

Dirección de Área de Conocimiento Industria y Producción

“Diseño de un transportador neumático, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz en los trillos de Jinotepe, Carazo”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Br. Anghiary Judith
Garay Ríos
Carnet: 2019-0221U

Br. Joel Aroldo
Moraga González
Carnet: 2018-0574U

Tutor:

MSc. Juan Oswaldo
Blandino Rayo

22 de septiembre de 2025
Managua Nicaragua

Dedicatoria.

Este trabajo monográfico lo dedicamos primeramente **a Dios** por darnos la fuerza, sabiduría y guiarnos durante este camino. Agradezco a Dios por no soltar mi mano en los momentos difíciles y permitir la conclusión de este estudio, por su amor y misericordia que se refleja día a día.

A mis padres: ing. Eudoro Garay por ser mi inspiración, porque no hay palabras suficientes para agradecer tanto. Esto es gracias a su esfuerzo y cariño infinito, gracias por enseñarme a no rendirme, a seguir adelante con fe y valentía. Así mismo, a mi mamá **Silvia Hernández** por apoyarme cuando lo necesito. Gracias a ambos por los valores que me han guiado hasta este momento.

A German G, por estar a mi lado durante este proceso, por creer en mí, por sus ideas, su paciencia y apoyo incondicional.

A mis amigos: Dayana Manzanares por su compañía, ánimo y comprensión durante este largo camino, a **Marisleysis Escalante** por ser uno de mis ejemplos a seguir, por las risas y su amistad incondicional, y a **Alexander Moncada** por su amistad, y sus consejos que me han acompañado en los buenos y malos momentos. Agradecida por el apoyo constante a lo largo de los años y por estar presente en cada etapa importante.

A mi compañero **Joel Moraga** por su compromiso, dedicación y perseverancia durante este proceso, gracias por el trabajo en equipo, la disposición y el respeto con el que enfrentamos este reto, gracias por su amistad y por animarme cuando quería desistir.

Dedico este trabajo a todos ustedes, quienes han sido parte esencial de mi camino y pilares fundamentales para este logro.

Anghiary Judith Garay Rios.

Este trabajo monográfico se lo dedicó primeramente a Dios por regalarnos la fuerza y sabiduría necesaria para terminar mi tesis para defender mi título de ingeniero mecánico.

A mis padres, Ing Aroldo Moraga, Lic. Sonia González y mis hermanas Ing Noemí Moraga, Arquitecta Damaris Moraga por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera universitaria, sus consejos que me formaron a mi largo de mi vida y que en cada acción mía estén ellos presenten.

A mi querida Novia Virginia Monterrey, por ser un pilar fundamental en mi vida académica, y en la elaboración de esta tesis monográfica, sus palabras de aliento, me inspiraron y me motivaron a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi compañera de tesis y amiga Judith Garay por su paciencia, compromiso durante esta etapa, su apoyo fue indispensable para la culminación de este trabajo monográfico.

Joel Aroldo Moraga González.

Contenido

Introducción.....	1
OBJETIVOS.....	3
Antecedentes.....	4
Justificación.....	6
Capítulo 1. Marco teórico	8
1.1 Definiciones Generales	8
1.1.1 Granza de Arroz	8
1.2 Transportador Neumático.....	9
1.2.1 Elementos que Conforman un Sistema Neumático para transporte de material	9
1.2.2 Principio de Funcionamiento	10
1.3 Tipos de Transportadores Neumáticos	10
1.3.1 Transporte de Fase Diluida	11
1.3.2 Transporte de Fase Densa.....	11
1.4 Llenado Automatizado.	11
1.5 Embalaje de Granza de Arroz.....	12
1.5.1 Tipos de Materiales Para Embalaje.....	12
1.6 Diseño del Sistema	13
1.6.1 Diámetro Equivalente del Grano	14
1.6.2 Número de Arquímedes.....	15
1.6.3 Número de Reynolds del Estado del Flujo Alrededor de la Partícula	16
1.6.4 Velocidad de Sedimentación.....	16
1.7 Variables a Considerar	17
Hipótesis.	18
Capítulo 2. Obtención de datos referentes al diseño.	19
2.1 Información Técnica de los Trillos de Jinotepe, Carazo	19
2.1.1 Características Físicas de la Granza de Arroz.....	19
2.2 Datos Generales	20
2.3 Diseño del Sistema	20
2.3.1 Diámetro Equivalente de la Cascarilla	20
2.3.2 Número de Arquímedes.....	21
2.3.3 Velocidad de Sedimentación.....	21
2.4 Datos Referentes al Ducto en el Sistema Neumático	23

2.4.1 Caudal de Aire y Diámetro del Ducto.....	23
2.4.2 Velocidad del Aire en el Ducto y Velocidad Mínima	24
2.4.3 Velocidad de la Cascarilla, Concentración Volumétrica y Total.....	25
2.4.4 Número de Reynolds.....	27
2.5 Pérdidas en el Ducto.	28
2.6 Desaceleración de la Velocidad de la Cascarilla en Codo (1er Codo)	29
2.7 Coeficiente de Resistencia por Rozamiento, Pérdida de Presión en Ducto y Desaceleración de la Velocidad de la Cascarilla.....	31
2.8 Aceleración de la Cascarilla y Pérdida de Presión.....	32
2.9 Resumen de Pérdidas de Presión (Después Del Venturi)	33
2.9.1 Suma de Perdidas de Presión.....	34
2.10 Cálculo Introdutor Venturi	34
Tolva del Diseño	36
2.11 Conceptos Generales De Ciclones.....	38
2.11.1 Tipos de Ciclones.....	39
2.11.2 Especificaciones Del Ciclón Diseñado	41
2.12 Cálculo del Volumen y Dimensiones de la Tolva.....	43
2.13 Selección del Ventilador	43
2.13.1 Ventilador Axial y Ventilador Centrífugo	43
2.13.2 Datos para seleccionar ventilador:	44
2.14 Automatización del Llenado	46
2.14.1 Funcionamiento del llenado automatizado.	47
2.14.2 Otras Consideraciones	50
Capítulo 3. Comparación de Procesos	58
3.1 Proceso Manual.	58
3.1.2 Tiempo del Proceso Manual.	59
3.2 Tiempo del Proceso del Sistema Neumático	60
3.3 Costos de Proceso Manual con Mano de Obra.....	61
3.4 Costos Aproximados de Adquisición e Inversión:	62
3.5 Costos de Consumo Energético	65
Cálculo de Soportes	67
Retorno de Inversión aproximado.	72
Conclusiones	73

