, J., Sanchez, E., & García, J. (s.f.). *Qualicer.org*. Recuperado el 17 de 05 de 2020, de <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0013041s.pdf>
- Bastidas Solarte, J. G., & Guerra Lasso, J. A. (29 de 11 de 2019). Diseño y construcción de un prototipo de máquina secadora y pulverizadora para la transformación de hoja de coca en harina natural en la comunidad indígena Inkal Awá Unipa en el departamento de nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. Recuperado el 8 de 05 de 2020, de <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12276/688/Art.%20I.M115A%20Meritoria.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Blanco, E. (s.f.). *Universidad de Cantabria (curso)*. Recuperado el 21 de 06 de 2020, de <https://ocw.unican.es/course/view.php?id=70§ion=8>
- Blanco, E. (s.f.). *Universidad de Cantabria (curso)*. Recuperado el 23 de 06 de 2020, de <https://ocw.unican.es/course/view.php?id=70§ion=8>
- Brown, E. (17 de 02 de 2016). *Every Single Topic*. Recuperado el 27 de 06 de 2020, de <https://www.everysingletopic.com/ball-mill-highly-efficient-grinding-and-milling-machine/>
- carbotecnia. (2017). *carbotecnia*. Recuperado el 15 de 5 de 2020, de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/granulometria-o-numero-de-malla/>
- CHINT. (2019). *Nalelectricos.com*. Obtenido de <https://www.nalelectricos.com.co/archivos/chint-lista-de-productos.pdf>
- Código Eléctrico Colombiano . (25 de 11 de 1998). *Código Eléctrico Colombiano* . Obtenido de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>
- Cooper C, D., & Alley, F. (202). *Air Pollution Control: A Design Approach (Segunda Edición)*. Waveland Press. Recuperado el 14 de 05 de 2020
- Danfoss. (15 de 05 de 2019). Obtenido de <https://www.danfoss.com/es-mx/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>
- Danfoss. (2019). *Danfoss*. Obtenido de <https://docs.rs-online.com/e809/0900766b81426023.pdf>

82 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Dennis, R., & Hans A., K. (13 de 03 de 2012). *Journal of the Air Pollution Control Association* .

Duroudier, J.-P. (2016). Ball and Rod Mills. En J.-P. Duroudier, *Size Reduction of Divided Solids* (págs. 73-97). Elsevier. Recuperado el 21 de 06 de 2020, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781785481857500035>

Duroudier, J.-P. (2016). Principles and Theories. En J.-P. Duroudier, *Size Reduction of Divided Solids* (págs. 1-51). Elsevier. Recuperado el 15 de 06 de 2020, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781785481857500011>

ECURED. (5 de 05 de 2013). *ECURED*. Recuperado el 14 de 04 de 2020, de <https://www.ecured.cu/Molienda>

Fayed, M., & Otten, L. (1997). Size Reduction of Solids Crushing and Grinding Equipment. En *Handbook of Powder Science & Technology - Second Edition* (págs. 586-634). Nueva York: Chapman & Hall.

GOYEN. (03 de 05 de 2018). *altec dust.com*. Recuperado el 14 de 05 de 2020, de https://altec dust.com/images/stories/virtuemart/product/Manual_DS_V01-17_ms.pdf

IngeMecanica. (24 de 11 de 2017). Recuperado el 12 de 05 de 2020, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Johansen, S. T., & Silva, S. R. (2002). Some considerations regarding optimum flow fields. En S. T. Johansen, & S. R. Silva, *International Journal of Mineral Processing -Vol. 44* (págs. 703 - 721). Recuperado el 18 de 06 de 2020

Junco, J. (20 de 12 de 2019). *monitoreoambiental.com*. Obtenido de Filtro de Mangas: <https://www.monitoreoambiental.com/filtro-de-mangas/>

Karunakumari, L., Eswaraiah, C., Jayanti , S., & Narayanan, S. (09 de 02 de 2005). *Experimental and numerical study of a rotating wheel air classifier*. Recuperado el 12 de 08 de 2020, de AICHE: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.10349>

Kolacz, J. (2005). Investigating flow conditions in dynamic air classification. En J. Kolacz, *Minerals Engineering - Vol. 15* (págs. 131-138). Australia. Recuperado el 22 de 06 de 2020

LEXICO. (18 de 01 de 2016). *LEXICO by OXFORD*. Recuperado el 14 de 03 de 2020, de <https://www.lexico.com/definicion/hopper>

Martin. (11 de 02 de 2017). *Martin*. Recuperado el 13 de 07 de 2020, de <http://www.elementosindustriales.com/web/pdf/martin/SECCION-H.pdf>

MASEIR. (02 de 09 de 2015). *MASEIR.com*. Recuperado el 25 de 07 de 2020, de <http://maseir.com/index.php/project/radial-classifier/>

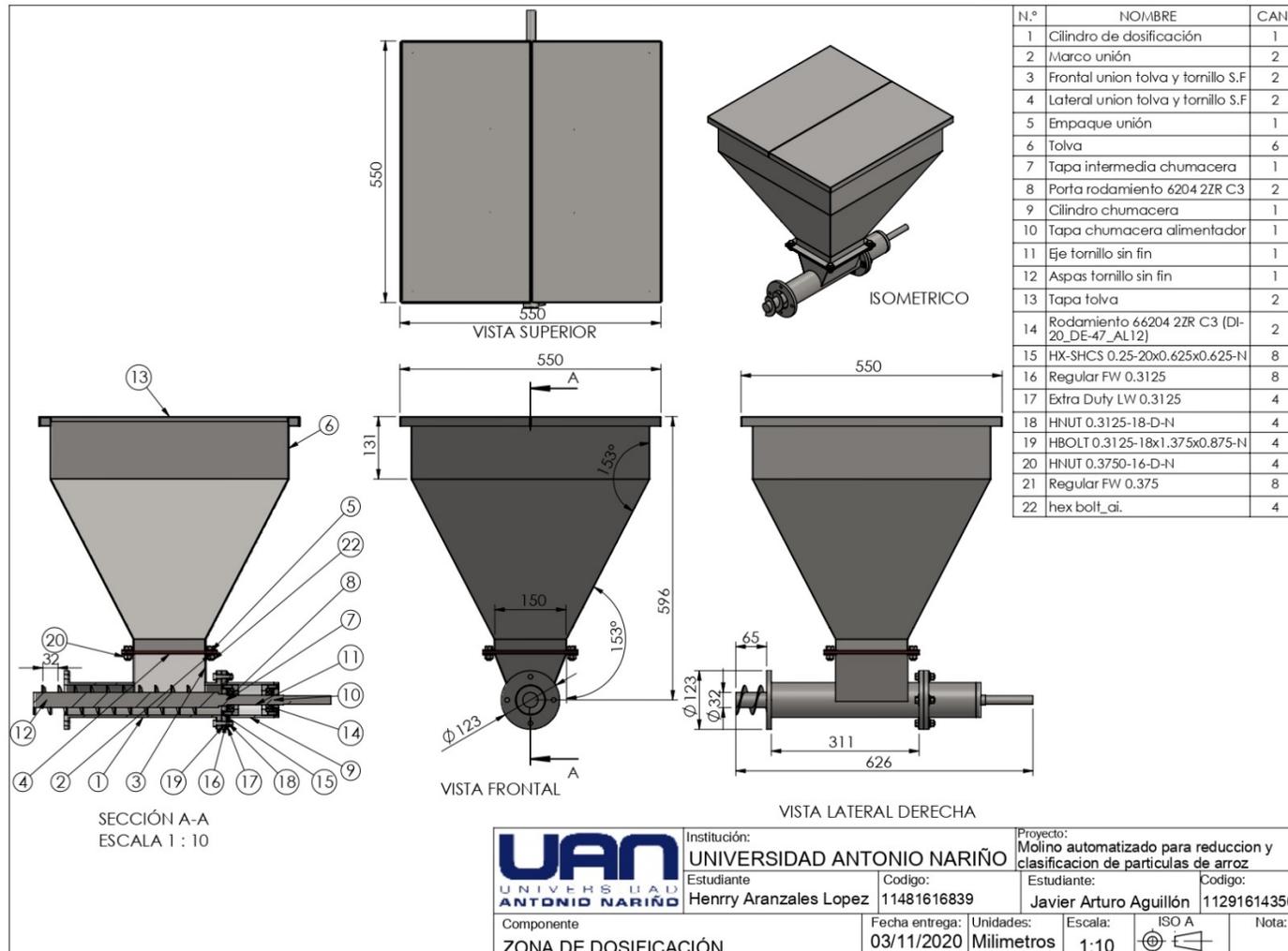
Metalurgia Extractiva. (15 de 11 de 2018). *MetalurgiaExtractiva.com*. Recuperado el 13 de 08 de 2020, de <https://yomineria.jimdofree.com/metalurgia-extractiva/conminucion/mecanismos/>

- Ministerio de Energía. (2015). *minenergia.gov.co*. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23965915/310118_borrador_pro_y_RETIE_instalaciones.pdf/ff508ff9-1bf1-44d4-a396-d17178a4094d
- Monteagudo Castillo, Y. R. (25 de 07 de 2016). *Repositorio Institucional de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*. Recuperado el 18 de 05 de 2020, de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/7177>
- NETZSCH. (2020). *NETZSCH.com*. Recuperado el 23 de 03 de 2020, de <https://www.netzsch.com/es/>
- Ohtsuka, K., & Makoto, S. (1986). Mechanism of fabric filtration by electrostatic augmentation. En K. Ohtsuka, & S. Makoto. sciencedirect. Recuperado el 18 de 06 de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304388686900185>
- Ortega Rivas, E. (29 de 07 de 2015). Characterization and Processing Relevance of Food Particulate Materials. Chihuahua, Mexico. Recuperado el 12 de 07 de 2020, de <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15214117>
- Owen, M., & Viner, A. (05 de 24 de 2002). *EPA*. Recuperado el 14 de 06 de 2020, de https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=ORD&dirEntryID=35493
- PORTAFOLIO. (16 de 01 de 2020). *Revista electrónica PORTAFOLIO*. Recuperado el 13 de 05 de 2020, de <https://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-los-retos-de-la-para-el-2020-538146>
- PROCESAMINERALES*. (14 de 03 de 2016). Recuperado el 15 de 06 de 2020, de <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/09/circuitos-de-molienda-sag.html>
- Real Academia Española. (22 de 04 de 2019). *RAE*. Recuperado el 23 de 06 de 2020, de <https://dle.rae.es/molino>
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. (30 de 08 de 2013). *RETIE*. Recuperado el 25 de 06 de 2020, de http://www.nuevalegislacion.com/files/susc/cdj/conc/anx_r90708_13.pdf
- Reina, M., Zuluaga, S., & Rozo, M. (2006). Las actividades económicas. En *El sistema económico* (págs. 14-20). Bogotá-Colombia: CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango. Recuperado el 13 de 07 de 2020, de https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/guia_1_el_sistema_economico.pdf
- Rodriguez Benavidez, M. R. (12 de 07 de 2017). Diseño y construcción de un molino de bolas para granzón de arena gris en la cantera sand-pit del corregimiento del espino Nariño. El Espino, Nariño, Colombia. Recuperado el 10 de 05 de 2020, de <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/557>
- Shah, K. (15 de 01 de 2017). *practicalmaintenance.net*. Recuperado el 16 de 06 de 2020, de <https://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Working-Design-Considerations-and-Maintenance-of-Bag-Type-Fabric-Filters.pdf>

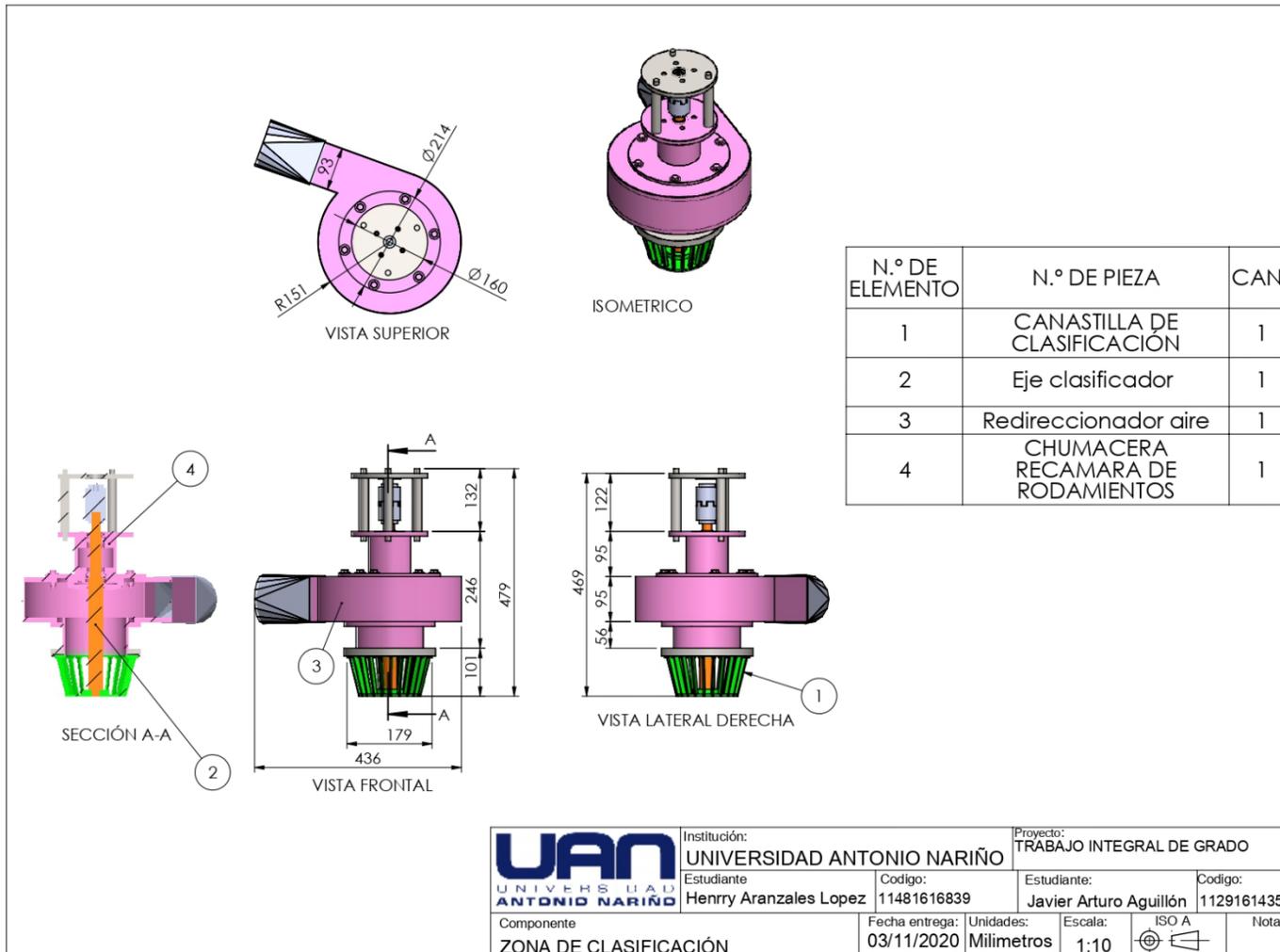
84 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

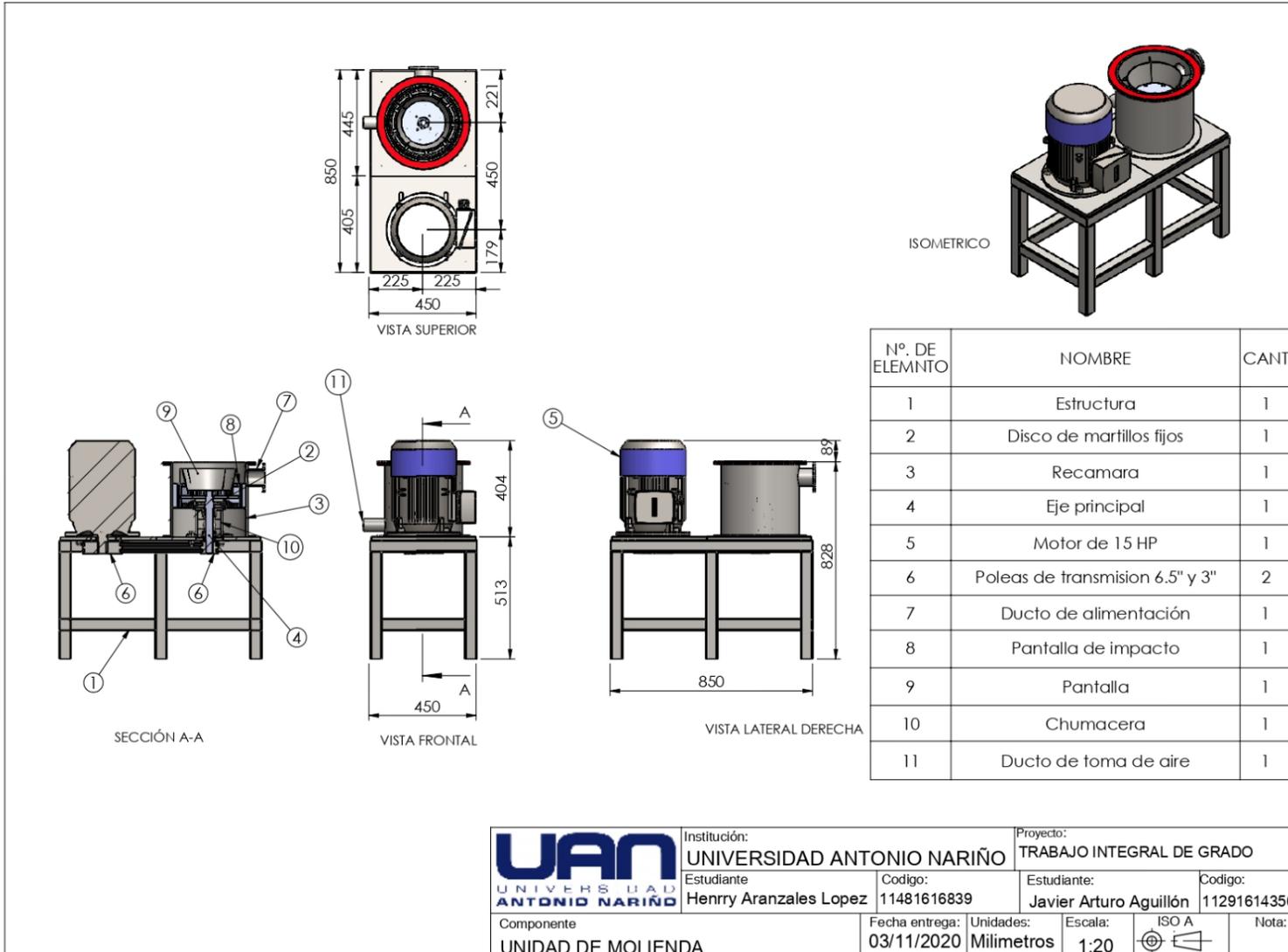
- SIEMENS. (2019). *SIEMENS.com*. Obtenido de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1580149154/arteimpresioncatalogosimotics.pdf>
- SIMSA. (25 de 03 de 2020). *SIMSA.ltda*. Obtenido de <http://www.simsa.co/>
- Sun, Z., Yang, X., & Wang, Q. (2003). Study on horizontal turbine classification. En *Microscope*. Recuperado el 25 de 06 de 2020
- Toneva, P., Epple, P., Breuer, M., & Peukert, W. (13 de 09 de 2011). *ELSEIVER*. Recuperado el 11 de 06 de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591011001124>
- Universidad Nacional del Sur. (2013). *Universidad Nacional del Sur*. Recuperado el 25 de 04 de 2020, de <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/>
- Velasco Adrianzén , J. (2019). *Universidada Cesar Vallejo*. Recuperado el 12 de 04 de 2020, de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40805>
- Vilches, E. (25 de 04 de 2018). Recuperado el 01 de 05 de 2020, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwievJSB7JTtAhWHTt8KHbzNDKgQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.moeller.es%2Fdescarga.php%3Ffile%3Dpublic%2F32%2FManual_Esquemas_2006_Completo.pdf&usg=AOvVaw1P9AJL3S0dKe-WTru5T4LU
- Vilches, E. (05 de 04 de 2018). Recuperado el 01 de 05 de 2020, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwievJSB7JTtAhWHTt8KHbzNDKgQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.moeller.es%2Fdescarga.php%3Ffile%3Dpublic%2F32%2FManual_Esquemas_2006_Completo.pdf&usg=AOvVaw1P9AJL3S0dKe-WTru5T4LU
- Wang, Q., Silva, C., & Melaaen, M. (2006). En l. a. classifier, *Powder Technology* (págs. 273 - 280). Porsgrunn, Noruega. Recuperado el 24 de 06 de 2020
- Whitmore, G. (25 de 08 de 2015). *openaccessgovernment.org*. Recuperado el 08 de 05 de 2020, de <https://www.openaccessgovernment.org/pesticides-sustainable-agricultural-productivity/20538/>
- Wood, J., & Malcomson, L. (11 de 31 de 2011). *researchgate.net*. Recuperado el 26 de 06 de 2020, de https://www.researchgate.net/figure/Flour-roller-mill-Source-C-2008-Government-of-Saskatchewan_fig7_287312732
- Yu, Y., Liu , J., & Zhang . (2015). Establishment of a prediction model for the cut size of air classifiers. En Y. Yu, J. Liu, & Zhang, *Powder Technology* (págs. 274-280). Beijing. Recuperado el 26 de 06 de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/260033189_Establishment_of_a_prediction_model_for_the_cut_size_of_turbo_air_classifiers