Recomendaciones.....	75
Referencias Bibliográficas.	76
ANEXOS	79

Introducción

Durante la historia, el diseño industrial ha constituido un componente fundamental para satisfacer las diferentes necesidades que se presentan en un proceso de producción de cualquier servicio o producto que se realiza. El diseño complementado con la implementación de sistemas: mecánicos, hidráulicos, eléctricos, neumáticos etc. Ofrecen ventajas en términos de eficiencia, control y versatilidad para una variedad de aplicaciones.

Ahora bien, en esta investigación se aborda un diseño que implementa un sistema neumático, debido a que por su naturaleza son adecuados para mover de un punto a otro, materiales a granel como es el caso de la cascarilla de arroz, el cual es un material ligero, de tamaño pequeño, generado en grandes cantidades por los productores de nuestro país.

En Nicaragua, la obtención de granza de arroz va de la mano con lo que se produce respecto al grano entero, es decir, con su cascarilla, para los años 2022-2023 Nicaragua registró una producción de aproximadamente 6.1 millones de quintales de arroz. Los trillos de Jinotepe, Carazo forman parte de un 23% junto con otros departamentos de los 75 trillos presentes en el país.

Actualmente el método para el transporte, llenado y empaquetado de granza se realiza de forma manual, mediante el uso de palas y personal, esto constituye una inversión de tiempo, mano de obra y menor cuidado del producto de manera significativa. Ante esta problemática, surge la propuesta de un sistema capaz de agilizar este procedimiento. La automatización en las diferentes industrias es un tema que se nota con mucha frecuencia en la actualidad, por lo que es

importante para reducir errores, mejorar los tiempos y tiene diferentes ventajas que benefician la producción.

La presente investigación documenta la propuesta de un diseño de un transportador neumático, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz en los trillos de Jinotepe, enfocado en servir de ayuda para innovar en el sector agrícola, sustituyendo métodos tradicionales por métodos actuales y ser base de referencia para una posible realización del diseño en futuros estudios, tomando en cuenta los requerimientos y consideraciones que se describen posteriormente.

OBJETIVOS.

GENERAL

Diseñar un sistema neumático para el transporte, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz que contribuya con la modernización del proceso en los trillos de Jinotepe, Carazo.

ESPECÍFICOS

Obtener datos referentes al diseño del sistema neumático destinado al traslado de cascarilla de arroz por medio de fórmulas descritas posteriormente para la obtención de parámetros que influyen en el diseño.

Realizar la comparación entre el proceso manual y automatizado a través del análisis de datos para la evaluación de la viabilidad del sistema propuesto.

Elaborar planos y presentación del montaje del sistema neumático con sus componentes principales a través de una representación gráfica del mismo para la visualización general del diseño.

Antecedentes.

En la localidad de Jinotepe Carazo, el cultivo de arroz se destaca como pilar esencial para los bolsillos locales y sustento alimenticio de los habitantes nicaragüenses. No obstante, las instalaciones agrícolas de dicha zona mantienen prácticas arcaicas en lo que respecta a mover, llenar y empacar el cereal. Pese al papel crucial que juega esta labor campesina, hasta ahora no ha surgido estudio alguno enfocado exclusivamente en idear una estrategia de modernización para estos establecimientos.

Esta carencia palpable investigativa subraya tanto la urgencia como pertinencia del análisis actual. Con pocas precedencias tal como la investigación realizada por el instituto interamericano de cooperación para la agricultura (2000) donde hace énfasis en la modernización de la agricultura nicaragüense.

En Nicaragua no ha habido estudios previos relacionados al tema, sin embargo, en otros países del continente existen investigaciones asociadas al estudio que se desarrollará posteriormente.

Ahora bien, en ciudades como Pimentel, Perú, Herrera y Lumbres (2018) realizaron la tesis con el tema: “Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico-neumático controlado por un PLC para fundas de arroz” en la cual fueron capaces de cumplir su objetivo principal por medio de la utilización de diferentes cálculos y programas, logrando obtener el diseño del sistema, selección de componentes, plan de mantenimiento y manual de instrucciones. En él se presenta el funcionamiento y cuidados de la máquina diseñada, que si bien, no es generada en nuestro país es un excelente precedente a tomar en cuenta en el desarrollo de este trabajo monográfico.

Por otro lado, en Bucaramanga, Colombia, Alvarado y Peñuela (2022) en el proyecto de grado: “Diseño y construcción de un prototipo automatizado recibo- almacenamiento de trigo en grano”, se enfocaron en un estudio aplicado, desarrollaron y construyeron un sistema automatizado cuyo propósito es destacar las ventajas industriales de la automatización en el proceso, tales como una producción constante, una disminución en el consumo de energía, y la incorporación de funcionalidades que aportan de manera positiva al campo de la automatización. Demostraron el avance significativo de la integración de tecnologías automatizadas en el manejo de granos mejorando la eficiencia.

Justificación

Actualmente, en Nicaragua la agricultura constituye un pilar fundamental para el desarrollo de la economía del país y en la alimentación de los nicaragüenses. En el municipio de Jinotepe, Carazo se encuentran localizados trillos de pequeños productores que en conjunto con otros departamentos aportan a la producción total de arroz en Nicaragua. Ahora bien, los sistemas utilizados para el transporte y embalaje de granza de arroz son manuales, por lo que, el presente diseño expuesto pretende ser una herramienta que posteriormente pueda ser utilizada para agilizar este proceso y de esta forma, optimizar la producción.

Así mismo, será de gran beneficio para los productores de esta zona y de lugares donde se acostumbren prácticas manuales entorno al proceso de la cascarilla, porque puede ser un sistema utilizado, que, de acuerdo con las variables presentadas en cuanto a cantidades, se modifique en orden de satisfacer las necesidades entorno a transporte, llenado y embalaje de la granza de arroz.

Bravo (2008) analizó las necesidades de invertir en investigaciones que fueran capaces de desarrollar nuevas tecnologías que conlleven a un aumento de la productividad de la agricultura. En este contexto, el trabajo monográfico constituye una herramienta de ayuda para el desarrollo de este sector, así como, los resultados presentados contribuyen a un punto de partida para el continuo avance de las mejoras en este ámbito.

En síntesis, la presente monografía posee conveniencia, relevancia social dado que puede satisfacer necesidades de las zonas rurales dedicadas a la siembra de este grano básico y a su vez, puede conllevar a implicaciones prácticas a través de la posterior realización o construcción del diseño presentado.

Además, será de utilidad para los futuros estudiantes de ingeniería mecánica que retomen temáticas relacionadas con el área de diseño y será de beneficio la información recolectada para futuros trabajos monográficos relacionados con el área de neumática y automatización.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 Definiciones Generales

Para comenzar este estudio es necesario tener noción referente a conceptos generales, los cuales serán de gran ayuda al momento de desarrollar el tema central de esta investigación, por lo que, el primer punto será conocer características acerca del material que se va a transportar en el diseño propuesto.

1.1.1 *Granza de Arroz*

Nicaragua es uno de los países que goza con un gran potencial agropecuario y es debido a esto que la producción de arroz se destaca como una actividad agrícola que se realiza en diferentes partes del país. En esta investigación se denominará granza de arroz al acopio de material o cascarilla resultante del proceso de trillado del arroz cultivado.

En un país productor como Nicaragua, el manejo de residuos resulta fundamental para su posterior uso en diferentes situaciones, pero esto no es posible sin el correcto traslado y empaquetado del producto (cascarilla o residuo de arroz) previo a su utilización.

La comercialización de la cascarilla de arroz como un producto terminado es de gran beneficio para los productores porque aprovechan en su totalidad lo que obtienen del grano entero, esto se traduce a generación de ingresos adicionales a partir de un subproducto obtenido de la cosecha principal de arroz. A su vez, comercializar la cascarilla ayuda a tratar de una mejor forma los “residuos” ya que en lugar de desecharla la convierten en una fuente de ingresos en lugar de un gasto por la eliminación del material.

En resumen, la comercialización de cascarilla de arroz puede ofrecer un sinnúmero de beneficios económicos que van desde generación de ingresos adicionales para los productores,

hasta la reducción de costos para otras empresas que puedan utilizar la cascarilla como materia prima para otros usos.

1.2 Transportador Neumático

Los sistemas de transporte neumático son de gran importancia en la industria (textil, minería, farmacéutica etc), su implementación se ha diversificado en diferentes áreas, y el desarrollo va incrementando conforme pasan los años y se adaptan nuevas tecnologías, con el fin de agilizar procesos y aumentar la producción de una manera más eficiente.

Ahora bien, los sistemas de transporte son simples y adecuados para el uso de materiales pequeños o granulados. Los elementos principales de este sistema de transporte de forma resumida son: la fuente de gas comprimido (generalmente aire), un dispositivo de alimentación, un medio de transporte (tubería) y un receptor para recibir el material transportado, adicionalmente a estos elementos se incluyen otros que se estudiarán en detalle posteriormente.

1.2.1 Elementos que Conforman un Sistema Neumático para transporte de material

Los elementos generales de un sistema neumático son:

- Ventilador centrífugo: Un ventilador usado en este sistema debe ser capaz de trabajar con presiones altas, por lo que necesitará una fabricación de soportar estos factores.
- Sistema de carga: Puede ser una tolva, válvula dosificadora, boquilla Venturi, entre otros. Estos elementos son los encargados de alimentar el sistema.
- Sistema de descarga: Son componentes que ayudan con la descarga correcta del sistema, ejemplo de ellos son: Auxiliares de flujo, fluidizadores de silo, entre otros.
- Filtro: Es el encargado de eliminar los diferentes contaminantes e impurezas que puedan presentarse durante el transporte de material a granel.

- Tuberías de diámetro correcto: Es el medio de transporte del material y en el que conecta cada elemento, es de vital importancia que posea un diámetro adecuado para evitar inconvenientes al momento de poner en marcha el sistema de transporte neumático.

1.2.2 Principio de Funcionamiento

El objetivo de un transportador neumático es básicamente transferir material de un punto a otro (destino final), o bien, un proceso de producción posterior, para la transformación del material movido.

Como se explica anteriormente, un transportador neumático trabaja con un gas comprimido (aire) en la mayoría de casos, este gas es generado mediante un ventilador centrífugo que mueve material (proporcionado por el sistema de carga) en forma de partículas granulares por medio de tuberías totalmente cerradas hacia un sistema de descarga, que, en el diseño propuesto en este estudio, será para proporcionar el llenado y embalaje del material.

1.3 Tipos de Transportadores Neumáticos

Existen diferentes tipos de transportadores neumáticos, esto va en dependencia de las características del material que se transportará y los diferentes parámetros que intervienen en el sistema. En este estudio, es necesario que el proceso sea continuo, por lo que, sólo se abordarán dos tipos de sistemas, presentes en los transportadores neumáticos.

Por lo tanto, si el material al momento de transportarlo está suspendido en el aire en su paso por la tubería, se le denomina transporte de fase diluida. De lo contrario, si el material se transporta a una velocidad muy baja y sin suspensión a través de su recorrido en la tubería, es llamado transporte de fase densa.

1.3.1 Transporte de Fase Diluida

Mills, D. (2004) expresa que casi cualquier material puede ser transportado en este tipo de fase, independientemente del tamaño, forma, o densidad. Este material debe estar suspendido en el aire mientras es soplado o aspirado, por lo tanto, se necesita una velocidad alta para lograr esto, lo que conlleva a su vez, a una mayor potencia del sistema.