Anexo A: Planos de la zona de alimentación

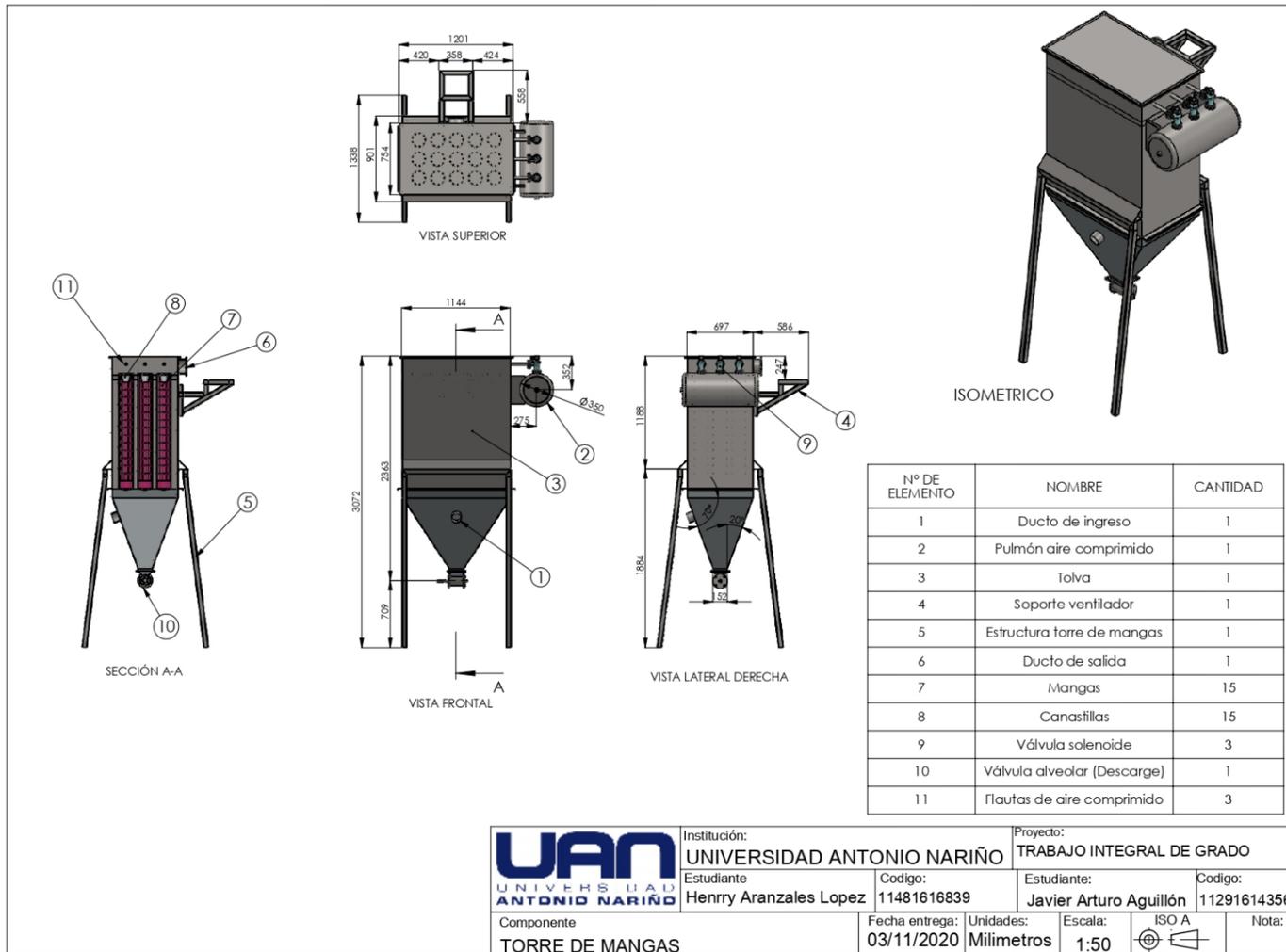


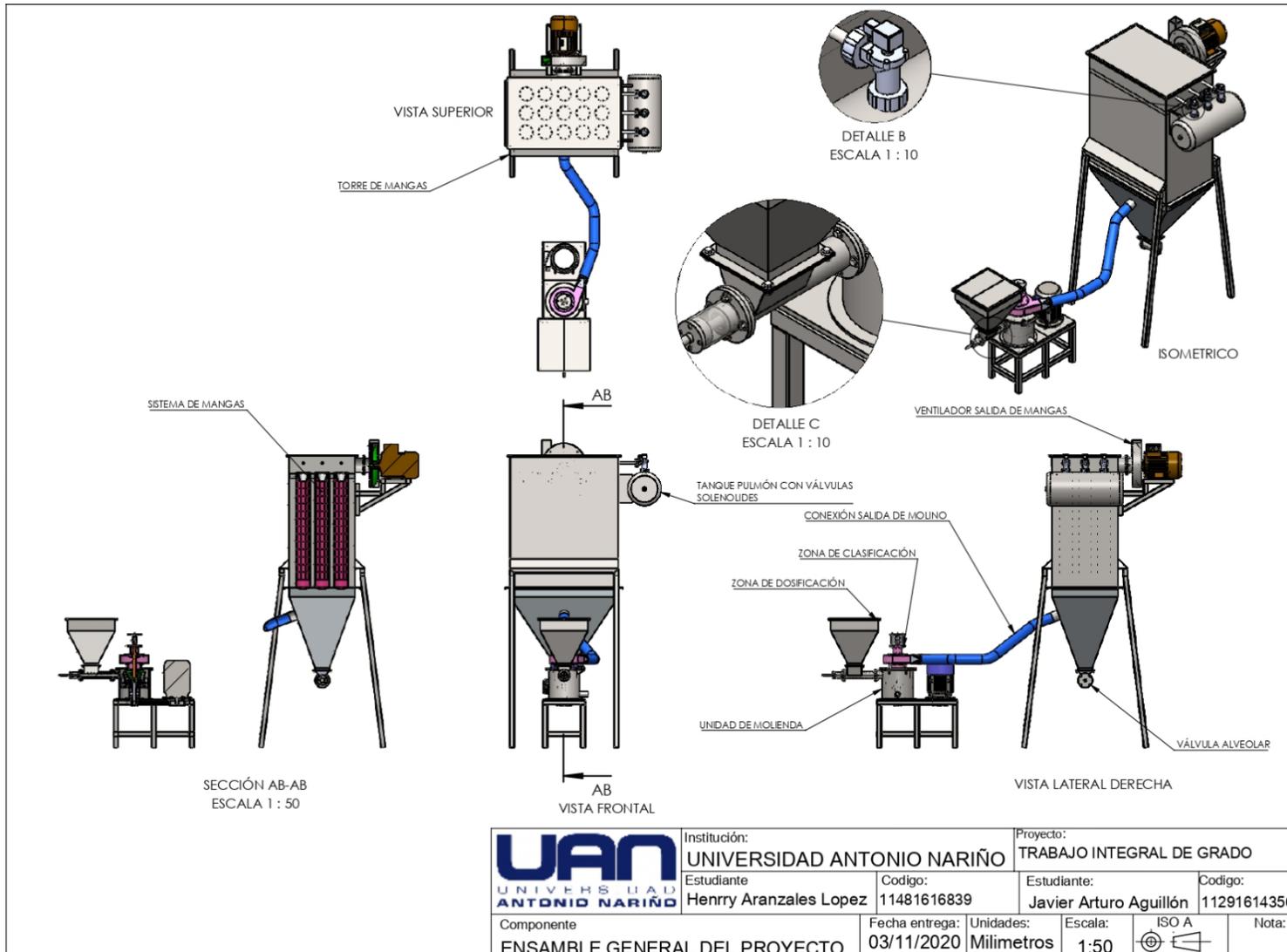
Anexo B: Planos de la zona de molienda y clasificación



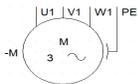
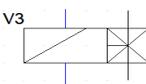
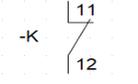
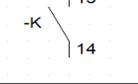
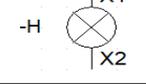
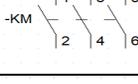
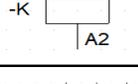
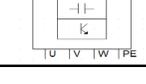
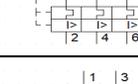
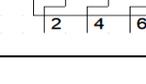
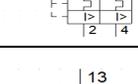
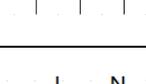
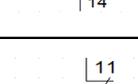
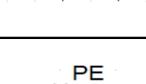
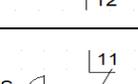
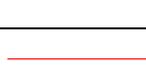
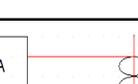
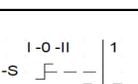
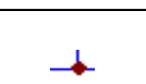


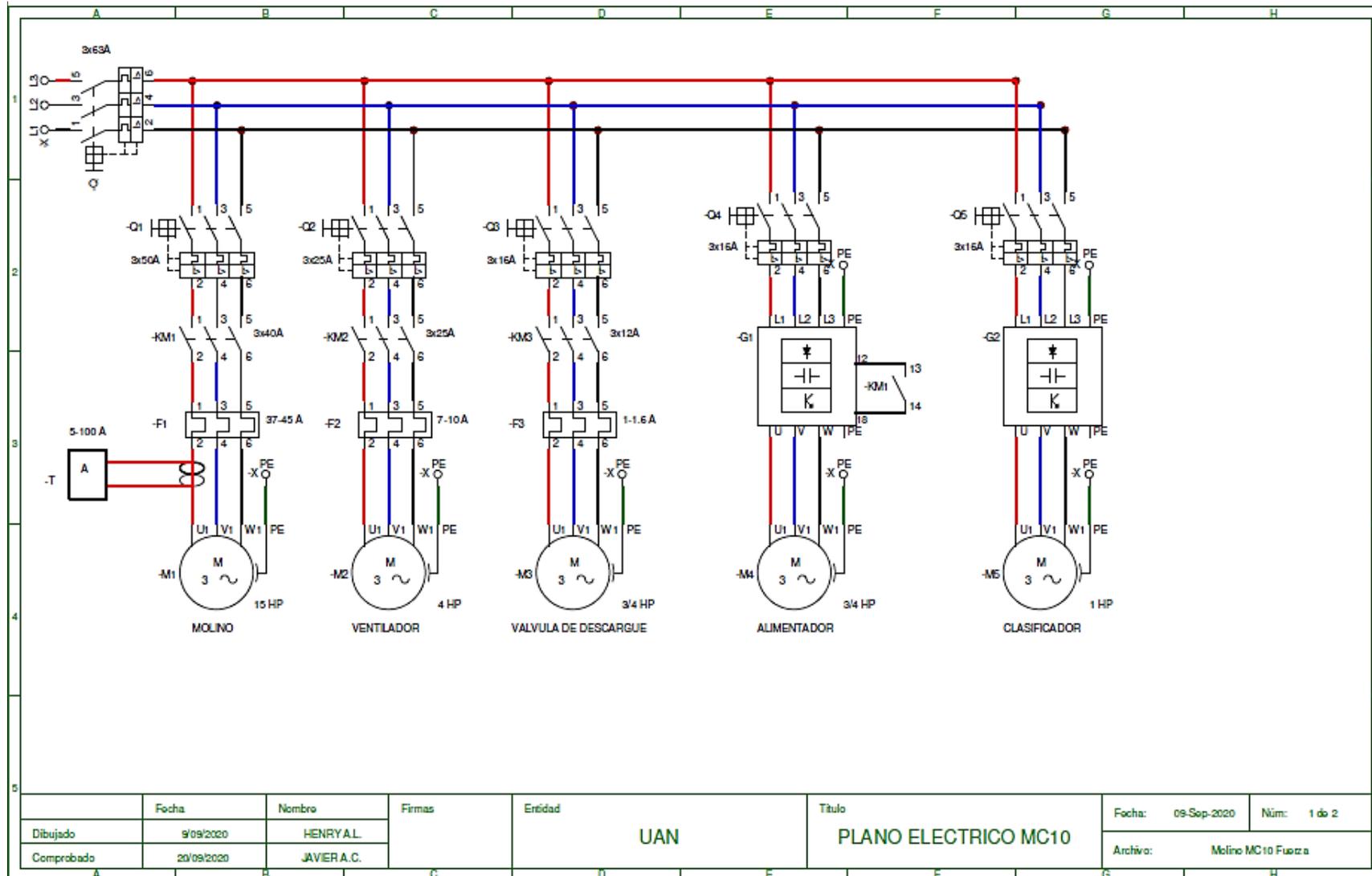
Anexo C: Planos de la zona de Filtración



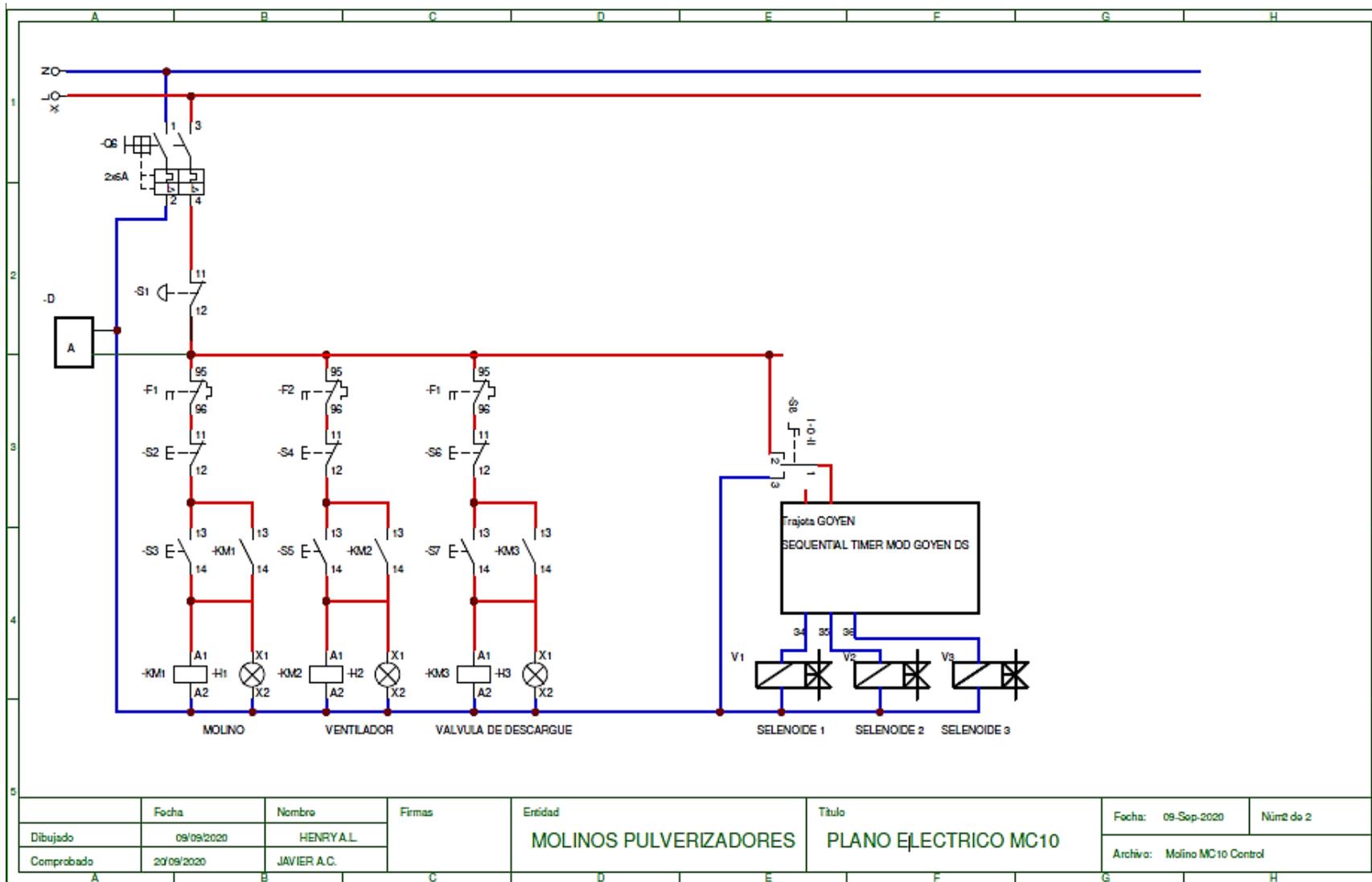


Anexo D: Planos eléctricos de potencia y de control (Diagrama unifilar)

Simbología unifilar normalizada (CADe_SIMU)					
#	Simbolo	Descripción	#	Simbolo	Descripción
1		Motor	13		Selenoide
2		Contacto NC	14		Tarjeta GOYEN control de selenoides
3		Contacto NC	15		Indicador piloto
4		Contactos del contactor	16		Ampermetro Digital de 92 x 92
5		Bobina del contactor	17		Variador de frecuencia
6		Interruptor termimagnetico de tres polos	18		Relé térmico
7		Interruptor termimagnetico de dos polos	19		Linea de alimentación 220 V
8		Pulsador NO	20		Linea de alimentación 110 V
9		Pulsador NC	21		Conexión a tierra
10		Pulsador tipo hongo NC (Parada de emergencia)	22		Conductores 220V
11		Transformador de corriente	23		Conductor sistema puesta a tierra
12		Selector	24		Nodo



92 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado



Anexo E: Características de los materiales

La siguiente información es vital para diseñar adecuadamente un transportador de tornillo helicoidal. Como primera media, a continuación, se evidencia el factor de capacidad para transportadores con paso especial.

Figura: Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial

Paso	Descripción	CF ₁
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = ¾ Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = ½ Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = 1½ Diámetro del Helicoidal	0.67

La tabla de características de los materiales contiene la siguiente información (Martin, 2017):

- Densidad: que puede ser usada para calcular la capacidad del transportador.
- El código de material: que describe características como la densidad, el tamaño, la fluidez, la Abrasividad y las propiedades peligrosas de los materiales.
- El código para la selección del rodamiento intermedio: se usa para seleccionar el material adecuado para el buje del colgante (de ser necesario)
- El Factor del Material: se usa para determinar la potencia como se indica en las páginas.
- La columna de la carga de artesa indica el porcentaje de llenado que debe utilizarse para determinar el diámetro y la velocidad del transportador.

La siguiente figura muestra cómo se debe realizar la lectura del código del material en la Tabla. Esto, con el fin de una buena comprensión de las propiedades de los mismos.

Figura: Lectura del código del material de acuerdo con tablas

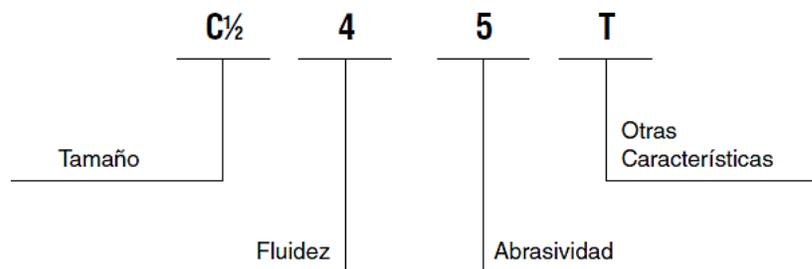


Tabla A: Código de clasificación del material

Clase	Característica de Material	Código
Densidad	Densidad a granel, sin Compactar	Libras por pie cubico
Muy fino	Malla No. 200 (.0029") y menor	A200
	Malla No. 100 (.0059") y menor	A100
	Malla No. 40 (.016") y menor	A40
Fino	Malla No. 6 (.132) y menor	B6
	1/2" y menor (malla 6" a 1/2"	C1/2
Granular	3" y menor (1/2" a 3")	D3
	7" y menor (3" a 7")	D7
	16" y por debajo (0" a 16")	D16
Terrones	Arriba de 16" a ser especificado	DX
	x= Tamaño Máximo	
Irregular	Fibroso, Cilíndrico, etc.	E
Fluidez	Fluido Muy Libre	1
	Fluido Libre	2
	Fluido Promedio	3
	Fluido Lento	4
Abrasividad	Abrasividad Media	5
	Abrasividad Moderada	6
	Abrasividad Extrema	7
Propiedades, Misceláneas o Peligrosa	Acumulación y endurecimiento	F
	Genera Eléctrica Estática	G
	Descomposición - Se deteriora en Almacenamiento	H
	Inflamabilidad	J
	Se hace Plástico o tiende a suavizarse	K
	Muy Polvoso	L
	Al airearse se convierte en fluido	M
	Explosividad	N
	Pegajoso - Adhesión	O
	Contaminable - Afecta uso	P
	Degradable - Afecta uso	Q
	Emite humos o gases tóxicos peligrosos	R
	Altamente corrosivo	S
	Medianamente corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Se Entrelaza, enreda o aglomera	V
	Presencia de aceite	W
	Se comprime bajo presión	X
	Muy ligero - Puede ser levantado por el viento	Y
	Temperatura elevada	Z

Tabla B: Características de algunos materiales

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material F _m	Carga de Artesa
Ácido Adíptico	45	A 100-35	S	2	0.5	30A
Ácido Bórico, Fino	55	B6-25T	H	3	0.8	30A
Ácido Hexanodioico (ver Ácido Adíptico)	-	-	-	-	-	-
Ácido Oxálico (Etano Diácido) cristales	60	B6-35qS	L-S	1	1	30A
Ácido Salicílico	29	B6-37u	H	3	0.6	15
Ajonjolí, semilla	27-41	B6-26	H	2	0.6	30B
Alfalfa	14-22	B6-45WY	H	2	0.6	30A
Alfalfa (pellet)	41-43	C1/2-25	H	2	0.5	45
Alfalfa, semilla	10-15	B6-15N	L-S-B	1	0.4	45
Algarroba	48	B6-16N	L-S-B	1	0.4	30B
Algodón, semilla pasta rolada	35-40	C1/2-45HW	L-S	1	0.6	30A
Algodón, semilla pasta, seco	40	B6-35HW	L-S	1	0.6	30A
Algodón, semilla prensada, pasta	40-45	C1/2-45HW	L-S	1	1	30A
Algodón, semilla prensada, trozos	40-45	D7-45HW	L-S	2	1	30A
Algodón, semilla seca, desfibrada	22-40	C1/2-25X	L-S	1	0.6	45
Algodón, semilla seca, no desfibrada	18-25	C1/2-45XY	L-S	1	0.9	30A
Algodón, semilla, cascarillas	12	B6-35Y	L-S	1	0.9	30A
Algodón, semilla, en harina, extraída	35-40	B6-45HW	L-S	1	0.5	30A
Algodón, semilla, en harina, torta	25-30	B6-45HW	L-S	3	0.5	30A
Algodón, semilla, hojuelas	20-25	C1/2-35HWY	L-S	1	0.8	30A
Almendra, quebrada	27-30	C1/2-35q	H	2	0.9	30A
Almendra, Entera con cáscara	28-30	C1/2-35q	H	2	0.9	30A
Almidón	25-50	A40-15M	L-S-B	1	1	45
Alumbre, (Sulfato de Aluminio) Fino	45-50	B6-35u	L-S-B	1	0.6	30A
Alumbre, (Sulfato de Aluminio) terrón	50-60	B6-25	L-S	2	1.4	45
Alúmina	55-65	B6-27MY	H	3	1.8	15
Alúmina briquetada	65	D3-37	H	3	2	15
Alúmina, molido fina	35	A100-27MY	H	3	1.6	15
Aluminato (Hidróxido de Aluminio)	45	B6-35	H	2	1.7	30A
Aluminato de Sodio, Molido	72	B6-36	H	2	1	30B
Aluminio, viruta con aceite	7-15	E-45V	H	2	0.8	30A
Aluminio, viruta seca	7-15	E-45V	H	2	1.2	30A
Antimonio en polvo	-	A100-35	H	2	1.6	30A
Arcilla (ver Bentonita, Tierra Diatomáceas, Arcilla)						
Arcilla calcárea	80	DX-36	H	2	1.6	30B
Arcilla calcinada	80-100	B6-36	H	3	2.4	30B
Arcilla cerámica, seca, fina	60-80	A100-35P	L-S-B	1	1.5	30A
Arcilla para tabiques, seca, fina	100-120	C1/2-36	H	3	2	30B
Arcilla seca, en trozos	60-75	D3-35	H	2	1.8	30A
Arena de banco, húmeda	110-130	B6-47	H	3	2.8	15
Arena de banco, seca	90-110	B6-37	H	3	1.7	15
Arena de fundición, de desmoldeo	90-100	D3-37z	H	3	2.6	15
Arena de Fundición, Seca (ver Arena)	-	-	-	-	-	-
Arena de sílica, seca	90-100	B6-27	H	3	2	15
Arena de zirconio (con recubr. De resina)	115	A100-27	H	3	2.3	15
Arena fosfórica	90-100	B6-37	H	3	2	15
Arena Silica (con recubrimiento de resina)	104	B6-27	H	3	2	15
Arroz en bruto	32-36	C1/2-35N	L-S-B	1	0.6	30A
Arroz, Cascanilla	20-21	B6-35NY	L-S-B	1	0.4	30A
Arroz, con cáscara	45-49	C1/2-25P	L-S-B	1	0.4	45
Arroz, entero y con cascanilla	20	B6-35NY	L-S-B	1	0.4	30A
Arroz, molido a semolina	42-45	B6-35P	L-S-B	1	0.4	30A
Arroz, Pulido	30	C1/2-15P	L-S-B	1	0.4	45
Arsenato de plomo	72	A40-35R	L-S-B	1	1.4	30A
Arseniato de plomo (ver Arsenato de Plomo)	-	-	-	-	-	-

96 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material F _m	Carga de Artesa
Arsénico Pulverizado	30	A100-25R	H	2	0.8	45
Arsenita de Plomo	72	A40-35R	L-S-B	1	1.4	30A
Asbesto desfibrado	20-40	E-46XY	H	2	1	30B
Aserrín, Seco	10-13	B6-45uX	L-S-B	1	1.4	15
Asfalto (de 80ela)	37	C1/2-35	H	3	1.5	30A
Asfalto, Triturado - ½"	45	C1/2-45	H	2	2	30A
Avena	26	C1/2-25MN	L-S-B	1	0.4	45
Avena, cáscarilla	8-12	B6-35NY	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, harina	35	A100-35	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, procesada	19-24	C1/2-35NY	L-S-B	1	0.6	30A
Avena, rizada	19-26	C1/2-35	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, triturada	22	B6-45NY	L-S-B	1	0.6	30A
Azafrán (ver Cártamo)	-	-	-	-	-	-
Azúcar de leche	32	A100-35PX	S	1	0.6	30A
Azúcar de Ramolacha, Pulpa Húmeda	25-45	C1/2-35X	L-S-B	1	1.2	30A
Azúcar de Remolacha, Pulpa Seca	12-15	C1/2-26	H	2	0.9	30B
Azúcar, cruda, mascabado	55-65	B6-35PX	S	1	1.5	30A
Azúcar, en polvo	50-60	A100-35PX	S	1	0.8	30A
Azúcar, refinada, granulada húmeda	55-65	C1/2-35X	S	1	1.4-2.0	30A
Azúcar, refinada, granulada seca	50-55	B6-35Pu	S	1	1.0-1.2	30A
Azufre, en polvo	50-60	A40-35MN	L-S	1	0.6	30A
Azufre, en trozos - 3"	80-85	D3-35N	L-S	2	0.8	30A
Azufre, triturado - ½"	50-60	C1/2-35N	L-S	1	0.8	30A
Bagazo de caña	7-10	E-45RVXY	L-S-B	2	1.5	30A
Baquelita, polvo fino	30-45	B6-25	L-S-B	1	1.4	45
Banta (Sulfato de Bario) + ½" - 3"	120-180	D3-36	H	3	2.6	30B
Banita en polvo	120-180	A100-35X	H	2	2	30A
Basalto	80-105	B6-27	H	3	1.8	15
Bauxita seca, molida	68	B6-25	H	2	1.8	45
Bauxita, triturada - 3"	75-85	D3-36	H	3	2.5	30B
Bentonita cruda	34-40	D3-45X	H	2	1.2	30A
Bentonita de Sodio (ver Bentonita)	-	-	-	-	-	-
Bentonita, malla 100	50-60	A100-25MXY	H	2	0.7	45
Bicarbonato de Sodio	40-55	A100-25	S	1	0.6	45
Borato de Calcio	60	A100-35	L-S-B	1	0.6	30A
Borato de Sodio (ver Bórax)	-	-	-	-	-	-
Borax, cribado ½"	55-60	C1/2-35	H	2	1.5	30A
Bórax, en trozo 1½" a 2"	55-60	D3-35	H	2	1.8	30A
Bórax, en trozo 2" a 3"	60-70	D3-35	H	2	2	30A
Bórax, polvo fino	45-55	B6-25T	H	3	0.7	30B
Boro	75	A100-37	H	2	1	30B
Cacahuete crudo, sin limpiar	15-20	D3-36q	H	3	0.7	30B
Cacahuete sin cáscara	35-45	C1/2-35q	S	1	0.4	30A
Cacahuete, harina	30	B6-35P	S	1	0.6	30A
Cacahuete, limpio, con cáscara	15-20	D3-35q	L-S	2	0.6	30A
Cacao en escamas	35	C1/2-25	H	2	0.5	45
Cacao en polvo	30-35	A100-45XY	S	1	0.9	30A
Cacao en semilla	30-45	C1/2-25q	L-S	1	0.5	45
Café en polvo, soluble	19	A40-35PuY	S	1	0.4	45
Café molido, húmedo	35-45	A40-45X	L-S	1	0.6	30A
Café molido, seco	25	A40-35P	L-S	1	0.6	30A
Café tostado en grano	20-30	C1/2-25Pq	S	1	0.4	45
Café, cascarilla	20	B6-25MY	L-S	1	1	45
Café, grano verde	25-32	C1/2-25Pq	L-S	1	0.5	45
Cal hidratada	40	B6-35LM	H	2	0.8	30A
Cal viva, molida	60-65	B6-35u	L-S-B	1	0.6	30A

La tabla contiene información para más de 300 materiales diferentes. Por cuestiones de extensión aquí se adjuntan solo algunos, entre los que se encuentra el Arroz. Para mayor información, acceder a la fuente bibliográfica mencionada.

Anexo F: Propiedades del material para filtro de mangas

Material de la tela	Propiedades				
	Máximo continuo Temperatura de funcionamiento	Abrasión	Filtración Propiedades	Alcalinos	Mineral Ácidos
Polipropileno	77°C	Excelente	Bueno	Excelente	Excelente
Acrílico	130°C	Bueno	Bueno	Justa	Bueno
Poliéster	135°C	Excelente	Excelente	Justa	Justa
PPS (Ryton)	190°C	Bueno	Excelente	Excelente	Excelente
Aramida (Nomex)	204°C	Excelente	Excelente	Bueno	Justa
P84	180°-260°C	Justa	Excelente	Justo	Bueno
Fibra de vidrio	260°C	Justa	Justa	Justo	Pobre
Teflón	260°C	Bueno	Justa	Excelente	Excelente

Material de la tela	Características y uso
Polipropileno	El principal beneficio del polipropileno es que no es higroscópico (no reacciona químicamente con el agua). Presenta una gran resistencia a la acumulación de estática y la abrasión, y proporciona una superficie resbaladiza para una buena liberación de la torta de polvo durante la limpieza de la bolsa. El polipropileno se usa ampliamente en las industrias de alimentos, detergentes, procesamiento químico, farmacéutica y tabacalera. Sin embargo, los agentes oxidantes, el cobre y las sales relacionadas dañan el polipropileno.
Acrílico	Estas fibras sintéticas ofrecen una buena resistencia hidrolítica en un rango de temperatura limitado, 127 ° C para aplicaciones continuas y 135 ° C para aplicaciones de sobretensión. Las fibras acrílicas se utilizan en la fabricación de metales ferrosos y no ferrosos, negro de humo, cemento, cal y fertilizantes. También se utilizan ampliamente en aplicaciones de filtración húmeda.
Poliéster	Los poliésteres se encuentran entre los tejidos más utilizados para aplicaciones generales. Los principales agentes dañinos son el agua (hidrólisis) y los ácidos sulfúrico, nítrico y carbónico concentrados.
PPS (Ryton)	Desarrolladas en 1973, las primeras fibras comerciales de PPS (sulfuro de polifenileno) aparecieron a principios de la década de 1980 con la introducción de Ryton por Phillips Fibers Corp. y posteriormente por Toyobo como Procon y por Toray como Torcon. Tiene una excelente resistencia tanto a los ácidos como a los álcalis, lo que lo hace muy útil en aplicaciones de control de combustión. Sus primeras aplicaciones han sido en calderas industriales de carbón, incineración de residuos a energía (con y sin atomizadores), dióxido de titanio e

98 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

	<p>instalaciones donde Nomex no se desempeña bien debido a un ataque químico o hidrolítico. Se hidrolizará, pero solo a temperaturas superiores a 190 ° C.</p>
Aramida (Nomex)	<p>Tiene una excelente estabilidad térmica, encogiéndose menos del 1% a 177 ° C. La fibra es resistente a las llamas, pero cuando se impregna con polvos combustibles, favorecerá la combustión que derretirá y destruirá la tela. Se producirá una vida útil inaceptablemente corta de la bolsa cuando haya presencia de óxidos de azufre (SOx) y humedad y se produzcan frecuentes excursiones del punto de rocío, como en las calderas de carbón. Se han desarrollado algunos acabados retardadores de ácido para Nomex, pero se ha descubierto que mejoran la vida útil de la bolsa en no más del 50%, lo que deja la mayoría de los ciclos de vida de las bolsas inaceptablemente cortos.</p>
P84	<p>P84 es una fibra de polímero aromático producida solo en forma de fieltro. La forma única de la fibra produce características de eficiencia de captura mejoradas. Los composites están hechos de este material para aprovechar las características superiores de filtración de P84 mientras se reduce su costo. Cualquiera de los materiales a fieltros se puede combinar con P84 para producir un compuesto de tela que exhibe las características de ambos materiales.</p>
Fibra de vidrio	<p>La mayoría de las telas de fibra de vidrio se tejen a partir de filamentos diminutos de 0,0038 mm (0,00015 pulgadas). Se encuentran disponibles muchas variaciones de construcción de hilo, tejidos de tela y acabados de tela. También se produce en forma de fieltro. La fibra de vidrio tiene el rango de temperatura de funcionamiento más alto disponible en tejidos convencionales. Por encima de 260 ° C, la fibra de vidrio en sí no se daña directamente, pero el acabado que proporciona lubricación de hilo a hilo comienza a vaporizarse, lo que resulta en un desgaste mecánico acelerado de las fibras de vidrio. La fibra de vidrio no es combustible, tiene cero absorciones de humedad (no se puede hidrolizar), tiene una excelente estabilidad dimensional y tiene características de resistencia razonablemente buenas. Las telas de vidrio tejidas tienen características de alta resistencia a la tracción, pero resistencia a la flexión relativamente baja, especialmente en la dirección de llenado (circunferencia) de la bolsa, y baja resistencia a la abrasión. Se debe tener cuidado para minimizar la flexión y el roce.</p>
Teflón	<p>El Teflón es único entre los sintéticos por su capacidad para resistir el ataque químico en todo el rango de pH a lo largo de su rango de temperatura de funcionamiento de 232 ° C continuo. Esta fibra de fluorocarbono no es adhesiva, tiene cero absorciones de humedad y no se ve afectada por el moho o la luz ultravioleta. Las principales deficiencias del Teflón son su alto costo y su resistencia a la abrasión relativamente baja. Las aplicaciones de Teflón incluyen calderas de carbón, incineradores de conversión de residuos en energía, negro de humo, dióxido de titanio, operaciones de fundición primaria y secundaria y procesamiento químico.</p>

La información de la tabla se obtuvo con base a la información que se obtuvo en: (Shah, 2017)

Anexo G: Factores para las relaciones de gas tela en sistema Pulse-Jet

A. Factor del Material

15 ^b	12	10	90	6.0 ^c
Mezcla para Pastel	Asbesto	Oxido de	Fertilizante de	Carbón activado
Polvo de cartón	Polvo para Pulido	Aspirina	fosfato de amonio	Carbón negro
Cacao	Material fibroso	Carbón negro	Pastel	(molecular)
Alimentos	y celulósico	(terminado)	Diatomáceas	Detergentes
Harina	Residuo del agitado	Cemento	Petroquímicos secos	Humos y otros
Grano	en fundiciones	Pigmentos	Tintas	productos
Polvo de piel	Yeso	de cerámica	Ceniza flotante	dispersados
Aserrín	Cal (hidratada)	Polvos de arcilla	Polvo metálico	directo de las
Tabaco	Perlita	y de ladrillo	Oxidos metálicos	reacciones
	Químicos del hule	Carbón	Pigmentos	Leche en polvo
	Sal	Fuorspar	metálicos y sintéticos	Jabón
	Arena	Goma natural	Plásticos	
	Polvo del soplado	Caolína	Resinas	
	de arena	Piedra caliza	Silicatps	
	Carbonato de sodio	Percloratos	Almidón Estearatos	
		Polvo de roca, y	Acido Tánico	
		de minerales		
		Sílice		
		Azúcar		
		Acido Sórbico		

B. Factor de la Aplicación

Ventilación de Emisiones Molestas (insidiosas) Alivio de los puntos de transferencia, transportadores, estaciones de embalaje, etc.	1.0
Recolección de Producto Transporte-ventilación del aire, molinos, secadoras relámpago, clasificadores, etc.	0.9
Filtración del Gas de Proceso Secadoras por aspersión, hornos, reactores, etc.	0.8

La información fue recuperada de: (Owen & Viner, 2002)

La siguiente tabla expone algunas relaciones de Gas-Tela para un filtro de mangas del tipo Pulse-Jet.