Ahora bien, al trabajar con velocidades elevadas la susceptibilidad al desgaste aumentará, es decir, entre mayor sea el tamaño de la partícula (tipo de material presente en el sistema) mayor será el desgaste que se presentará en la tubería. En el caso de pequeñas partículas el impacto en la tubería será reducido en comparación con una de mayor tamaño.

1.3.2 Transporte de Fase Densa.

El transporte en fase densa se refiere a aquel que presenta flujo sin suspensión, En este tipo de fase se distinguen dos tipos:

Flujo de lecho móvil: En el cual las partículas de material son conducidas en dunas en el fondo del medio de transporte o como dunas pulsantes. El material que se transporta debe tener buenas características de retención de aire y debe poseer un tamaño aproximado de 40-70 μm

Por otro lado, existe el transporte slug o plug, en el cual el material transportado debe presentar buena permeabilidad y se transporte en tapones de paso separados por espacios de aire. Las semillas son un ejemplo de material transportado en este tipo de transportador.

1.4 Llenado Automatizado.

Algunos autores afirman que “La automatización permite reducir y optimizar los procesos de producción”. (Zapata et al., 2021, p.16)

La automatización de algún proceso implica reemplazar los procedimientos rudimentarios de mano de obra, identificando tareas repetitivas o que consuman mucho tiempo y

reemplazarlas con herramientas seleccionadas o enfoque adecuado para realizar dichas tareas. Por ejemplo, en este estudio el llenado de granza de arroz en los trillos de Jinotepe, Carazo se realiza por medio de personal con palas que llenan sacos, el objetivo es reemplazar esa actividad, para que se realice de forma rápida luego de ser descargada del transportador neumático.

Ahora bien, hay un sinnúmero de elementos que pueden ser utilizados para automatizar el llenado de sacos: Control lógico programable, sensores, programación, balanzas electrónicas, etc. El uso de cada uno de ellos dependerá de factores económicos y del entorno en el cual serán empleados.

1.5 Embalaje de Granza de Arroz.

En la industria existen un sinnúmero de empaques que pueden ser utilizados en el embalaje de granza de arroz, debido a que es un material manejable existen diferentes opciones. El almacenamiento de granza de arroz requiere de la selección de empaques adecuados que protejan el producto contra la humedad, la contaminación y otros factores que puedan afectar la calidad del producto.

1.5.1 Tipos de Materiales Para Embalaje

Para el embalaje de este tipo de producto se presentan distintas opciones, algunas más económicas que otras, con mejores propiedades en cuanto a eficiencia para proteger las características propias del producto, entre las más importantes se pueden mencionar las siguientes:

Polietileno: Conocidos como empaques o bolsas de plástico, son eficaces para proteger de la humedad, pero deben ser de alta densidad para garantizar la resistencia suficiente y cumplir su objetivo. Es un material barato, no presenta olor ni sabor que puedan perjudicar al producto y

es fácilmente sellable por calor utilizando equipos sencillos. Dependiendo del tipo de polietileno (baja densidad y alta densidad) las temperaturas de sellado variarán, teniendo entonces:

Para los de baja densidad, una temperatura de 120°C a 160°C y para los de alta densidad una temperatura de 160°C a 220°C aproximadamente.

Sacos de papel: Hechos de kraft, dado que, este material evita la acumulación de humedad, pueden soportar cargas considerables, es biodegradable en comparación con el plástico y a la vez, una opción más económica. Los sacos de kraft son relativamente flexibles, fáciles de cerrar, sellar y su manipulación y transporte son sencillas.

Polipropileno tejido: Como su nombre lo indica, son sacos de material tejido (hebras de plástico entrelazadas) para darle resistencia, son fuertes, duraderos, aunque menos biodegradables en comparación de otras opciones.

1.6 Diseño del Sistema

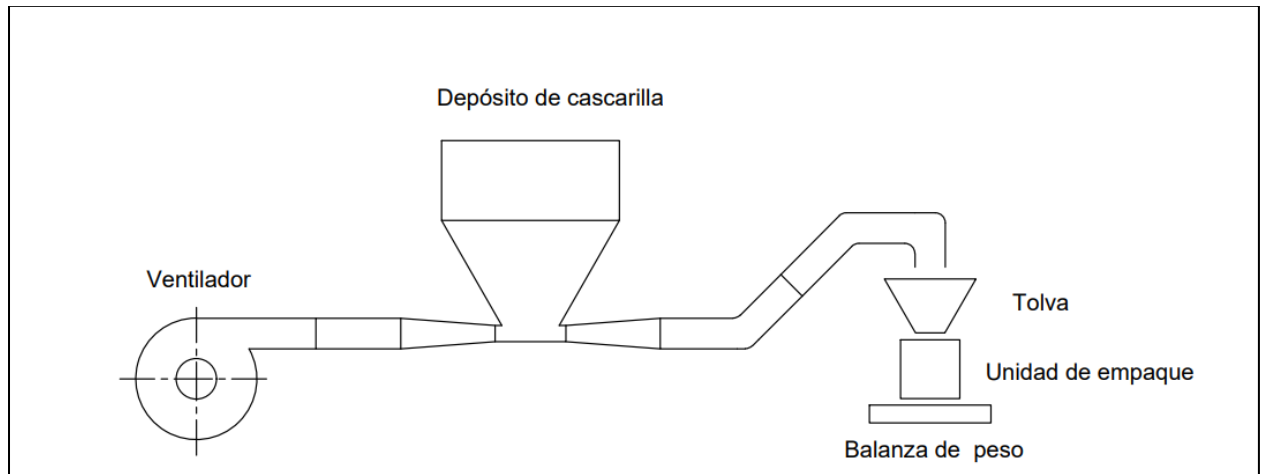
Un sistema entero de transporte neumático contempla en general tres unidades sueltas, unidas por medio de tubos las cuales son: compresor, introductor y separador; según la colocación de estos tres equipos en la planta, se distinguen 3 tipos de sistemas:

- Ventilador -> Introductor -> Separador:
- Introductor -> Ventilador -> Separador:
- Introductor -> Separador -> Ventilador

En dicho estudio se utilizará un sistema “Ventilador -> Introductor -> separador” el cual lleva adicionalmente una tolva y una balanza de peso que se encarga del área de llenado y embalaje como se muestra a en la figura 1.

Figura 1.

Esquema del sistema de transporte neumático.



Nota. La figura representa un esquema general del sistema de transporte neumático con sus componentes básicos. Fuente: Elaboración propia.

1.6.1 Diámetro Equivalente del Grano

Para iniciar con los cálculos es indispensable conocer las especificaciones del producto a transportar, a este se le trata como un aglomerado de bolas pequeñas en el cual se establece un diámetro promedio.

Para esto se utiliza una ecuación donde se iguala el volumen de una partícula de forma irregular con el volumen de una esfera para obtener un diámetro promedio:

$$\frac{\pi}{6} dp^3 = a * L^*e$$

despejando se obtiene:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{6 * a * L * e}{\pi}} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

d_p = diámetro promedio [mm]

a = ancho de una partícula de cascarilla [mm]

L = longitud de una partícula de cascarilla [mm]

e = espesor de una partícula de cascarilla [mm]

1.6.2 Número de Arquímedes

Según Marzahn (1990), el conocimiento del número de Arquímedes es esencial en el diseño del sistema, permite evaluar las fuerzas gravitatorias y las fuerzas de arrastre lo que, a su vez influye en la estabilidad y eficiencia del transporte neumático (p,22)

$$Ar = (\rho_p - \rho) * \rho \frac{g * d_p^3}{\eta^2} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Ar = número de Arquímedes

ρ = densidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [kg / m³]

η = viscosidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [Pa*s]

d_p = diámetro promedio de la partícula [mm]

1.6.3 Número de Reynolds del Estado del Flujo Alrededor de la Partícula

Para Marzahn (1990) el número de Reynolds proporciona información sobre la naturaleza del fluido transportador y su capacidad para transportar eficientemente las partículas.

$$Re_p = 1.74 * \sqrt{Ar} \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

Re_p = número de Reynolds para el estado de flujo alrededor de las partículas

Ar = número de Arquímedes.

1.6.4 Velocidad de Sedimentación.

Este indica la velocidad a la cual las partículas tienden a asentarse debido a la fuerza de la gravedad, determinar este valor permite evitar acumulación no deseada de partículas y la fricción en los ductos según Marzahn (1990).

$$v_s = \frac{Re_p * \eta}{d_p * \rho} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

v_s = velocidad de sedimentación de partículas [m /s]

Re_p = número de Reynolds para el estado de flujo alrededor de las partículas

η = viscosidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [Pa*s]

d_p = diámetro promedio de la partícula [mm]

ρ = densidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [kg / m3]

1.7 Variables a Considerar

En el marco de este estudio, las variables son pilares fundamentales que sustentan la evaluación del diseño del transporte neumático. Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse (Hernández, 2014, p.105). Cada variable propuesta está diseñada para ofrecer información detallada que respalda los objetivos de esta investigación. Las cuales son las siguientes:

- Dimensiones del Transporte neumático: Longitud, diámetro y otras medidas del diseño.
- Capacidad de carga: La masa de cascarilla que se transportará eficazmente.
- Tiempo de Ejecución: El tiempo que requiere cada método en completar el proceso.
- Consumo de energía: Medición de la energía necesaria en cada proceso.
- Errores en el proceso: Comparación de posibles errores humanos en el proceso manual y la ausencia de éste en el proceso automatizado.

Hipótesis.

H: El diseño de un sistema neumático para el transporte, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz tomando en cuenta los requerimientos para realizarlo, será de ayuda para mejorar la eficiencia y desarrollo de la producción de este producto. La falta de este diseño provocará mayor ineficiencia en el proceso de tratamiento de la granza de arroz.

H₀: El diseño de un sistema neumático para el transporte, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz tomando en cuenta los requerimientos para realizarlo, no será de ayuda para mejorar la eficiencia y desarrollo de la producción de este producto. La falta de este diseño no provocará mayor ineficiencia en el proceso de tratamiento de la granza de arroz.

Capítulo 2. Obtención de datos referentes al diseño.

2.1 Información Técnica de los Trillos de Jinotepe, Carazo

Mediante una visita de campo se consultó la producción de granza de arroz promedio por día de los trillos en la zona de Jinotepe la cual es de: $16 \frac{qq}{hrs}$ (Tabla 1).

Tabla 1.

Producción de arroz en los trillos de Jinotepe.

Trillo	$\frac{qq}{hrs}$
Trillo 1	18
Trillo 2	14
Promedio	16

Nota: Fuente: Elaboración propia. Promedio de la Producción de los trillos de arroz en quintal

2.1.1 Características Físicas de la Granza de Arroz

Forma. La cascarilla posee una forma de canoa, superficie rugosa y presenta un color amarillento.

Densidad aparente. Es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo orificios o poros que contenga varía entre $272 \frac{kg}{m^3}$ a $400 \frac{kg}{m^3}$.

Densidad de partícula de cascarilla. Es una propiedad física que describe la cantidad de masa que hay en un determinado volumen, en este caso es $45 \frac{lb}{pie^3}$ lo que equivale a $721 \frac{kg}{m^3}$.

Dimensiones de partícula de cascarilla. Las dimensiones varían dependiendo de su variedad de arroz.

Longitud: Entre 4 mm a 14 mm. Para diseño se tomará el mayor, 14 mm.

Ancho: Entre 2 mm a 4 mm. Se calculará con la dimensión más grande, 4 mm.

Espesor: 0.1 mm.

2.2 Datos Generales

- Densidad del aire: $1.2 \frac{kg}{m^3}$
- Aceleración de la gravedad: $9.8 \frac{m}{s^2}$
- Viscosidad dinámica del aire: $1.849 * 10^{-5} kg * \frac{s}{m} = 0.00001849 kg * \frac{s}{m}$

2.3 Diseño del Sistema

Para el diseño del sistema se consideran diferentes características descritas y obtenidas a continuación:

2.3.1 Diámetro Equivalente de la Cascarilla

Utilizando las dimensiones de una partícula de cascarilla, el diámetro equivalente es.