100 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

2,5		2,1	1,9	1,3
M A T E R I A L E S	Polvo de roca y de minerales Sal mineral ^a Arena (no en fundiciones)	Carbón activado	Fertilizantes ^a	Óxido de aluminio (ascensor de aire)
		Oxido de aluminio (transferencia)	Talco	Tintas
		Mezcla para pastel ^a		Humos metalúrgicos
		Carbón negro (terminado)		Pigmentos de pintura
		Pigmento de cerámica		Estearatos
		Carbón		
		Coque		
		Diatomáceas		
		Harina		
		Fluorspar	1,7	0,7
		Ceniza flotante		
		Residuo de la agitación en fundiciones	Aspirina	Sílice (humos)
		Yeso	Cemento	
		Cal hidratada	Polvo de arcilla y ladrillo	
		Piedra caliza	Cacao ^a	
		Pintura para dispersión electrostática (recubrimiento de polvo)	Café ^a	
		Petroquímicos (en seco)	Grafito	
		Pigmentos metálico y sintéticos	Caolina	
		Emplastados	Oxidos metálicos	
		Aditivos de hule	Polvo metálico	
		Silicatos	Percloratos	
		Carbonato de sodio	Selenio	
		Almidón	Sílice (harina)	
		Azúcar ^a		
		Humos de soldadura		

Anexo H: Catálogo de SIEMENS para motores

Tabla para elección del motor para zona de molienda

Potencia	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3	
kW	HP	-	rpm	%	-	220V A	380V A	440V A	Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	Torque Máximo x Tn	kg	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
0,75	1	1LE0141-0DA26-4AA4	80M	3450	75,5	0,81	3,2	1,85	1,6	2,1	6	2,2	3	14,0
1,1	1,5	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3440	82,5	0,83	4,3	2,5	2,15	3,1	7	2,8	3	16,0
1,5	2	1LE0141-0DA86-4AA4	80M	3450	84,0	0,83	5,6	3,25	2,8	4,2	7	2,8	3	18,0
2,2	3	1LE0141-0EA46-4AA4	90L	3500	85,5	0,87	7,9	4,55	3,95	6,0	8	2,8	3	28
3	4	1LE0141-0EA86-4AA4	90L	3505	87,5	0,87	10,3	6	5,1	8,2	8	2,8	3	28
3,7	5	1LE0141-1AA86-4AA4	100L	3440	87,5	0,88	12,7	7,4	6,4	10,3	8	3	3,5	40
5,5	7,5	1LE0141-1BA86-4AA4	112M	3510	88,5	0,88	18,8	10,9	9,4	15,0	8	3	3,5	45
7,5	10	1LE0141-1CA16-4AA4	132S	3525	89,5	0,88	25	14,4	12,4	20,3	8,5	2,3	3,5	70
11	15	1LE0141-1CA86-4AA4	132S	3535	90,2	0,88	37	21,5	18,5	29,8	8,5	2,3	3,5	75
15	20	1LE0141-1DA36-4AA4	160M	3535	90,2	0,84	52	30	26	40,5	7,5	2,3	3,5	95
18,5	25	1LE0141-1DA46-4AA4	160L	3530	91,0	0,86	63	36	31,5	50	7,5	2,3	3,5	115
22	30	1LE0141-1DA86-4AA4	160L	3530	91,0	0,88	73	42,5	36,5	59,5	7,5	2,3	3,5	125
30	40	1LE0141-2AA46-4AA4	200L	3558	91,7	0,89	96	56	48	80,5	8,5	3	3,5	260
37	50	1LE0141-2AA56-4AA4	200L	3556	92,4	0,89	119	69	60	99,4	8,5	3	3,5	275
45	60	1LE0141-2BA26-4AA4	225M	3570	93,0	0,88	143	83	72	120	8,5	2,6	3	325
55	75	1LE0141-2BA86-4AA4	225M	3560	93,0	0,88	179	104	90	148	8,8	2,6	3	340
75	100	1LE0141-2CA86-4AA4	250M	3570	93,6	0,89	235	136	117	201	7,5	2,2	3	430
90	125	1LE0141-2DA23-3AA4	280M	3578	94,5	0,89			145	240	8	2,5	3	610
110	150	1LE0141-2DA83-3AA4	280M	3578	94,5	0,88			177	294	8	2,5	2	600
150	200	1LE0141-3AA23-3AA4	315M	3578	95,0	0,91			225	400	8	2,1	2,7	985
185	250	1LE0141-3AA63-3AA4	315L	3582	95,4	0,92			280	493	8	2,1	2,7	1140

Tabla para elección del motor para zona de clasificación

Potencia	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal		Torque nominal	Datos de arranque			Peso	
kW	HP	-	rpm	%	-	230V A	460V A	Lb-ft	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	Torque Máximo x Tn	lb	
Datos eléctricos motores Serie 1LE2225 IE3 2 Polos 3600 rpm													
0,75	1	1LE2225-1AA11-4AA3	143T	3520	82,5%	81,1	2,8	1,4	1,5	8,6	1,7	3,8	70
1,1	1,5	1LE2225-1AA21-4AA3	143T	3525	84,0%	83,6	4	2	2,2	9,5	2,7	4,5	73
1,5	2	1LE2225-1AA31-4AA3	145T	3515	85,5%	87,6	5	2,5	2,9	9,2	2,6	4,3	75
2,2	3	1LE2225-1CA11-4AA3	182T	3520	86,5%	85,5	7,6	3,8	4,4	7,9	1,9	3,9	115
3,7	5	1LE2225-1CA31-4AA3	184T	3505	88,5%	88,2	12	6	7,5	7,7	1,7	4,3	109
5,5	7,5	1LE2225-2AA11-4AA3	213T	3520	89,5%	89,2	17,6	8,8	11,0	7,2	1,8	5,0	209
7,5	10	1LE2225-2AA21-4AA3	215T	3515	90,2%	90,3	23	11,5	15,0	7,0	1,8	4,4	208
11	15	1LE2225-2BA11-4AA3	254T	3530	91,0%	88,2	35	17,5	22,0	6,6	2,1	2,6	301
15	20	1LE2225-2BA21-4AA3	256T	3515	91,0%	91,5	45	22,5	30,0	6,4	1,8	2,3	313
18,5	25	1LE2225-2DA11-6AA3	284T	3525	91,7%	88,0	58	29	37,0	6,3	1,6	2,5	454
22	30	1LE2225-2DA21-6AA3	286T	3530	91,7%	90,0	68	34	45,0	6,4	1,6	2,5	424
30	40	1LE2225-3BA11-6AA3	324T	3535	93,6%	89,0	90	45	60,0	6,4	1,5	2,5	608
37	50	1LE2225-3BA21-6AA3	326T	3535	93,6%	91,0	110	55	74,0	6,6	1,5	2,5	593
45	60	1LE2225-3DA11-6AA3	364T	3565	93,6%	88,0	136	68	89,0	6,4	1,6	2,5	780
55	75	1LE2225-3DA21-6AA3	365T	3565	94,1%	88,0	172	86	111,0	6,3	1,6	2,6	888
75	100	1LE2225-4BA21-2AA3	405T	3570	94,1%	92,0		108	147,0	6,7	1,2	2,0	1012
90	125	1LE2225-4DA13-2AA3	444TS	3575	95,0%	89,0		138	184,0	6,6	1,2	2,0	1381
110	150	1LE2225-4DA23-2AA3	445TS	3575	95,0%	90,0		164	220,0	6,6	1,2	2,0	1542
150	200	1LE2225-4DA33-2AA3	447TS	3575	95,4%	91,0		216	294,0	6,7	1,2	2,0	2182

102 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Tabla para elección del motor para ventilador

Potencia	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3	
kW	HP		rpm	%		220V A	380V A	440V A	Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	Torque Máximo x Tn	kg	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
0,75	1	1LE0141-0DA26-4AA4	80M	3450	75,5	0,81	3,2	1,85	1,6	2,1	6	2,2	3	14,0
1,1	1,5	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3440	82,5	0,83	4,3	2,5	2,15	3,1	7	2,8	3	16,0
1,5	2	1LE0141-0DA86-4AA4	80M	3450	84,0	0,83	5,6	3,25	2,8	4,2	7	2,8	3	18,0
2,2	3	1LE0141-0EA46-4AA4	90L	3500	85,5	0,87	7,9	4,55	3,95	6,0	8	2,8	3	28
3	4	1LE0141-0EA86-4AA4	90L	3505	87,5	0,87	10,3	6	5,1	8,2	8	2,8	3	28
3,7	5	1LE0141-1AA86-4AA4	100L	3440	87,5	0,88	12,7	7,4	6,4	10,3	8	3	3,5	40
5,5	7,5	1LE0141-1B86-4AA4	112M	3510	88,5	0,88	18,8	10,9	9,4	15,0	8	3	3,5	45
7,5	10	1LE0141-1CA16-4AA4	132S	3525	89,5	0,88	25	14,4	12,4	20,3	8,5	2,3	3,5	70
11	15	1LE0141-1CA86-4AA4	132S	3535	90,2	0,88	37	21,5	18,5	29,8	8,5	2,3	3,5	75
15	20	1LE0141-1DA36-4AA4	160M	3535	90,2	0,84	52	30	26	40,5	7,5	2,3	3,5	95
18,5	25	1LE0141-1DA46-4AA4	160L	3530	91,0	0,86	63	36	31,5	50	7,5	2,3	3,5	115
22	30	1LE0141-1DA86-4AA4	160L	3530	91,0	0,88	73	42,5	36,5	59,5	7,5	2,3	3,5	125
30	40	1LE0141-2AA46-4AA4	200L	3558	91,7	0,89	96	56	48	80,5	8,5	3	3,5	260
37	50	1LE0141-2AA56-4AA4	200L	3556	92,4	0,89	119	69	60	99,4	8,5	3	3,5	275
45	60	1LE0141-2BA26-4AA4	225M	3570	93,0	0,88	143	83	72	120	8,5	2,6	3	325
55	75	1LE0141-2BA86-4AA4	225M	3560	93,0	0,88	179	104	90	148	8,8	2,6	3	340
75	100	1LE0141-2CA86-4AA4	250M	3570	93,6	0,89	235	136	117	201	7,5	2,2	3	430
90	125	1LE0141-2DA23-3AA4	280M	3578	94,5	0,89			145	240	8	2,5	3	610
110	150	1LE0141-2DA83-3AA4	280M	3578	94,5	0,88			177	294	8	2,5	2	600
150	200	1LE0141-3AA23-3AA4	315M	3578	95,0	0,91			225	400	8	2,1	2,7	985
185	250	1LE0141-3AA63-3AA4	315L	3582	95,4	0,92			280	493	8	2,1	2,7	1140

Tabla para elección del motor para válvula alveolar y tornillo del transportador

Potencia	Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3	
kW	HP		rpm	%		220V A	380V A	440V A	Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	Torque Máximo x Tn	kg	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 4 Polos 1800 rpm														
0,55	0,75	1LE0141-0DB26-4AA4	80M	1720	75,5	0,77	2,55	1,46	1,26	3,1	6	2	2,7	14,5
0,75	1	1LE0141-0DB36-4AA4	80M	1705	78,0	0,78	3,2	1,86	1,61	4,2	6	2	2,7	15,5
1,1	1,5	1LE0141-0EB06-4AA4	90S	1730	84,0	0,79	4,4	2,55	2,2	6,1	6	2	2,7	22
1,5	2	1LE0141-0EB46-4AA4	90L	1720	84,0	0,81	5,8	3,35	2,9	8,3	6	2,6	2,7	25
2,2	3	1LE0141-0EB86-4AA4	90L	1740	87,5	0,79	8,5	4,9	4,25	12,1	7,5	2,6	3	28
3	4	1LE0141-1AB56-4AA4	100L	1735	87,5	0,83	10,8	6,2	5,4	16,5	7,5	2,5	3	45
3,7	5	1LE0141-1AB86-4AA4	100L	1720	87,5	0,83	13,5	7,8	6,7	20,5	7,5	2,5	3	45
5,5	7,5	1LE0141-1BB86-4AA4	112M	1750	89,5	0,78	21	12,2	10,5	30,0	8,5	2,5	3,5	50
7,5	10	1LE0141-1CB26-4AA4	132M	1760	89,5	0,82	26,5	15,4	13,3	40,7	8,5	2,5	3,5	70
11	15	1LE0141-1CB86-4AA4	132M	1760	91,0	0,82	39,5	23	19,7	59,7	8,5	2,5	3,5	85
15	20	1LE0141-1DB46-4AA4	160L	1760	91,0	0,84	51	29,5	25,5	81,4	8	2,2	3,5	110
18,5	25	1LE0141-1DB86-4AA4	160L	1765	92,4	0,88	60	35	30	100	8	2,2	3,5	140
22	30	1LE0141-1EB46-4AA4	180L	1775	92,4	0,84	76	44	38	118	8	2,4	3	180
30	40	1LE0141-2AB46-4AA4	200L	1775	93,0	0,85	99	57	49,5	161	8	2,7	3	245
37	50	1LE0141-2AB86-4AA4	200L	1775	93,0	0,84	125	73	63	199	8	2,7	3	245
45	60	1LE0141-2BB26-4AA4	225M	1780	93,6	0,85	148	85	74	241	8	2,7	3	340
55	75	1LE0141-2BB86-4AA4	225M	1780	94,1	0,85	184	106	92	295	8	2,7	3	340
75	100	1LE0141-2CB86-4AA4	250M	1785	94,5	0,86	240	139	120	401	8	2,6	3	475
90	125	1LE0141-2DB23-3AA4	280M	1786	94,5	0,86			151	481	8	2,9	3	660
110	150	1LE0141-2DB83-3AA4	280M	1786	95,0	0,86			180	588	8,5	2,9	3	670
150	200	1LE0141-3AB23-3AA4	315M	1788	95,0	0,88			235	801	8,5	2,5	2,8	1050
185	250	1LE0141-3AB63-3AA4	315L	1788	95,0	0,88			295	988	8,5	2,5	2,8	1050

El catálogo se obtuvo de: (SIEMENS, 2019)

Anexo I: Norma Técnica Colombiana 2050

ARTÍCULO 28º REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA TABLEROS ELÉCTRICOS Y CELDAS

Para efectos del presente reglamento, los productos llamados tableros, cuadros, gabinetes o paneles, se denominarán tableros cuando incorporen equipos o aparatos eléctricos de baja tensión y celdas cuando incorporen equipos de media tensión. La envolvente o encerramiento por sí mismo, no se debe considerar como un tablero o celda y deben cumplir los requisitos exigidos en esta sección, según le apliquen.

28.1.1 Condiciones de la envolvente o encerramiento de tableros y celdas

- a. Tanto la envolvente como la tapa de un tablero o celda, debe ser construido en lámina de acero, cuyo espesor y acabado debe resistir los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos, para los que fue diseñado.
- b. El encerramiento del tablero de distribución, accesible sólo desde el frente; cuando sea metálico debe fabricarse en lámina de acero de espesor mínimo 0,9 mm para tableros hasta de 12 circuitos y en lámina de acero de espesor mínimo 1,2 mm para tableros desde 13 hasta 42 circuitos.
- c. Los encerramientos de los tableros y celdas deben resistir los efectos de la humedad y la corrosión, verificados mediante pruebas bajo condiciones de rayado en ambiente salino, durante mínimo 240 horas, sin que la progresión de la corrosión en la raya sea mayor a 2 mm. Para ambientes corrosivos la duración de la prueba no podrá ser menor a las 400 horas.
- d. Todo tablero debe tener su respectivo diagrama multifilar y unifilar actualizado, haciendo uso correcto de simbología y señalamiento

28.1.2 Partes conductoras de corriente

Las partes de los tableros destinadas a la conducción de corriente en régimen normal, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Las partes fijas deben ser construidas en plata, aleación de plata, cobre, aleación de cobre, aluminio recubierto de cobre, aluminio, u otro metal que se haya comprobado útil para esta aplicación. No se debe utilizar el hierro o el acero en una parte que debe conducir corriente en régimen normal.
- b. Los barrajes deben estar rígidamente sujetos a la estructura del encerramiento, sobre materiales aislantes para la máxima tensión que pueda recibir. Para asegurar los conectores a presión y los barrajes se deben utilizar tornillos y tuercas de acero con revestimiento que los haga resistentes a la corrosión o de bronce. Los revestimientos deben ser de cadmio, cinc, estaño o plata; el cobre y el latón no se aceptan como revestimientos para tornillos de soporte, tuercas ni terminales de clavija de conexión. Todo terminal debe llevar tornillos de soporte de acero en conexión con una placa terminal no ferrosa.

104 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

- a. La capacidad de corriente de los barrajes de fase no debe ser menor que la máxima corriente de carga proyectada o la capacidad de los conductores alimentadores del tablero, excepto si tiene protección local incorporada. Todos los barrajes, incluido el del neutro y el de tierra aislada, se deben montar sobre aisladores.
- b. La disposición de las fases de los barrajes en los tableros trifásicos, debe ser A, B, C, tomada desde el frente hasta la parte posterior; de la parte superior a la inferior, o de izquierda a derecha, vista desde el frente del tablero.
- c. Todas las partes externas del panel deben ser puestas sólidamente a tierra mediante conductores de protección y sus terminales se deben identificar con el símbolo de puesta a tierra.
- d. Todos los elementos internos que soportan equipos eléctricos deben estar en condiciones de resistir los esfuerzos electrodinámicos producidos por las corrientes de falla del sistema. Las dimensiones, encerramientos y barreras deben permitir espacio suficiente para alojamiento de los terminales y curvaturas de los cables.
- e. Las partes fabricadas con materiales aislantes deben ser resistentes al calor, al fuego y a la aparición de caminos de fuga. La puerta o barrera que cubre los interruptores automáticos debe permitir su desmonte) solamente mediante el uso de una herramienta, puesto que su retiro deja componentes energizados al alcance (contacto directo).
- f. Las partes de los tableros destinadas a la conducción de corriente en régimen normal, deben garantizar que se mantengan las condiciones de los materiales usados en las muestras sometidas a pruebas de certificación, para esto deben verificarse los siguientes parámetros:
 - Contenido de cobre mínimo, o tipo de aleación de aluminio.
 - Resistencia a la tracción (estado calibrado), mínima.
 - Conductividad (estado calibrado), mínima.
 - Dureza mínima.
 - Angulo de doblado.
 - Módulo de elasticidad o Módulo de Young.

28.1.1 Terminales de alambrado

Los terminales de alambrado de los tableros deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Cada conductor que se instale en el tablero, debe conectarse mediante terminal que puede ser a presión o de sujeción por tornillo.