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{6 * a * L * e}{\pi}}$$

donde:

Ancho (a) = 4 mm

Longitud (L) = 14 mm

e = 0.1 mm

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{6 * 4 \text{ mm} * 14 \text{ mm} * 0.1 \text{ mm}}{\pi}} = 2.20 \text{ mm convirtiendo a metros } 0.0022 \text{ m}$$

Referencia: Ec. (1)

2.3.2 Número de Arquímedes

Para obtener el número de Arquímedes se sustituye los datos en la Ec. (2) donde:

$$Ar = (\rho_p - \rho) * \rho \frac{g * d_p^3}{\eta^2}$$

Donde:

- Ar = número de Arquímedes
- ρ = densidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [$\frac{kg}{m^3}$]
- η = viscosidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [Pa*s]
- d_p = diámetro promedio de la partícula [mm]
- g = aceleración de la gravedad [$\frac{m}{s^2}$]

$$Ar = \left(721 \frac{kg}{m^3} - 1.2 \frac{kg}{m^3}\right) * 1.2 \frac{kg}{m^3} * \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * (0.0022 m)^3}{(1.849 \times 10^{-5} Pa * s)^2} = 261,903$$

Con este dato es posible determinar el Número Reynolds del estado del flujo alrededor de la cascarilla utilizando la Ec. (3) donde:

$$Re_p = 1.74 * \sqrt{Ar}$$

- Re_p = número de Reynolds para el estado de flujo alrededor de las partículas
- Ar = número de Arquímedes.

Sustituyendo los datos da como resultado:

$$Re_p = 1.74 * \sqrt{261,903} = 890.47$$

2.3.3 Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación se calcula considerando la Ec. (4) donde se tiene:

$$v_s = \frac{Re_p * \eta}{d_p * \rho}$$

v_s = velocidad de sedimentación de partículas [$\frac{m}{s}$]

Re_p = número de Reynolds para el estado de flujo alrededor de las partículas

η = viscosidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [Pa*s]

d_p = diámetro promedio de la partícula [mm]

ρ = densidad del fluido en el cual sedimenta la partícula [$\frac{kg}{m^3}$]

$$v_s = \frac{890.47 * 18.49 \times 10^{-5} \text{ Pa} * s}{0.0022 \text{ m} * 1.2 \frac{kg}{m^3}} = 6.23 \frac{m}{s}$$

Ahora bien, el flujo másico de la cascarilla $\dot{m}_p$ ($\frac{kg}{s}$) a transportar, teniendo en cuenta que para 1 trillo son 16 qq (quintales cortos), en este caso $32 \frac{qq}{hrs}$ al considerar 2 trillos.

Convirtiendo a las unidades correspondientes se tiene:

- 1 qq = 100 lbs = 45.36 kg
- 1 hr = 3600 sg

$$\dot{m}_p = 32 \frac{qq}{hr} = \frac{45.36 \text{ kg}}{1 \text{ qq}} = \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sg}} = \frac{0.40 \text{ kg}}{s} \quad \text{Ec.5}$$

Por otro lado, el flujo volumétrico de la cascarilla a transportar, se refiere a la cantidad de fluido que pasa por una superficie determinada por unidad de tiempo (Tosun, 2007).

Para obtener este dato se toma en consideración la siguiente expresión:

$$V'p = \frac{\dot{m}_p}{\rho_p} \quad \text{Ec.6}$$

$$V'p = \frac{0.40 \frac{kg}{sg}}{721 \frac{kg}{m^3}} = 0.0005548 \frac{m^3}{s}$$

Para este sistema se recomienda una relación de transporte entre el flujo másico de la cascarilla y el flujo del aire de 0.5, el cual es un valor típico en sistemas densos de baja velocidad Marzahn (1990).

$$\frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_a} = 0.5 \quad \text{Ec. 7}$$

Despejando se obtiene el flujo de aire a transportar $\dot{m}_a$ ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_p}{\mu}$$

$$\dot{m}_a = \frac{0.40 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0.5} = 0.80 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2.4 Datos Referentes al Ducto en el Sistema Neumático

En este estudio es necesario conocer las diferentes características del sistema, a continuación, se detallan las fórmulas requeridas, así como los datos obtenidos para definir el diseño.

2.4.1 Caudal de Aire y Diámetro del Ducto

Con los datos obtenidos se procede a obtener el caudal volumétrico del aire, aplicando la misma expresión de la Ec. 6 (ahora para el aire), dado por:

$$V'_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho} \quad \text{Ec. 8}$$

$$V'_a = \frac{0.80 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Según Marzahn (1990), la velocidad del aire en ductos recomendada oscila entre los valores de 13...22m/s, en este diseño se toma un valor promedio de $V_a=17.5 \text{ m/s}$, con este dato se procede a calcular el dimensionamiento del diámetro del ducto:

$$\phi_d = \sqrt[2]{4x \frac{V'_a}{V_a}} \quad \text{Ec.9}$$

$$\phi_d = \sqrt[2]{4x \frac{\frac{0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi}}{\frac{17.5 \text{ m}}{\text{s}}}}$$

$$\emptyset_d = 0.221 \text{ m}$$

Por lo tanto, se selecciona un tubo con dichas especificaciones: Aproximadamente 9 pulgadas de diámetro interno lo que equivale a $\emptyset_d = 0.221 \text{ m}$, diámetro externo 0.233 m, con espesor de chapa 0.000478 m.

2.4.2 Velocidad del Aire en el Ducto y Velocidad Mínima

Para determinar la velocidad del aire en el ducto se toma en cuenta el diámetro interno del mismo, implementado en la Ecuación que proviene de la relación entre la velocidad, el caudal del aire y el área (Mott, R. L, & Untener, J. A. (2015).