- a. Se permiten conexiones en tableros mediante el sistema de peine, tanto para la parte de potencia como para la de control, siempre y cuando los conductores y aislamientos cumplan con los requisitos establecidos en el presente reglamento.
- b. Cada circuito de derivación debe disponer de un terminal de salida para la conexión de los conductores de neutro o tierra requeridos.
- c. El tablero debe proveerse con barrajes aislados para los conductores de neutro y puesta a tierra aislada, tanto del circuito alimentador como de los circuitos derivados y solo en el tablero principal, se debe instalar el puente equipotencial principal.
- d. El tablero debe tener un barraje para conexión a tierra del alimentador, con suficientes terminales de salida para los circuitos derivados.
- e. El alambrado del tablero debe cumplir el código de colores establecido en el presente reglamento.

28.1.2 Rotulado e instructivos

Un tablero debe tener adherida de manera clara, permanente y visible, mínimo la siguiente información:

- a. Tensión(es) nominal(es) de operación.
- b. Corriente nominal de alimentación.
- c. Corriente de cortocircuito
- d. Grado de protección IP
- e. Número de fases.
- f. Número de hilos (incluyendo tierras y neutros).
- g. Razón social o marca registrada del productor, comercializador o importador.
- h. El símbolo de riesgo eléctrico.
- i. Cuadro para identificar los circuitos.
- j. Posición de las palancas de accionamiento de los interruptores, al cerrar o abrir el circuito.
- k. Diagrama unifilar y multifilar.

Información obtenida de: (Ministerio de Energia, 2015)

Anexo J: Catálogo de CHINT para protecciones

CHINT



INTERRUPTORES AUTOMATICOS Serie NM1

Con certificación RETIE resolución 18-1419 de nov.1° de 2005

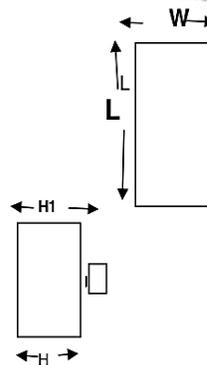
Radicado # 06006491 de la SIC

Conforme a IEC60947-2



Interruptores automaticos tripolares industriales serie NM1

Referencia	Amp	Capacidad de ruptura Icu (kA) 220 V	Capacidad de ruptura Icu (kA) 440 V	Dimensiones en mm.			
				W	L	H	H1
NM1-100S-16	16	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-20	20	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-32	32	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-40	40	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-50	50	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-63	63	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-80	80	42	20	90	155	68	86
NM1-100S-100	100	42	20	90	155	68	86
NM1-225S-125	125	42	20	105	165	86	110
NM1-225S-160	160	42	20	105	165	86	110
NM1-225S-180	180	42	20	105	165	86	110
NM1-225S-200	200	42	20	105	165	86	110
NM1-225S-225	225	42	20	105	165	86	110
NM1-225H-250	250	65	50	105	165	103	127
NM1-400S-250	250	50	30	140	257	104	155
NM1-400S-315	315	50	30	140	257	104	155
NM1-400S-350	350	50	30	140	257	104	155
NM1-400S-400	400	50	30	140	257	104	155
NM1-630H-500	500	85	42	182	270	111	160
NM1-630H-630	630	85	42	182	270	111	160
NM1-800H-700	700	85	55	210	280	107	148
NM1-800H-800	800	85	55	210	280	107	148
NM1-1250H-1000	1000	85	55	210	406	141	202
NM1-1250H-1250	1250	85	55	210	406	141	202



Para accesorios como juegos de contactos, bobinas de disparo, motores y otros, ver pagina siguiente



CHINT

Reles termicos diferenciales rearme manual o automatico

Conforme a IEC60947-4-1

SELLOS



Referencia	Amperaje	Para montaje sobre contactor
NR2-25 - 1	0,63 a 1	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 - 1.6	1 a 1,6	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 - 2,5	1,6 a 2,5	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 - 4	2,5 a 4	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 - 6	4 a 6	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 - 8	5,5 a 8	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 -10	7 a 10	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 -13	9 a 13	NC1-9 a NC1-32.
NR2-25 -18	12 a 18	NC1-12 a NC1-32.
NR2-25 -25	17 a 25	NC1-18 a NC1-32.
NR2-36 -32	23 a 32	NC1-25 a NC1-32.
NR2-36 -36	28 a 36	NC1-32.
NR2-93 -32	23 a 32	NC1-40 a NC1-95.
NR2-93 -40	30 a 40	NC1-40 a NC1-95.
NR2-93 -50	37 a 50	NC1-40 a NC1-95.
NR2-93 -65	48 a 65	NC1-50 a NC1-95.
NR2-93 -70	55 a 70	NC1-65 a NC1-95.
NR2-93 -80	63 a 80	NC1-65 a NC1-95.
NR2-93 -93	80 a 93	NC1-80 a NC1-95.
NR2-200 -125	80 a 125	Montaje independiente
NR2-200 -160	100 a 160	Montaje independiente
NR2-200-200	125 a 200	Montaje independiente
NR2-630-250	160 a 250	Montaje independiente
Base de montaje independiente para rele termico		
BNR2-25	Para rele NR2-25	



El catálogo fue obtenido de: (CHINT, 2019)



Minibreakers con certificación RETIE

Certificado RETIE radicado # 06-048679-00003-000 de la SIC
 Conforme a IEC60947-2 Certificado INTERTEK SEMKO AB

Referencia	Amperaje	Cap de ruptura 220 Vac
Mini interruptores Monopolares para riel omega		
NB1-63 1P 1A	1x1	6 kA
NB1-63 1P 2A	1x2	6 kA
NB1-63 1P 3A	1x3	6 kA
NB1-63 1P 4A	1x4	6 kA
NB1-63 1P 6A	1x6	6 kA
NB1-63 1P 10A	1x10	6 kA
NB1-63 1P 16A	1x16	6 kA
NB1-63 1P 20A	1x20	6 kA
NB1-63 1P 25A	1x25	6 kA
NB1-63 1P 32A	1x32	6 kA
NB1-63 1P 40A	1x40	6 kA
NB1-63 1P 50A	1x50	6 kA
NB1-63 1P 63A	1x63	6 kA
Mini interruptores bipolares para riel omega		
NB1-63 2P 1A	2x1	6 kA
NB1-63 2P 2A	2x2	6 kA
NB1-63 2P 3A	2x3	6 kA
NB1-63 2P 4A	2x4	6 kA
NB1-63 2P 6A	2x6	6 kA
NB1-63 2P 10A	2x10	6 kA
NB1-63 2P 16A	2x16	6 kA
NB1-63 2P 20A	2x20	6 kA
NB1-63 2P 25A	2x25	6 kA
NB1-63 2P 32A	2x32	6 kA
NB1-63 2P 40A	2x40	6 kA
NB1-63 2P 50A	2x50	6 kA
NB1-63 2P 63A	2x63	6 kA
Mini interruptores tripolares para riel omega		
NB1-63 3P 1A	3x1	6 kA
NB1-63 3P 2A	3x2	6 kA
NB1-63 3P 3A	3x3	6 kA
NB1-63 3P 4A	3x4	6 kA
NB1-63 3P 6A	3x6	6 kA
NB1-63 3P 10A	3x10	6 kA
NB1-63 3P 16A	3x16	6 kA
NB1-63 3P 20A	3x20	6 kA
NB1-63 3P 25A	3x25	6 kA
NB1-63 3P 32A	3x32	6 kA
NB1-63 3P 40A	3x40	6 kA
NB1-63 3P 50A	3x50	6 kA
NB1-63 3P 63A	3x63	6 kA



El catálogo fue obtenido de: (CHINT, 2019)

Anexo K: Catálogo de CHINT para accionadores

CHINT



CONTACTORES TRIPOLARES SERIE NC1

Conforme a IEC60947-4-1			SELLOS		Contactos Auxiliares
Referencia	HP 220 V	HP 440 V	Amp AC3	Amp AC1	
NC1-09.10	3	5,5	9	20	1NA
NC1-09.01	3	5,5	9	20	1NC
NC1-12.10	4	7,5	12	20	1NA
NC1-12.01	4	7,5	12	20	1NC
NC1-18.10	5,5	12	18	32	1NA
NC1-25.10	7,5	15	25	40	1NA
NC1-32.10	10	20	32	50	1NA
NC1-40.11	15	30	40	60	1NA+1NC
NC1-50.11	20	40	50	80	1NA+1NC
NC1-65.11	25	50	65	80	1NA+1NC
NC1-80.11	30	61	80	110	1NA+1NC
NC1-95.11	34	68	95	110	1NA+1NC



El catálogo fue obtenido de: (CHINT, 2019)

Anexo L: Catálogo de CHINT transformador de corriente

<i>Transformadores de corriente tipo ventana</i>		<i>M</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>	<i>Profundidad</i>
BH-066I 50/5.	Transformador de corriente 50/5 A		30,4	11	23
BH-066I 100/5.	Transformador de corriente 100/5 A		30,5	11	23
BH-066I 200/5.	Transformador de corriente 200/5 A		30,5	11	23
BH-066I 300/5.	Transformador de corriente 300/5 A		30,5	11	23
BH-066I 400/5.	Transformador de corriente 400/5 A		42	11	31
BH-066I 500/5.	Transformador de corriente 500/5 A		42	11	31
BH-066I 600/5.	Transformador de corriente 600/5 A		42	11	31
BH-066I 800/5.	Transformador de corriente 800/5 A		51	16	37
BH-066I 1000/5.	Transformador de corriente 1000/5 A		51	16	37
BH-066I 1200/5.	Transformador de corriente 1200/5 A		51	16	37
BH-066III 1500/5.	Transformador de corriente 1500/5 A		41	21	36
BH-066I 2000/5.	Transformador de corriente 2000/5 A		62	21	46

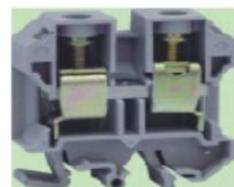


El catálogo fue obtenido de: (CHINT, 2019)

Anexo M: Catálogo de CHINT accesorios y demás



Borneras de conexión unipolares y accesorios			
Referencia	Descripción		
Borneras de conexión unipolares para riel omega.			
	Amperaje	Area en mm.	Calibre del conductor
JXB-2.5/35.	25	2,5	20 al 12 AWG
JXB-4/35.	35	4	20 al 10 AWG
JXB-6/35.	50	6	20 al 8 AWG
JXB-10/35.	60	10	20 al 6 AWG
JXB-16/35.	100	16	20 al 4 AWG
JXB-35/35.	125	35	16 al 2 AWG
JXB-70/35.	220	70	12 al 4/0 AWG
Borneras de conexión unipolares para neutro (azul) riel omega.			
JXB-2.5B/35.	25	2,5	20 al 12 AWG
JXB-4B/35.	35	4	20 al 10 AWG
JXB-6B/35.	50	6	20 al 8 AWG
JXB-10B/35.	60	10	20 al 6 AWG
Borneras de conexión a tierra para riel omega.			
EK-2.5/35.	25	2,5	20 al 12 AWG
EK-4/35.	35	4	20 al 10 AWG
EK-6/35.	50	6	20 al 8 AWG
EK-10/35.	60	10	20 al 6 AWG
EK-16/35.	100	16	20 al 4 AWG
EK-35/35.	125	35	16 al 2 AWG
Borneras portafusibles y cortocircuitable.			
BSF4	Bornera porta fusible para fusible vidrio 5x20mm		
BCSM6	Bornera cortocircuitable		
Accesorios para borneras (Frenos,tapas,marcacion y puentes)			
EB1	Freno para bornera unipolar		
AP-2.5	Tapa para bornera JXB-2,5		
AP-10	Tapa para bornera JXB-4/6/10		
AP-16	Tapa para bornera JXB16/35		
AP-35	Tapa para bornera JXB-35		
AP-70	Tapa para bornera JXB-70		
TBSF4	Tapa para bornera BSF4		
TBCSM6	Tapa para bornera BCSM6		
NBCU-*	Marcación para bornera(cambiar el asteristico por la letra o numero requerido)		
PFDB110-2.5	Puente de interconexion para 10 borneras JXB-2,5		
PFDB110-4	Puente de interconexion para 10 borneras JXB-4		



NOTA: Para la marcación tenemos disponibles los números del 00 al 99 y las letras L, U, V, W, R, S y T





**Unidades de mando y señalización 22 mm.
Temporizadores electronicos**

Referencia	Descripción
Pulsadores de 22mm	
NP2-BA21	Botón pulsador rasante negro, marcha NA
NP2-BA31	Botón pulsador rasante verde, marcha NA
NP2-BA42	Botón pulsador rasante rojo, parada NC
NP2-BL8325	Boton pulsador doble rojo verde
NP2-BW8465	Boton pulsador doble rojo verde con piloto
NP2-BS542	Pulsador de hongo (seta) 40 mm, rojo, metalico girar para liberar
NP2-ES542	Pulsador de hongo (seta) 40 mm, rojo plastico girar-liberar
NP2-BC42	Pulsador de hongo (seta) 40 mm, rojo sin retencion
NP2-BW3365	Pulsador luminoso verde N.A.
NP2-BW3465	Pulsador luminoso rojo N.C.
NP2-BW3565	Pulsador luminoso amarillo N.A.
Pilotos de señalización electronicos de leds 22 mm.	
ND16-22D/4R110	Piloto de señalización electronico 110 Vac rojo
ND16-22D/4V110	Piloto de señalización electronico 110 Vac verde
ND16-22D/4A110	Piloto de señalización electronico 110 Vac amarillo
ND16-22D/4B110	Piloto de señalización electronico 110 Vac blanco
ND16-22D/4R224	Piloto de señalización electronico 220 Vac rojo
ND16-22D/4V220	Piloto de señalización electronico 220 Vac verde
ND16-22D/4A220	Piloto de señalización electronico 220 Vac amarillo
ND16-22D/4B220	Piloto de señalización electronico 220 Vac blanco
Conmutadores o selectores 22 mm.	
NP2-BD21	Switche selector de manija negra 2 posiciones fijas 1NA
NP2-BD33	Switche selector de manija negra 3 posiciones fijas 2NA
NP2-BG21	Switche selector con llave 2 posiciones fijas 1NA
NP2-BD53	Switche selector de manija negra 3 posiciones con retorno 2NA
Bloques auxiliares	
NP2-BE101	Bloque de contactos para pulsadores y selectores 1 NA
NP2-BE102	Bloque de contactos para pulsadores y selectores 1 NC
Temporizadores electronicos al trabajo y al reposo	
NTE8-10B	Temporizador tipo riel 0,1-10 seg , 220 Vac, 1 NO al trabajo
NTE8-120B	Temporizador tipo riel 10-120 seg , 220 Vac, 1 NO al trabajo
NTE8-10A	Temporizador tipo riel 0,1-10 seg , 220 Vac, 1 NO al reposo
NTE8-120A	Temporizador tipo riel 10-120 seg , 220 Vac, 1 NO al reposo
JSS48A-11	Temporizador digital , 220 Vac, 2 juegos de contactos, pause-reset, rangos de tiempo: 0,01-99,99 seg; 1 seg-99 min+99 seg; 1 min-99 hora+99 min



El catálogo fue obtenido de: (CHINT, 2019)

Anexo N: Catálogo de Danfoss variadores de frecuencia

2.3.1 Mechanical Dimensions

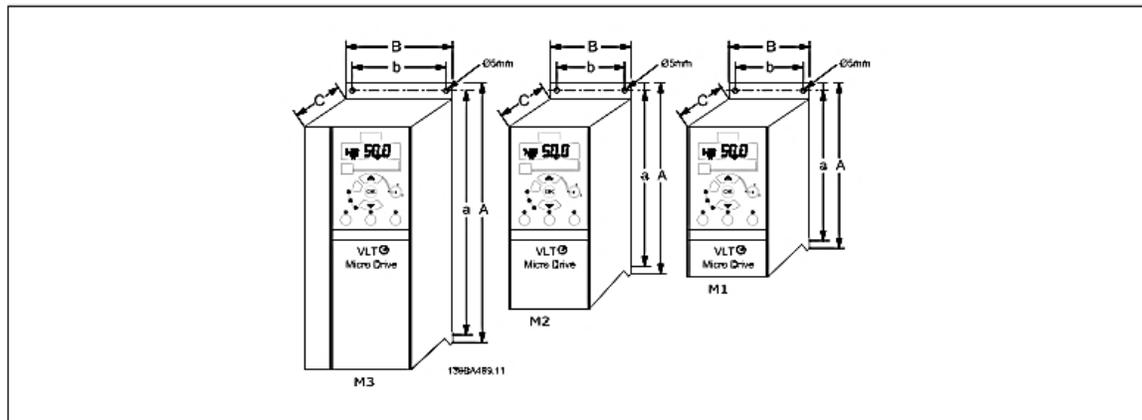


Illustration 2.1: Mechanical dimensions.



NBI

A template for drilling can be found on the flap of the packaging.

Frame	Power (kW)			Height (mm)			Width (mm)			Depth ¹⁾ (mm)	Max. Weight Kg
	1 X 200-240 V	3 X 200 -240 V	3 X 380-480 V	A	A (incl. decou- pling plate)	a	B	b	C		
M1	0.18 - 0.75	0.25 - 0.75	0.37 - 0.75	150	205	140.4	70	55	148	1.1	
M2	1.5	1.5	1.5 - 2.2	176	230	166.4	75	59	168	1.6	
M3	2.2	2.2 -3.7	3.0 - 7.5	239	294	226	90	69	194	3.0	

Table 2.1: Mechanical Dimensions

El catálogo fue recuperado de: (Danfoss, 2019)

Anexo O: Conductores eléctricos según NTC-2050

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

La tabla fue obtenida de la Norma Técnica Colombiana NTC 2050: (Código Eléctrico Colombiano , 1998)

Anexo P: Escala de MESH (MALLA)

MESH TO MICRON CONVERSIONS CHART			
MESH	MICRONS	INCHES	MILLIMETERS
3	6730	0.2650	6.730
4	4760	0.1870	4.760
5	4000	0.1570	4.000
6	3360	0.1320	3.360
7	2830	0.1110	2.830
8	2380	0.0937	2.380
10	2000	0.0787	2.000
12	1680	0.0661	1.680
14	1410	0.0555	1.140
16	1190	0.0469	1.190
18	1000	0.0394	1.000
20	841	0.0331	0.841
25	707	0.0280	0.707
30	595	0.0232	0.595
35	500	0.0197	0.500
40	400	0.0165	0.400
45	354	0.0138	0.354
50	297	0.0117	0.297
60	250	0.0098	0.250
70	210	0.0083	0.210
80	177	0.0070	0.177
100	149	0.0059	0.149
120	125	0.0049	0.125
140	105	0.0041	0.105
170	88	0.0035	0.088
200	74	0.0029	0.074
230	63	0.0024	0.063
270	53	0.0021	0.053
325	44	0.0017	0.044
400	37	0.0015	0.037
550	25	0.0009	0.025
800	15	0.0006	0.015
1250	10	0.0004	0.010
1 Micron = 1 / 1000 MM or 1 Micron (Micrometer) = 1 / 1,000,000 of a Meter 1 Meters = 0.001 Kilometer = 1000 Millimeters = 1,000,000 Micron (Micrometers) A Micron is one Millionth of a Meter = 0.00003937 Inches			 Molinos Pulverizadores J.A. Ingeniería de Reducción de Partículas C.A. 474 4234 San José, 110101923, P.O. Box 502 www.molinospulverizadores.com / mpulverizadores@yahoo.com

Tabla brindada por MOLINOS PULVERIZADORES J.A.

Anexo Q: Alcances y limitaciones del proyecto

El proyecto desarrollado, cuenta con determinadas características de funcionamiento que delimitan los rangos de especificaciones técnicas y de producción dentro de las cuales el equipo mantendrá un óptimo desempeño:

- El rango de materiales aptos para moler por medio de este sistema es muy amplio, y el ajuste del flujo de alimentación debe hacerse teniendo en cuenta diferentes características de estos materiales; tales como la tenacidad, dureza del producto, su densidad, humedad, grasa y su adhesividad, así como otras particularidades que varían de un producto a otro. Es decir, aunque el molino puede servir para un tipo de partícula diferente al grano de arroz, deben realizarse algunas variaciones técnicas, en especial en relación a la granulometría, propiedad que está estrechamente relacionada con el diseño del disco de molienda. Sin embargo, el cliente que adquirió la planta de pulverización, requiere única y exclusivamente una configuración que garantice la molienda de su materia prima (Arroz).
- La máquina está diseñada solamente para productos con bajo contenido de humedad y/o grasa, por lo que nunca se debe alimentar la zona de molienda con productos en estado viscoso o líquido.
- El proyecto, por orden del cliente en relación a temas de costos e inversión, consiste en un sistema semiautomatizado, por lo que no incluye un lazo de control completo, sino que en cambio se equipa con un sistema de mando y control eléctrico y electrónico que permita al operario la manipulación de la máquina y la obtención de información concerniente al estado de la misma. Esto incluye la supervisión y control de parámetros esenciales como la presión hidrostática, la tensión e intensidad eléctrica de los motores, las velocidades de funcionamiento y la seguridad de la máquina, para lo que se utilizaran sensores y actuadores.
- Tanto la cantidad como la velocidad de suministro de materia prima hacia el sistema de alimentación se puede graduar manualmente desde el puesto de mando y control. Desde aquí, también es posible verificar parámetros de funcionamiento del sistema y controlar la granulometría del producto final.
- Para un correcto funcionamiento, se deberá supervisar y controlar la carga del motor principal (15Hp) teniendo en cuenta parámetros como el consumo de corriente máximo y la tensión de alimentación, permitiendo una tolerancia tanto en el arranque como en el transcurso del proceso de funcionamiento, que permita soportar picos ligeramente fuera de lo establecido.
- El suministro de la materia prima en la tolva de alimentación deberá realizarse si y sólo si la máquina de molienda se encuentra en marcha, ya que de lo contrario puede impedir el arranque del motor y afectar su correcto funcionamiento.
- La máquina está en la capacidad de moler granos a una escala máxima de dureza de 4 Mohs. Una dureza mayor en la materia prima, podría generar fallos en el funcionamiento y en la condición del producto final, así como un desgaste mayor y prematuro en las piezas de la sección de la recámara de molienda.

116 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

- El proceso definitivo, consiste en la pulverización de la partícula de arroz inoculado hasta alcanzar un tamaño de 90 micras con un rendimiento de 40 kilos por hora de trabajo.
- Es necesario seguir un procedimiento de encendido y apagado, del sistema que garantice que el procesamiento del producto, se hace adecuadamente para mantener una granulometría uniforme y prevenir atascamientos y obstrucciones indeseadas que afecten el proceso, los dispositivos del sistema o la calidad final del producto. Esto se detalla en el manual de usuario.
- El sistema se configuró para permitir un adecuado funcionamiento en un rango de presiones atmosféricas lo suficientemente amplio, lo que permite su implementación en diversos lugares geográficos sin que se vea afectado su funcionamiento.
- La máquina cuenta con un sistema de seguridad que reduce los riesgos de operación.

Anexo R: Tipos de transportadores de tornillo

Tabla 7-1

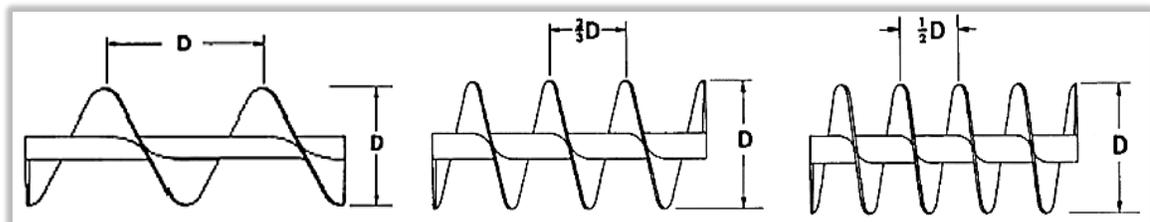
Clasificación del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de paso

Tipo de paso	Definición y características
Estándar	Tienen un paso igual al diámetro exterior del tornillo. Es adecuado para transporte de materiales al granel, en aplicaciones inclinadas u horizontales.
Corto	El paso se reduce a $\frac{2}{3}$ del diámetro exterior del tornillo. Se recomienda para aplicaciones inclinadas o verticales y donde el material ha de ser transportado lentamente para enfriamiento, calentamiento o secamiento.
Medio	El paso se reduce a la mitad del diámetro exterior del tornillo. Se recomienda para aplicaciones inclinadas o verticales y para manejar materiales con alto grado de fluidez.
Largo	El paso es igual a 1,5 veces el diámetro exterior del tornillo, son usados en materiales altamente fluidos y en aplicaciones de ensamble de alta capacidad.
Variable	El paso de la hélice disminuye o incrementa conforme avanza el tornillo. Se usa dentro de aplicaciones especiales en la industria.

Nota: El diámetro exterior de un tornillo helicoidal es la distancia que hay entre las crestas de la hélice con respecto a la vertical. Fuente: Elaboración propia con base a la información de: (Martin, 2017)

Figura 7-1

Representación gráfica de los tipos de del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de paso



Nota: De izquierda a derecha, se representan los helicoidales de paso: estándar, corto y medio. Las demás representaciones de los tipos de paso mencionados en la Tabla 4 se pueden extraer a partir de estos modelos. Fuente: (Martin, 2017)

Tabla 7-2

Clasificación del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de helicoides

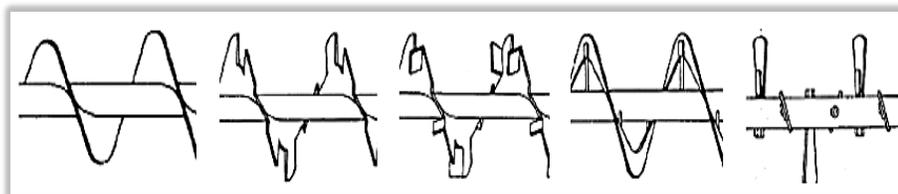
118 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Tipo de espiras	Definición y características
Estándar	Tienen las espiras completas y sólidas. Se utiliza para todas las aplicaciones convencionales de transporte continuo de materiales a granel.
Recortadas	El borde exterior de la espira se encuentra recortado en una sección a intervalos regulares, de esta manera, es útil para favorecer la mezcla y la agitación del material. Se usa en aplicaciones que utilicen materiales que pueden compactarse formando grumos.
Recortadas y con doblez	Son similares al tipo anterior, con la diferencia de que las secciones recortadas no se eliminan de la espira, sino que son dobladas 90° grados hacia al lado de giro del transportador. es útil para el calentamiento, enfriamiento o refrigeración del material.
De listón	Excelentes para el transporte de materiales altamente viscosos. El espacio que queda entre el borde interior de la espira y el eje del tornillo, se encarga de evitar la acumulación del material.
De paletas	Son helicoidales formados por paletas ajustables soldadas al eje y distribuidas a lo largo de una trayectoria helicoidal. Permite una acción total de mezclado, a la vez que permite un flujo controlado a materiales granulares y finos.

Nota: Fuente: Elaboración propia con base a la información de: (Martin, 2017)

Figura 7-2

Representación gráfica de los tipos de del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de la helicoidal



Nota: De izquierda a derecha, se representan los helicoidales: estándar, con corte, con corte y doblez, de listón y de paleta. Fuente: (Martin, 2017)

Tabla 7-3

Clasificación del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de carcasa

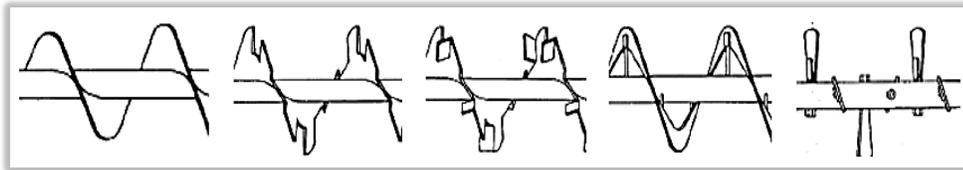
Forma de la carcasa	Definición y características
En U	Construida en una sola pieza, económica y de uso común.
Tubular	Perfecta para operar en aplicaciones cerradas, inclinadas y en un estado de llenura total.

Ensanchada	Se utiliza cuando los materiales no fluyen libremente o tienen una gran tendencia a pegarse.
Con canal	Añade refuerzo estructural cuando las artesas son más largas que lo estándar.
Rectangular	El material transportado, crea su propia artesa, lo que reduce el desgaste de la artesa.
Con chaqueta	La chaqueta permite el calentamiento o el enfriamiento del material.

Nota: Fuente Elaboración propia con base a la información de: (Martin, 2017)

Figura 7-3

Representación gráfica de los tipos de del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de la helicoidal



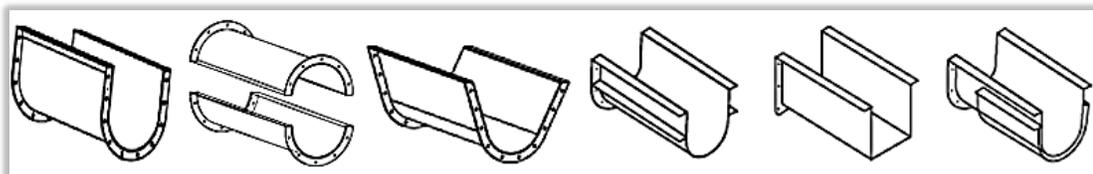
Nota: De izquierda a derecha, se representan los helicoidales: estándar, con corte, con corte y doblez, de listón y de paleta. Fuente: (Martin, 2017)

Cada uno de los tipos de carcasa mencionados, pueden tener variaciones en el diseño que se deben tener en cuenta al seleccionar el tipo exacto y preciso acorde con la aplicación. Por ejemplo, la artesa tubular puede ser con ceja formada o sólida; la artesa en U puede ser con ceja formada o con ceja de ángulo.

Dichas variaciones en el diseño siempre deben considerarse, ya que pueden aportar ventajas al proceso mientras generan un costo mayor de fabricación.

Figura 7-4

Representación gráfica de los tipos de del transportador de tornillo de acuerdo con el tipo de la carcasa



Nota: De izquierda a derecha, se representan la carcasa: en U, tubular, ensanchada, con canal, rectangular y con chaqueta. Fuente: (Martin, 2017).

Anexo S: Factores para diseño del transportador de tornillo

Tabla 7-4
Factor de diámetro de tornillo

Diámetro del helicoidal [in]	Factor F_D
4	12.0
6	18.0
9	31.0
10	37.0
12	55.0
30	300.0

Nota: Para el caso de estudio, se selecciona un factor de diámetro de tornillo de 12. Fuente: (Martin, 2017)

Tabla 7-5
Factor de Helicoidal

Tipo de helicoidal	Factor F_f de acuerdo al porcentaje de carga del transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.00	1.00	1.00	1.00
Con corte	1.10	1.15	1.20	1.30
Con corte y dobles	No recomendado	1.50	1.70	2.20
Helicoidal con listón	1.05	1.14	1.20	--

Nota: La helicoidal seleccionada para el diseño del transportador de tornillo es de tipo estándar. Fuente: (Martin, 2017)

Tabla 7-6
Factor de paletas

Número de paletas por paso	0	1	2	3	4
Factor de paletas [F_p]	1.00	1.29	1.58	1.87	2.16

Nota: El transportador de tornillo no tienen requiere de ninguna paleta dentro de su estructura. Elaboración propia con base a la información de (Martin, 2017)

Anexo T: Factores para diseño del transportador de tornillo

Tabla 7-7

Datos de los motores seleccionados para el sistema de molienda

Potencia [HP]	rpm a 220 V	Corriente Nominal [A]	Eficiencia [%]	Descripción
15	3600	37	90.2	Unidad de molienda
4	3600	10.50	87.5	Ventilador del filtro
3/4	1800	2.55	75.5	Válvula alveolar
3/4	1800	2.55	75.5	Alimentador
1	3600	2.80	82.5	Clasificador

Nota: Cada motor se seleccionó con base a las potencias requeridas en los elementos correspondientes, de acuerdo con el proceso de diseño. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-8

Datos de los elementos de protección y accionamiento seleccionados

Corriente [A] (a 220 V)	Nombre	Descripción
3x63	Interruptor termomagnético	Totalizador
3x40	Interruptor termomagnético	Molino
3x25	Interruptor termomagnético	Ventilador
3x4	Interruptor termomagnético	Válvula alveolar
3x16	Interruptor termomagnético	Alimentador
3x16	Interruptor termomagnético	Clasificador
2x6	Interruptor termomagnético	Protección control
3x40	Contactador	Molino
3x25	Contactador	Ventilador
3x12	Contactador	Válvula alveolar
37-45	Relé térmico	Molino
9-13	Relé térmico	Ventilador
2,5-4	Relé térmico	Válvula de descarga

Nota: En el caso de los interruptores termomagnéticos y contactores, los factores de multiplicación (3x63), de izquierda a derecha, representan, el número de polos y la corriente máxima soportada, respectivamente. Para el relé térmico, el intervalo de corriente representa los valores máximo y mínimo dentro del rango de operación soportado por el instrumento. Fuente: Elaboración propia.

122 Diseño y construcción de molino con sistema semiautomatizado para reducción y clasificación de partículas de arroz inoculado

Tabla 7-9

Conductores implementados en el apartado eléctrico

Longitud [m]	Corriente [A] (a 220 V)	Calibre	Descripción
25	20	Cable de 7 hilos Calibre14 AWG	Cableado de control
25	25	Cable de 7 hilos Calibre12 AWG	Cableado de fuerza
15	30	Cable de 7 hilos Calibre10 AWG	Cableado de fuerza
12	30	Cable encauchetado 3x30	Conexión de motores
25	25	Cable encauchetado 3x25	Conexión de motores
10	40	Cable de 7 hilos Calibre10 AWG	Cableado de fuerza

Nota: En el caso del cable encauchetado, los factores de multiplicación (3x30), de izquierda a derecha, representan, el número de conductores y la corriente máxima soportada, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

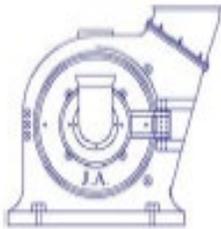
Tabla 7-10

Accesorios y dispositivos de mando, conexión e indicación

Cantidad	Unidad	Voltaje [V]	Nombre	Descripción
1	--	220	Amperímetro digital de 92 x 92 mm	Display de corriente motor principal
1	--	110	Pulsador NC/NO con piloto	Mando motor principal
1	--	110	Pulsador NC/NO con piloto	Mando ventilador
1	--	110	Pulsador NC/NO con piloto	Mando válvula de descargue
1	--	110	Selector 0/1	Activación tarjeta GOYEN
1	100 A	220	Barraje	Distribución de conductores
2 m	20x40 mm	--	Canaleta con tapa	Organización de conductores
12	25 A	--	Borneras de conexión unipolares riel omega	Conexión tablero y motores
5	30 A	--	unipolares rieles omegas	Conexión tablero y motores
1 m	30 A	--	Paquete de terminales tipo O	Conexión a borneras de dispositivos
1	--	--	Números marcadores de conductores	Enumeración de conductores

Nota: Elección realizada con base al catálogo del **Anexo M**.

Anexo U: Manual de usuario

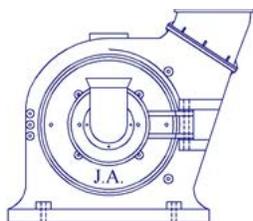


MOLINOS PULVERIZADORES

Equipos y Servicio para procesos de molienda y pulverización de alimentos, químicos y minerales

Planta de Micropulverización **MC-10**





MOLINOS PULVERIZADORES

Equipos y Servicio para procesos de molienda y pulverización de alimentos, químicos y minerales

CONTENIDO

⇒ Instrucciones Generales de Seguridad.....	3
⇒ Descripción General de Partes.....	4
⇒ Características de la maquina.....	5
⇒ Operación de alimentación.....	6
⇒ Procedimientos de encendido y apagado.....	7
⇒ Principio de Funcionamiento.....	9
⇒ Inspección aseo y mantenimiento.....	10
⇒ Disco de Molienda y Banda de choque.....	11
⇒ Clasificador dinámico.....	12
⇒ Unidad automática de filtración de aire.....	13
⇒ Principio de funcionamiento.....	14
⇒ Mantenimiento de la unidad filtrante.....	15
⇒ Notas Técnicas del operario.....	16
⇒ Tablero de control eléctrico.....	17
⇒ Listado de Repuestos.....	18
⇒ Diagramas eléctricos.....	20

MOLINO MICROPULVERIZADOR MC-10
CON UNIDAD FILTRANTE

INSTRUCCIONES GENERALES DE SEGURIDAD :

Este manual de operación debe estar
siempre a la mano del operario.

Lea cuidadosamente las instrucciones del manual antes de poner en marcha la maquina.

COMO REGLA GENERAL :

-Este equipo nunca debe ser alimentado con productos en estado liquido ni viscoso, ya que **este** es solamente apropiado para productos con bajo contenido de humedad y/o grasa.

-Siempre observe las instrucciones de seguridad y advertencias que se deben aplicar a la maquina que usted esta operando.

-Nunca altere la maquina de ninguna forma por suplementación o modificación, ya que puede no seguir siendo segura para su uso.

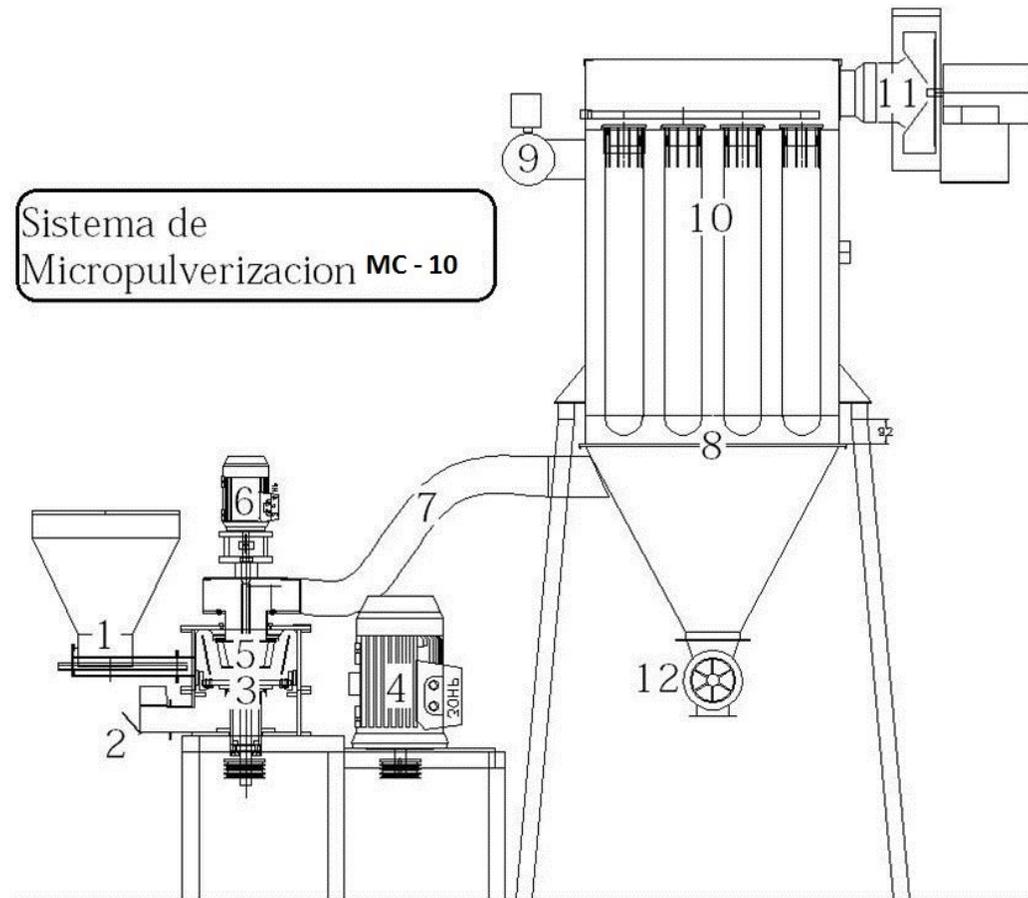
-Cuando una perturbación ocurra, apague de inmediato la maquina y asegúrese de que esta no vaya a ser encendida de nuevo por una persona no autorizada.

Localice el inconveniente y remédíelo de inmediato.

-Asegúrese de que el interruptor principal este apagado cuando la maquina este siendo atendida por aseo, mantenimiento o reparación.

-Si la maquina esta apagada por mantenimiento o reparación, asegúrese de que no podrá ser encendida sin intención.

Descripción General de Partes - Alzada

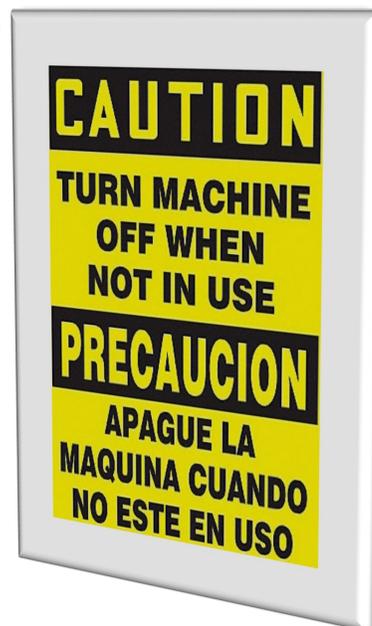


1. Tolva de alimentación con Sistema de alimentación por tornillo sinfín. **3/4 HP**
2. Ducto de toma de aire
3. Recamara de Molienda
4. Motor Principal 15 **HP**
5. Clasificador dinámico
6. Motor Clasificador 3/4 **HP**
7. Conexión salida de molino
8. Unidad filtrante
9. Tanque pulmón y válvulas solenoides
10. Mangas filtrantes
11. Ventilador Centrifugo
12. Válvula alveolar de descargue **3/4 HP**

* IMPORTANTE *

Para garantizar seguridad del equipo los materiales deben ser seleccionados cuidadosamente. Ninguno de los equipos que conforman este sistema de molienda debe ser puesto en marcha si hay algún inconveniente que no se haya podido solucionar. Durante el curso de operación no es permitida ninguna reparación.

Una vez que algún problema o ruido anormal sea detectado; y solamente cuando el molino este completamente detenido y desactivado, se podrá llevar a cabo la inspección y/o reparación a que haya lugar.



CARACTERISTICAS

El Molino MC-10 esta conformado por una unidad de pulverización de diseño único la cual realiza la reducción de tamaño implementando alta velocidad para impactar las partículas con gran energía y una unidad de clasificación granulométrica integrada en la misma recamara pero con un motor independiente.

Este molino pulveriza principalmente por fuerzas de alto impacto transferidas por medio de los martillos hacia las partículas y por el rozamiento y desgarramiento entre las mismas partículas (atrición). La maquina consiste principalmente en una tolva de alimentación con su sistema dosificador por tornillo sinfín, una unidad de pulverización y una unidad de clasificación que conecta con la unidad filtrante.



OPERACIÓN DE ALIMENTACIÓN

El molino está provisto de una tolva de alimentación en cuya parte inferior se sitúa el sistema dosificador por tornillo sinfín. Este es accionado por un motoreductor que es controlado por un variador de frecuencia el cual permite incrementar o disminuir el flujo de alimentación hacia la recámara de molienda.



El rango de materiales aptos para moler por este sistema es muy amplio y el ajuste del flujo de alimentación debe hacerse teniendo en cuenta diferentes características de estos materiales; tales como la tenacidad y dureza del producto, su densidad, contenidos de humedad, grasa y su adhesividad, así como otras particularidades que varían de un producto a otro.

Usted podrá ajustar el flujo del producto hacia el molino manualmente y definir así el punto más eficiente según el comportamiento del producto.

Para controlar la carga del motor principal (15 HP) debe tener en cuenta que el amperímetro debe indicar un máximo constante de 41 amperios operando a 220 V, aunque en el arranque y en algunos momentos puede soportar picos ligeramente por superiores

El suministro del producto hacia el molino, debe hacerse, solo y únicamente cuando éste se encuentre en marcha, ya que de hacerlo previamente puede impedir el arranque del motor y por ende la correcta operación de la máquina.

PROCEDIMIENTOS DE ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA

Es necesario seguir un procedimiento de encendido y apagado del sistema que garantice que el procesamiento del producto se hace adecuadamente para mantener una granulometría uniforme y prevenir atascamientos y/o obstrucciones indeseadas que afecten el proceso, los dispositivos del sistema o la calidad final del producto.

Procedimiento de Encendido de la Planta de Micropulverización

1. Encienda el compresor y verifique una presión mínima de 90 a 100 psi
2. Encienda el clasificador en la unidad de molienda a máxima velocidad o a la velocidad previamente determinada.
3. Encienda el ventilador de succión en la unidad filtrante.
4. Encienda el motor principal de la unidad de molienda
5. Cargue la tolva con producto a procesar.
6. Encienda ciclo de limpieza de las mangas filtrantes.
7. Encienda el sistema alimentador en el molino a la mínima velocidad e incremente el flujo del producto hacia el molino ajustando la velocidad del sistema alimentador (Variador de frecuencia)



*CUIDADO *



La toma de aire de la unidad de molienda debe permanecer totalmente abierta durante el proceso de molienda.

Para detener el sistema debe seguir solo y únicamente el procedimiento de apagado ya que de hacerlo de otra forma puede variar la granulometría o generar atascamiento lo cual es inconveniente para el próximo encendido de la maquina.

CONTROL DE POLUCION EN LA TOLVA

En la tolva de alimentación encontrará la conexión neumática que captura la emisión de material particulado en la operación de cargue de la tolva. Este ducto aprovecha la succión del sistema para causar presión negativa en el interior de la tolva de alimentación. Puede cerrar totalmente la toma de aire del molino para causar succión con máximo poder.

NO OLVIDE VOLVER A ABRIR LA TOMA DE AIRE DEL MOLINO ANTES DE INICIAR A DOSIFICAR EL PRODUCTO HACIA LA RECAMARA DE MOLIENDA.



* ATENCION *

Cuando se este operando bajo condiciones normales, (por ejemplo con la tolva de alimentación ocupada y dosificando el producto hacia el molino), debe tener en cuenta que si el motor principal necesita ser apagado, debe primero detener completamente el tornillo alimentador y esperar unos 2 minutos para que así el molino pueda desalojar el producto que se encuentra en ese momento en la recamara de molienda.

Cuando el molino es apagado es importante advertir que el molino conservará una marcha por inercia. Este debe ser abierto solamente cuando el motor esté absolutamente en estado estacionario.

Procedimiento de Apagado
de la Planta de Micropulverización

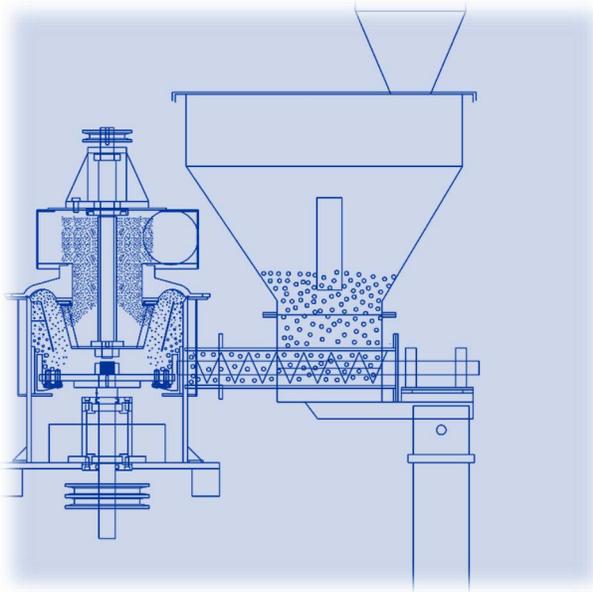
1. Detenga el sistema de alimentación.
2. Espere a que la aguja amperimétrica indique el mínimo de carga en el motor (+ o - 3 minutos).
3. Detenga el ventilador de succión en la unidad filtrante.
4. Detenga el motor principal de la unidad de molienda y espere a que este absolutamente estacionario.
5. Detenga el clasificador en la unidad de molienda.
6. Permita que el sistema de limpieza realice unas 3 operaciones antes de apagar

* IMPORTANTE *

Como se puede apreciar, el clasificador es el primer dispositivo en poner en movimiento y el ultimo en detener. El propósito de esto es garantizar que la granulometría sea siempre la que se ha determinado e impedir que partículas de mayor tamaño logren pasar hacia el filtro

Este orden de encendido y apagado también contempla el cuidado en el funcionamiento de los motores y demás dispositivos del sistema.

Principio de Funcionamiento del proceso de Micropulverización.



El producto a procesar es puesto en la tolva de alimentación y dosificado hacia la recamara de molienda por medio del tornillo sinfín el cual puede regular su velocidad desde el tablero de control eléctrico.

La zona de molienda es la primera etapa. El material grueso es impactado inmediatamente por los martillos los cuales giran interiormente a una velocidad tangencial promedio de 100 m/s.

El producto entonces es sujeto a la acción de desintegración causada por el impacto al que es sometida la partícula cuando la fuerza centrífuga la impulsa y luego esta se frena con la banda de choque para que los martillos rotantes la golpeen repetitivamente. A partir de esta etapa el movimiento de las partículas es mas complejo. Ellas son impactadas por las herramientas molientes hasta ser reducidas al tamaño correcto.

Esta intensa turbulencia obliga a las partículas a friccionarse entre si. Al reducir su tamaño pierden peso y las partículas mas pesadas se mantienen impactando en la periferia de la recamara de molienda, mientras que las mas livianas empiezan a ser transportadas por el flujo de aire ascendente. Así el material es gradualmente llevado hacia el clasificador dinámico el cual, según la velocidad de rotación ajustada, determina la granulometría de las partículas que pueden ser transportadas, las partículas de tamaño superior regresan hacia el disco de molienda para seguir siendo reducidas hasta tener el tamaño deseado y lograr evacuar el molino para ser conducidas hacia la unidad filtrante.

INSPECCION, ASEO Y MANTENIMIENTO

Acceso a la Recamara de Molienda

Para acceder al interior de la recamara de molienda debe aflojar el cierre de la tapa superior de la recamara y levantar la tapa.

Acceda al interior de la recamara de molienda para propósitos de inspección.

Si requiere realizar aseo profundo o mantenimiento de piezas internas puede retirar los cuatro tornillos que aseguran la recamara de molienda a la placa base y retírela para tener el disco de molienda y la recamara de rodamientos completamente al descubierto.



**NUNCA PONGA EN MARCHA
NINGUN ELEMENTO DE ESTE
SISTEMA CON LA RECAMA-
RA ABIERTA.**

**** IMPORTANTE ****

El diseño de esta unidad de molienda permite acceder a todas las partes que puedan contaminarse con el producto en proceso y así evitar contaminación cruzada con otros productos.

Utilice productos para limpieza y desinfección y aplíquelos con paño. Nunca utilice agua abundante, ni vapor en la limpieza del eje motriz, ya que los rodamientos podrían verse deteriorados.



DISCO DE MOLIENDA

Al abrir la recamara de molienda se accede directamente al disco de molienda. Este se compone de 9 martillos periféricos fabricados en acero inoxidable y están dispuestos equidistantemente en el disco de molienda. Estas piezas, están fabricadas en acero de alta resistencia al desgaste en sus aristas de mayor trabajo.

Sin embargo, con el tiempo presentarán un desgaste normal y deberán ser reemplazados para conservar su capacidad de molienda.

Para retirar el disco debe retirar la tuerca que asegura el disco al eje y luego halar el disco hacia arriba.

BANDA DE CHOQUE

Para provocar el efecto de impacto la recamara de molienda cuenta con una serie de segmentos de choque dispuestos en la superficie interior. Las piezas que mayor desgaste pueden presentar son los martillos del disco de molienda y los segmentos de esta banda de choque ya que estarán expuestas a fuerzas de abrasión muy extensas. El desgaste de estos segmentos en acero inoxidable se presentara con cientos de kilos de trabajo según el producto en proceso.

*** IMPORTANTE ***

**Este molino es apto para moler productos
con una dureza máxima de 4 Mohs.**

Por el trabajo prolongado o en la molienda de productos con dureza superior, habrá un desgastes normal de las piezas molientes y será necesario reemplazarlas ya que la eficiencia tiende a disminuir y a sobrecalentarse el producto en la recamara de molienda. Reemplace las piezas desgastadas para mantener la eficiencia y seguridad de la maquina.

CLASIFICADOR DINAMICO

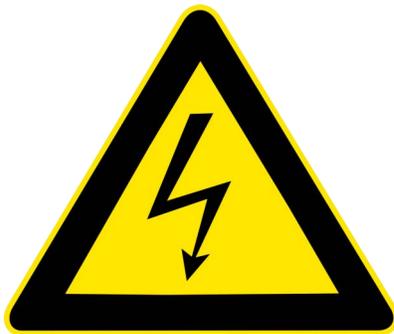
Al acceder al interior de la recamara de molienda encontrara en la tapa la herramienta de clasificación dinámica la cual se compone de una serie de **aspas** que al girar determinan la granulometría requerida en el producto. La velocidad de rotación de esta herramienta es controlada por un variador electrónico ubicado en el tablero eléctrico. Para extraer esta herramienta solo debe retirar el tonillo que la asegura al eje y luego halar hacia afuera.



Unidad Automatica de Filtracion de Aire



MC-10



Antes de realizar cualquier mantenimiento o procedimiento de inspección, asegúrese de tomar todas las medidas de seguridad para la labor que usted realizara. Recuerde implementar los protocolos técnicos a que haya lugar para garantizar la seguridad de todos los que participen en la operación técnica.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La unidad de filtrado de aire permite que el proceso se realice de manera eficiente ya que el aire que utiliza el sistema para el movimiento de las partículas durante todo el recorrido es evacuado eficientemente a través de telas filtrantes que son confeccionadas especialmente para capturar partículas de hasta 20 micras.

Esta unidad de filtración de aire tiene el área filtrante necesaria para que la unidad de molienda transpire eficientemente, adicionalmente cuenta con un sistema de limpieza programable que dispara aire comprimido en la dirección contraria para que las partículas se desprendan de la tela y se precipiten

a la parte inferior de la tolva de descargue en donde se ubica la válvula rotativa que descarga el producto de manera controlada.



La válvula rotativa es un elemento de descargue que controla el descargue de la tolva del filtro de manera que el aire no presente escapes ni genere contaminación del ambiente de trabajo. Tenga cuidado de no introducir manos ni elementos en la boca de descargue ya que representa riesgo de accidente para el operario y puede dañar los elementos que componen este dispositivo.



UNIDAD FILTRANTE:

En el interior de la unidad filtrante se encuentran 15 mangas filtrantes confeccionadas en tela industrial apropiada para este propósito y que permiten que el aire sea evacuado al exterior sin generar polución en el ambiente del área de trabajo.

Para realizar mantenimiento y aseo de la unidad filtrante tenga en cuenta el siguiente procedimiento:



1- Inicie por desconectar la energía y la línea de aire comprimido.

2- Retire la tapa superior de la unidad filtrante.

3- Retire las flautas que realizan la limpieza de las mangas .

4- Retire las canastillas

5- Retire las mangas filtrantes deformándolas de cada boca

6- Proceda a realizar limpieza de las superficies cuidando no humedecer los contactos eléctricos.



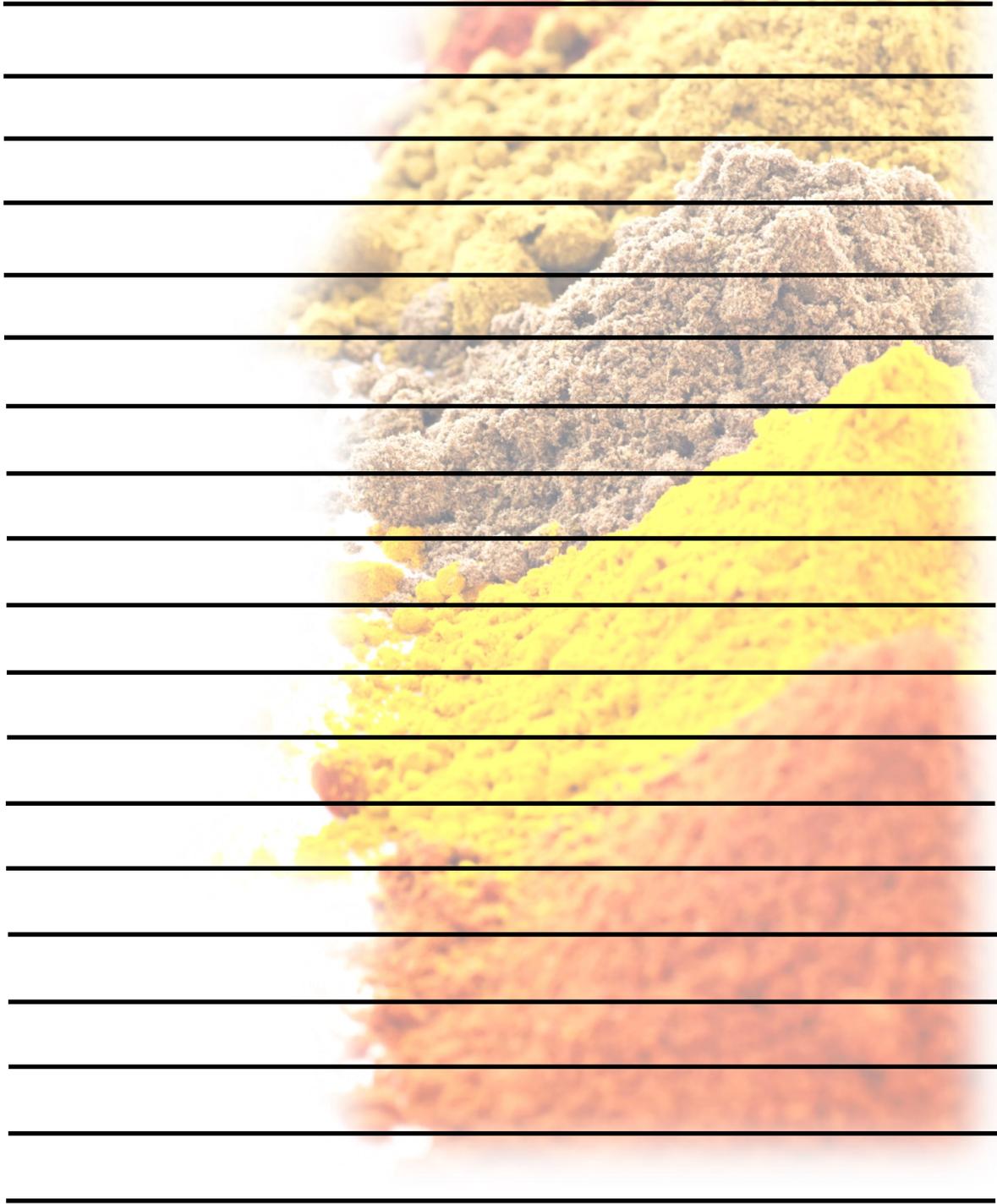
Para armar realice el procedimiento inverso teniendo en cuenta que todas las partes queden instaladas de manera firme y segura lo cual garantizara que no se presenten emisiones de polución al ambiente.

*** IMPORTANTE ***

Tenga en cuenta que al momento de instalar las flautas los orificios queden dispuestos apuntando hacia abajo. De no quedar ubicados correctamente la presión del aire se dirigirá en otra dirección y la limpieza de las mangas no se llevara a cabo.



Anotaciones técnicas:



A series of 18 horizontal black lines are overlaid on a background image of a colorful, textured surface, likely a cake or frosting. The colors transition from red at the top, through yellow and orange, to a darker brown at the bottom. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, providing a guide for technical notes.

TABLERO DE CONTROL ELECTRICO

La unidad de Micropulverización y Mezclado es controlada desde un único mando.

En este gabinete se ubican los siguientes dispositivos:

1. **Amperímetro**, el cual indica el esfuerzo del Motor del Molino y permite controlar la carga máxima según el motor implementado.
2. **Variador Electrónico del Sistema de Alimentación por tornillo Sinfín** el cual permite fijar una velocidad de alimentación regular. La calibración de este dispositivo debe estar en relación con la indicación de la aguja amperimétrica.
3. **Variador electrónico del Clasificador** para determinar el tamaño de partícula o granulometría del producto en proceso.
4. **Accionador del sistema de limpieza del filtro.**
5. **Botón pulsador arranque-Pare de la válvula alveolar.**
6. **Botón pulsador Arranque-Pare del ventilador.**
7. **Botón pulsador Arranque-Pare del Motor del Molino MC-30**



Esta unidad debe aislarse de cualquier posible exposición a líquidos, polvo excesivo, u otros agentes que puedan afectar los contactos eléctricos.

*** RECUERDE ***

Suspenda la energía en los interruptores principales del tablero antes de realizar cualquier mantenimiento.



- La manipulación de los elementos internos de esta unidad debe realizarse únicamente por personal calificado.
- Tenga siempre a la mano los manuales técnicos de cada elemento electrónico para aclarar cualquier duda.
- En caso de presentar alguna dificultad que no logre resolver consulte con el fabricante.

* REPUESTOS DE “MC-10” *



Disco Moliente. EN ACERO INOX

Tipo: MARTILLOS PERIFERICOS
BASCULANTES EN ACERO INOX

REF: MC-10



Riport o banda de Choque.

ACERO INOX



Clasificador MC-10

ASPAS ACERO INOX 304



Poleas: Tipo “3A”

MOLINO: 3”2A X 28 MM X 5/16”

MOTOR: 6 1/2” X 38 MM X 3/8 MM



Manga Filtrante para Control de Polución.

Tipo: TUBULAR DE UNA BOCA CON SISTEMA EXPANSIBLE DIÁMETRO: 15CM LONG.: 100CM

Cantidad: 9 UNIDAD

BOCA: 150MM SNAP BAND



Rodamientos Alimentador

Ref: 6204 ZZ C3

Rodamientos Molino

Ref: 6306 ZZ C3

Rodamientos Clasificador

Ref: 6204 ZZ C3

Rodamiento Valvula alveolar

Ref: 6204 ZZ C3



Variadores de Frecuencia

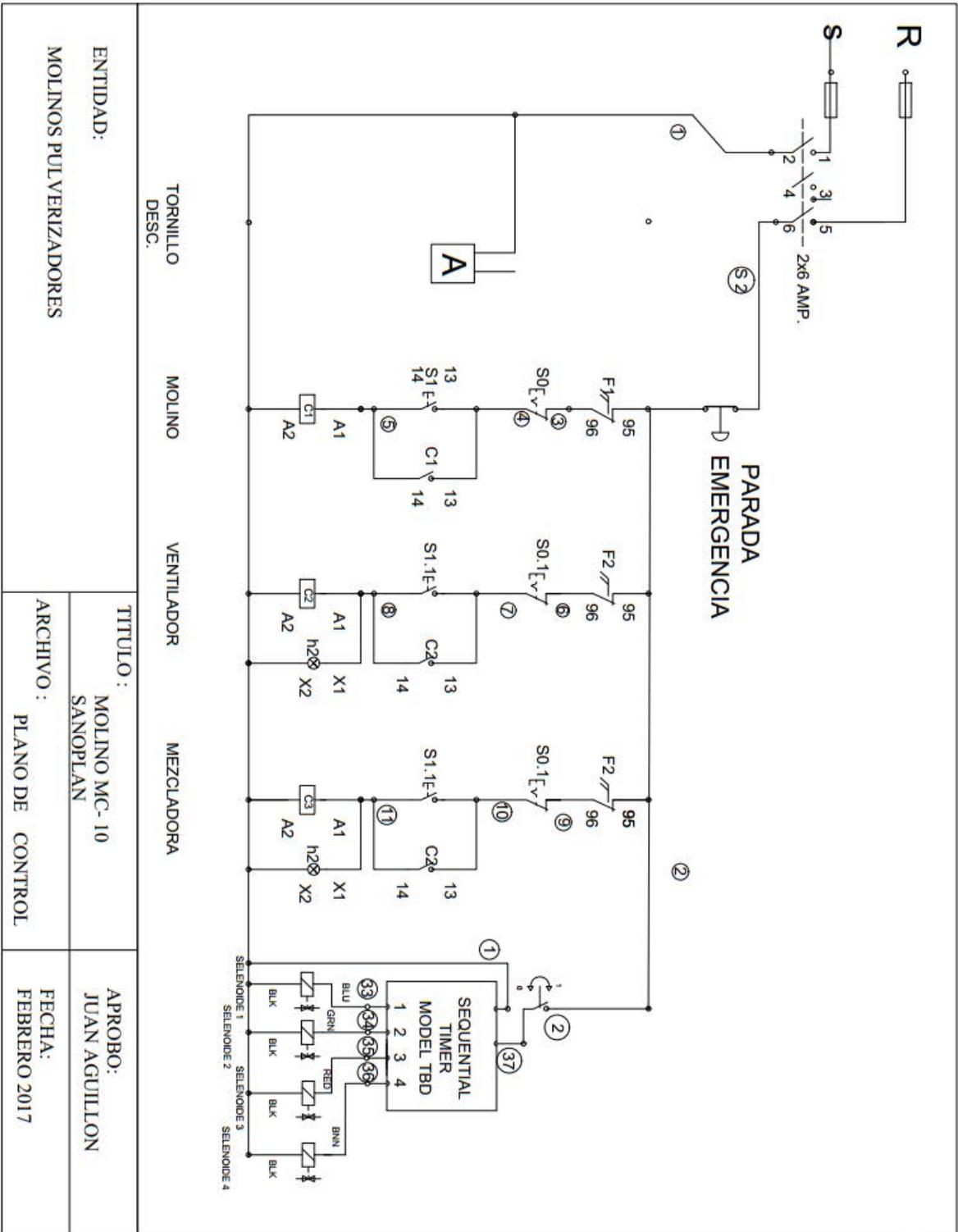
Marca Danfoss
Alimentador, Clasificador.

Almacén Proveedor:
EQUIMAQ AGROINDUSTRIAL
Cra 24 N° 5 B 07
Tel: 2 371927

Contacto en Almacén: Mónica Ramírez



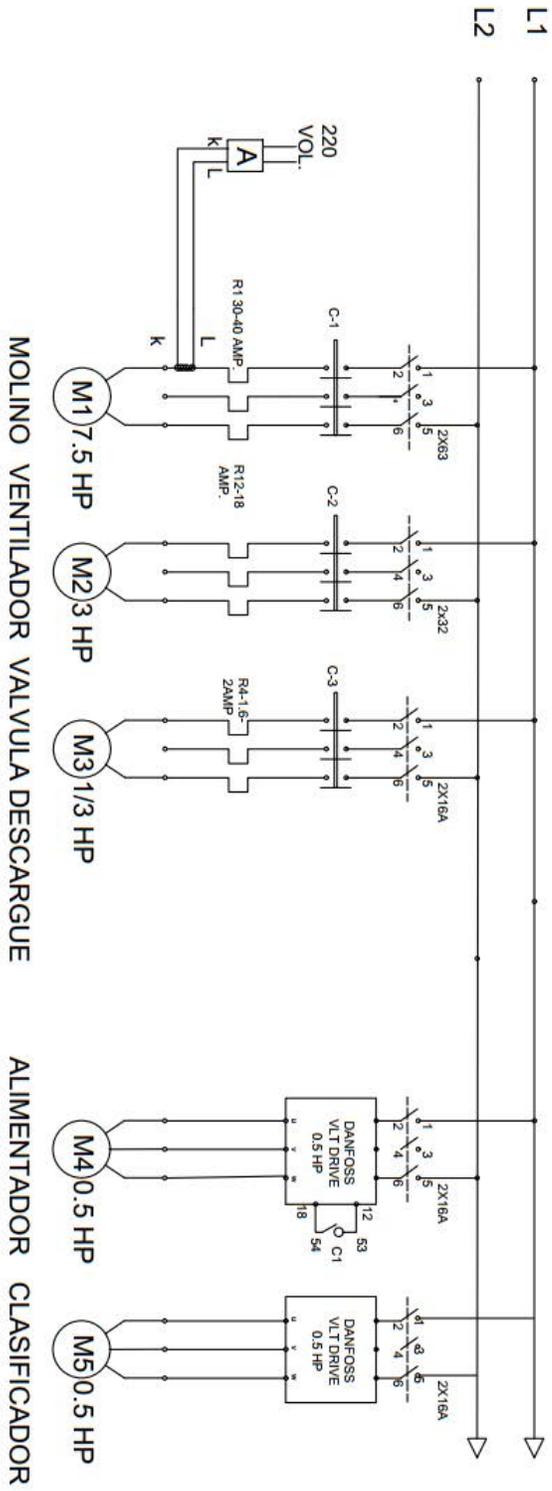
CONEXIONES ELECTRICAS



ENTIDAD: MOLINOS PULVERIZADORES	TITULO: MOLINO MC- 10 SANOPLAN	APROBO: JUAN AGUILLON
ARCHIVO: PLANO DE CONTROL	FECHA: FEBRERO 2017	



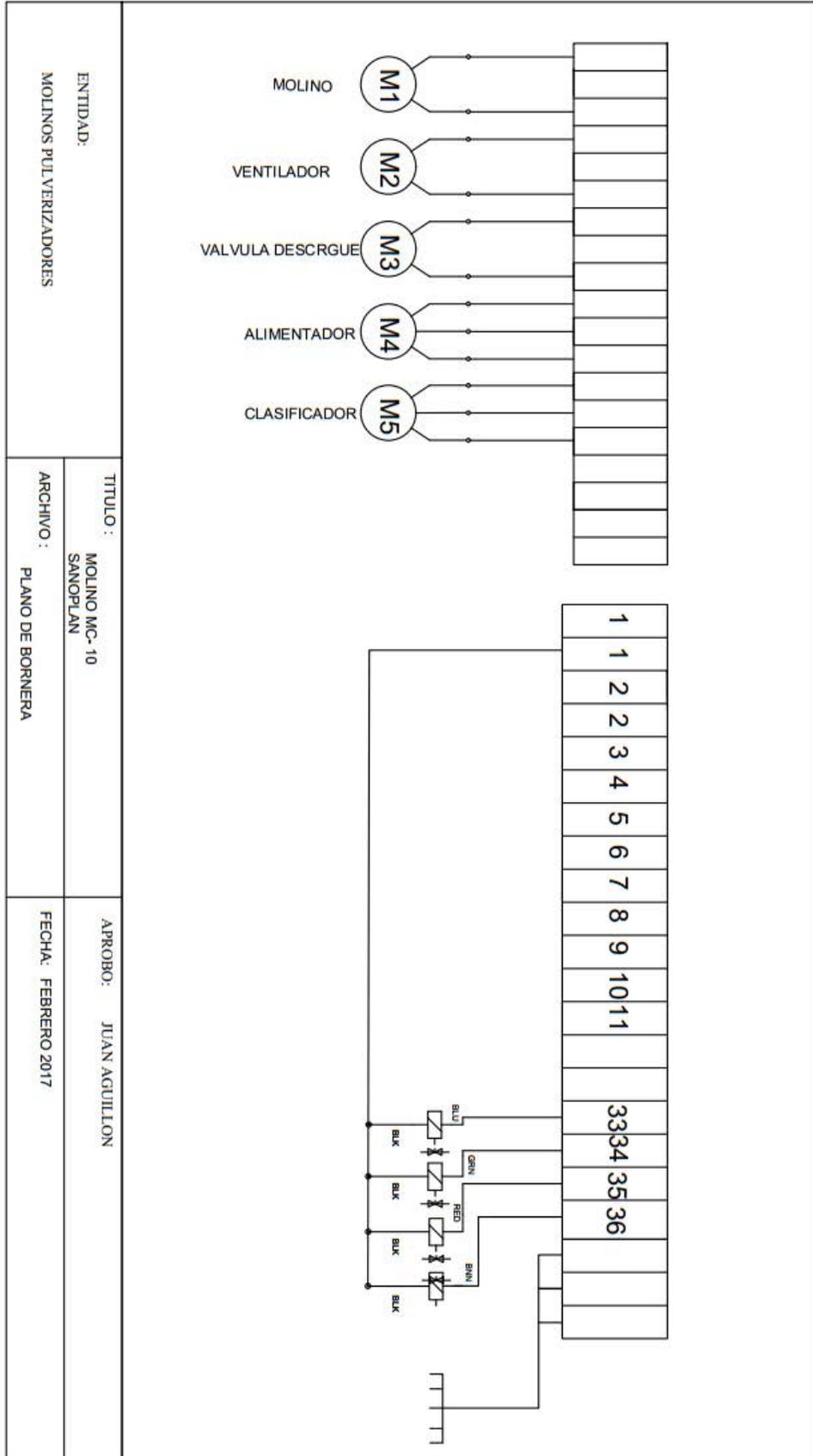
CONEXIONES ELECTRICAS



ENTIDAD	MOLINOS PULVERIZADORES	ARCHIVO :	PLANO DE FUERZA	APROBO:	JUAN AGUILLO	FECHA:	FEBRERO 2017
TITULO	MOLINO MC-10 SANOPLAN						

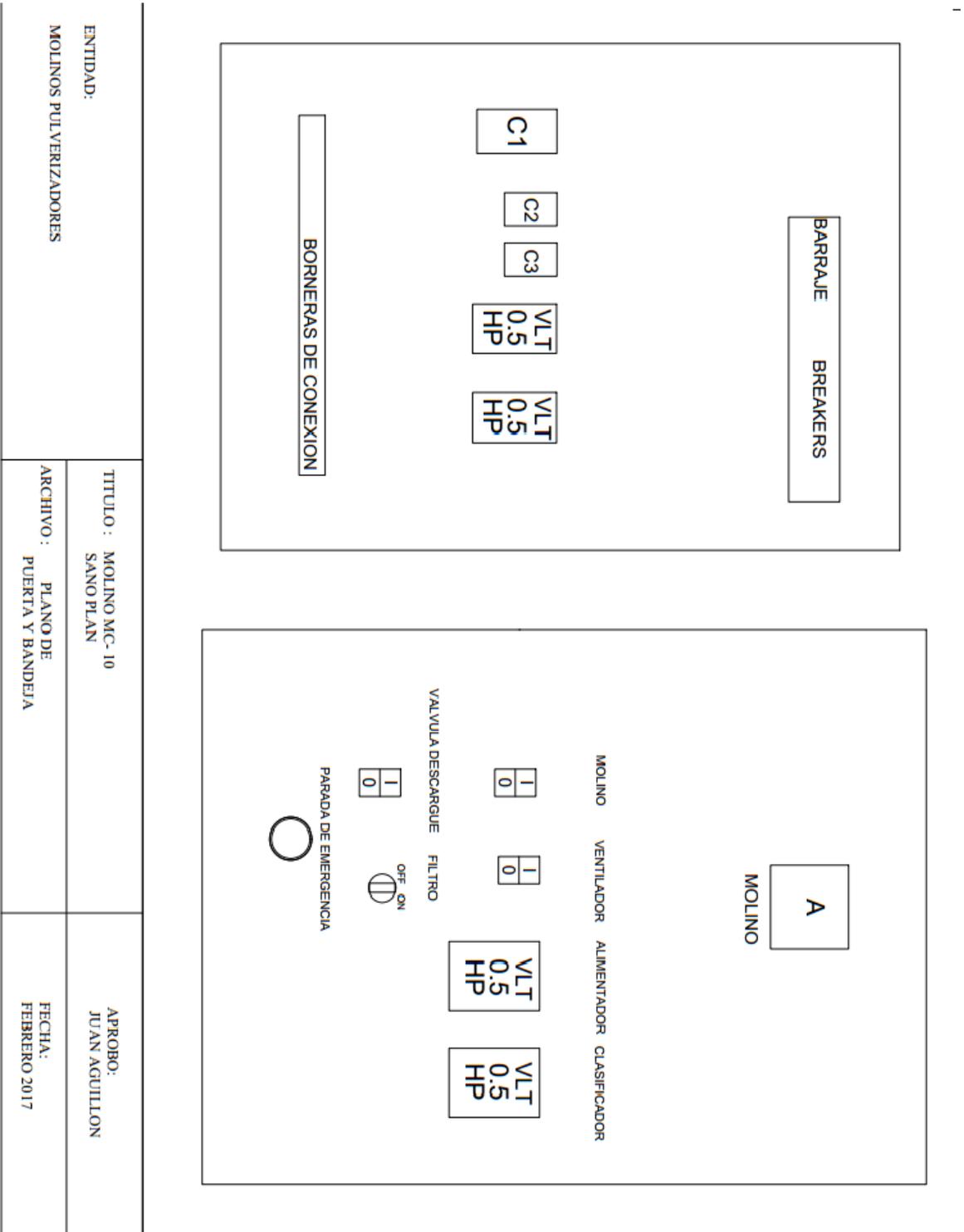


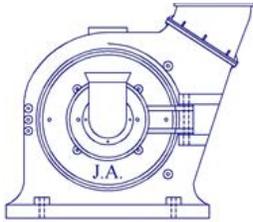
CONEXIONES ELECTRICAS





CONEXIONES ELECTRICAS





MOLINOS PULVERIZADORES

Equipos y Servicio para procesos de molienda y pulverización de alimentos, químicos y minerales

Para cualquier información adicional acerca de el correcto funcionamiento de el molino, suministro de repuestos, accesorios, asesoría en sus procesos de molienda, o fabricación de equipos compatibles, por favor contáctenos en nuestras instalaciones en Bogotá