Teniendo así:

$$V_a = V' a \frac{m^3}{s} * \frac{\frac{4}{\pi}}{(\emptyset_d)^2} \quad \text{Ec.10}$$

donde: $V' a$ = Caudal del aire

$$V_a = 0.67 \frac{m^3}{s} * \frac{\frac{4}{\pi}}{(0.221 \text{ m})^2} = 17.46 \frac{m}{s}$$

A la vez, se determina la velocidad mínima del ducto V_o , esto con el objetivo de comprobar que la cascarilla no sedimente, Marzahn (1990) indica que esto se obtiene mediante:

$$V_o = \sqrt{Cf * \frac{\emptyset_d * g * \rho_p * \emptyset_{p \max}}{\emptyset_{p \min} \rho} * \sqrt[4]{\frac{\emptyset_{p \max}}{\emptyset_d}}} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

Cf = Constante comprendida entre 0.25... 0.33 según datos experimentales

$\emptyset_d$ = diámetro interno

g = aceleración de la gravedad $[\frac{m}{s^2}]$

ρ_p = Densidad de partícula de cascarilla

$\emptyset_{p \max}$ = Diametro equivalente cascarilla

ρ = Densidad de aire

$\emptyset p \text{ min}$ = Diametro de cascarilla (una partícula), el cual viene dado por:

$$\emptyset p \text{ min} = \sqrt[3]{\frac{6 * L * A * E}{\pi}} \quad \text{Ec.12}$$

Sustituyendo con las menores dimensiones de la cascarilla que son:

Longitud (L) = 4 mm

Ancho (A) = 2 mm

Espesor (e) = 0.1 mm, por lo tanto:

$$\emptyset p \text{ min} = \sqrt[3]{\frac{6 * 4 \text{ mm} * 2 \text{ mm} * 0.1 \text{ mm}}{\pi}} = 1.1517 \text{ mm} = 0.0011517 \text{ m}$$

Considerando este dato obtenido, se tiene que:

$$V_o = \sqrt{0.33 * \frac{0.221 \text{ m} * 9.81 \text{ x } \frac{721 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \frac{0.002203 \text{ m}}{1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}}{0.00115 \text{ m}}} * \sqrt[4]{\frac{.002203}{0.221 \text{ m}}} = 9.06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Por otro lado, se tiene que la Velocidad mínima del aire se obtiene mediante la siguiente expresión, Marzahn (1990):

$$V_{amin} = 1.25 * V_o \quad \text{Ec.13}$$

$$V_{amin} = 1.25 * 9.06 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esto con el fin de comprobar que V_{amin} es menor a $V_a = 17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

2.4.3 Velocidad de la Cascarilla, Concentración Volumétrica y Total

Con la velocidad de sedimentación y la velocidad de aire en el ducto, la velocidad de la cascarilla, está determinada por la expresión a continuación. Esto nos indica una corrección para la velocidad efectiva en un sistema neumático. (Mills, 2004)

$$V_p = V_a * \left(1 - C * \frac{V_s}{V_a} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

V_p = Velocidad de la cascarilla ($\frac{m}{s}$)

V_a = Velocidad de aire en el ducto ($\frac{m}{s}$)

V_s = Velocidad de sedimentación ($\frac{m}{s}$)

C=Constante comprendida entre 0.4...0.5 se toma 0.45

$$V_p = 17.46 \frac{m}{s} * \left(1 - 0.45 * \frac{\frac{6.23m}{s}}{\frac{17.46m}{s}} \right) = 14.65 \frac{m}{s}$$

La concentración volumétrica es igual a:

$$C_v = \frac{1}{\frac{1 + V'_a * V_p}{V'_p * V_a}} \quad \text{Ec. 15}$$

V_p = Velocidad de la cascarilla ($\frac{m}{s}$)

V_a = Velocidad de aire en el ducto ($\frac{m}{s}$)

V'_a = Caudal de aire ($\frac{m^3}{s}$)

V'_p = Caudal de cascarilla a transportar ($\frac{m^3}{s}$)

$$C_v = \frac{1}{\frac{1 + 0.67 \frac{m^3}{s} * \frac{14.65m}{s}}{\frac{0.0005548m^3}{s} * \frac{17.46m}{s}}} = 0.0009$$

A su vez, la concentración total se calcula mediante:

$$C_t = \frac{1}{\frac{1 + m_a * \rho_p}{m_p * \rho}} \quad \text{Ec. 16}$$

$$C_t = \frac{1}{\frac{1 + \frac{0.80 \text{ kg}}{s} * \frac{721 \text{ kg}}{m^3}}{\frac{0.40 \text{ kg}}{s} * \frac{1.2 \text{ kg}}{m^3}}} =$$

$$C_t = 0.0008307$$

2.4.4 Número de Reynolds

El número de Reynolds del estado del flujo de la cascarilla de acuerdo a la velocidad del flujo es expresado según Mott, R. L, & Untener, J. A. (2015) de la siguiente manera:

$$Re_p = \frac{(V_a - V_p) \times \phi_p \times \rho}{\eta} \quad \text{Ec.17}$$

$$Re_p = \frac{(17.46 \frac{m}{s} - 14.65 \frac{m}{s}) \times 0.0022 m \times 1.2 \frac{kg}{m^3}}{0.00001849 kg \frac{s}{m}}$$

$$Re_p = 401.21$$

El coeficiente de resistencia está dado por:

$$0.5 < Re_p < 500$$

Re_p en flujo transitorio:

$$\zeta_p = \frac{18.5}{Re_p^{0.6}} \quad \text{Ec.18}$$

$$\zeta_p = \frac{18.5}{401.21^{0.6}} = 0.51$$

Se determina el Número de Reynolds en ductos con la siguiente Ec.:

$$Re = \frac{V_a \times \phi_d \times \rho}{\eta} \quad \text{Ec.19}$$

donde:

- V_a = Velocidad de aire en el ducto ($\frac{m}{s}$)
- η = viscosidad del fluido en el cual sedimenta la partícula ($kg \times \frac{s}{m}$)
- ρ = Densidad del aire ($\frac{kg}{m^3}$)
- ϕ_d = diámetro interno (m)

$$Re = \frac{17.46 \frac{m}{s} \times 0.221 m \times 1.2 \frac{kg}{m^3}}{0.00001849 kg \times \frac{s}{m}}$$

$$Re = 250,426$$

2.5 Pérdidas en el Ducto.

El Coeficiente de pérdida por resistencia del aire en el ducto está dado por:

$$\psi_r = \frac{0.185}{\sqrt[5]{Re}} \text{ para } Re > 500 \quad \text{Ec.20}$$

$$\psi_r = \frac{0.185}{\sqrt[5]{250,426}}$$

$$\psi_r = 0.015$$

Según Marzahn (1990), el coeficiente de pérdida por resistencia por rozamiento entre partículas y con pared del ducto ψ_s está dado por:

$$\Psi_s = f * \epsilon_p * C_t * \frac{\varnothing_d}{\varnothing_p} * \frac{V_a}{V_p} * \left(1 - \frac{V_p}{V_a}\right)^2 \quad \text{Ec. 21}$$

Se tiene que:

f =Es una constante comprendida entre 2.5...3.5, se toma un valor promedio $f=3$, por lo tanto:

$$\psi_s = 3 \times 0.51 \times 0.0008307 \times \left(\frac{0.221 \text{ m}}{0.0022 \text{ m}}\right) \times \left(\frac{14.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right) \times \left(1 - \frac{17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{14.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)^2$$

$$\psi_s = 0.004$$

- Pérdida de presión en codos a 45° ΔP_c

Se calcula el coeficiente de resistencia en codo por medio de: $\zeta_c = \zeta \times 45^\circ/90^\circ$ donde $\zeta=0.21$ en codo liso y con radio medio del codo igual a su diámetro, por lo tanto:

$$\zeta_c = 0.21 \times \frac{45^\circ}{90^\circ} = 0.105 \quad \text{Ec. 22}$$

Con este dato obtenido se procede a determinar la pérdida de presión en codos a 45° por medio de la siguiente expresión y asimismo Marzahn (1990) muestra la siguiente expresión para determinar este valor:

$$\Delta P_c = \zeta_c * \frac{\rho}{2} * V_a^2 \quad \text{Ec. 23}$$

$$\Delta P_c = 0.105 * \frac{1.2 \frac{kg}{m^3}}{2} * (17.46 \frac{m}{s})^2$$

$$\Delta P_c = 19.20 \text{ kg} \cdot \frac{m}{s^2} \text{ (Pa)}$$

2.6 Desaceleración de la Velocidad de la Cascarilla en Codo (1er Codo)

La velocidad de la cascarilla a la salida del primer codo está dada por una expresión empírica utilizada comúnmente en sistemas de transporte neumático, Marzahn (1990).

Mediante la siguiente Ecuación:

$$V_{po1} = V_p \times (f_c \times 180^\circ \times \sin \beta)^{0.6} \quad \text{Ec.24}$$

por lo tanto, se tiene que:

- r = radio interno del codo
- $\cos \beta = \frac{\text{radio interno del codo}}{\text{radio Externo del codo}}$
- $\beta = 70.7^\circ$ ángulo de desvío de cascarilla en codo con radio medio del codo igual a su diámetro
- $f_c = 0.9$ factor de influencia en el desvío de la cascarilla por la redondez del codo, donde, el ángulo del codo es $\frac{45^\circ}{\beta} (70.7^\circ) = 0.6$

$$V_{po1} = 14.65 \frac{m}{s} * (0.9 * 180^\circ * \frac{0.944}{\frac{\pi}{(70.7^\circ)}})^{0.6}$$

$$V_{po1} = 11.71 \frac{m}{s}$$

Se determina que la velocidad de la cascarilla a la entrada del ducto inclinado es igual a:

$$V_{po1} = 11.71 \frac{m}{s}$$

En dependencia del flujo del sistema se determina el factor “k” con número de Arquímedes:

$$Ar = 9 \dots 300,000, \text{ por lo que, } k = \frac{5.5}{Ar^{0.6}} \quad \text{Ec.25}$$

$$k = \frac{5.5}{(261,903)^{0.6}} = 0.00309$$

Asimismo, Marzahn (1990) nos describe como obtener las distintas velocidades relacionadas a los sistemas neumáticos, entre ellas están:

La velocidad de partículas de cascarilla en aglomeración, la cual corresponde a:

$$V_{sg} = v_s * (1 - C_v)^K \quad \text{Ec.26}$$

$$V_{sg} = 6.23 \frac{m}{s} * (1-0.009)^{0.00309}$$

$$V_{sg} = 6.23 \frac{m}{s}$$

La velocidad de la cascarilla en el ducto vertical es igual a:

$$V_{pv} = V_{p01} - V_{sg} \quad \text{Ec.27}$$

$$V_{pv} = 11.71 \frac{m}{s} - 6.23 \frac{m}{s}$$

$$V_{pv} = 5.48 \frac{m}{s}$$

La velocidad de cascarilla en un ducto inclinado obedece a la siguiente Ec.:

$$V_{pi} = V_{p01} * \cos^2 45^\circ + V_{pv} * \sin^2 45^\circ \quad \text{Ec.28}$$

donde: $\cos 45^\circ = 0.707$ y $\sin 45^\circ = 0.707$

$$V_{pi} = 11.71 \frac{m}{s} * (0.707)^2 + 5.48 \frac{m}{s} * (0.707)^2$$

$$V_{pi} = 8.47 \frac{m}{s}$$

Por otro lado, el coeficiente de resistencia por rozamiento de la cascarilla con las paredes del ducto horizontal Ψ_{ah} viene dado por la siguiente ecuación, la cual se define de correlaciones empíricas similares expresadas por (Mills, 2004) y comparadas con otros autores como (Marzahn ,1990).

$$\Psi_{ah} = 1.5 * \varepsilon_P * C_t * \frac{\theta_d}{\theta_a} * \frac{V_a}{V_p} * \left(1 - \frac{V_p}{V_a}\right)^2 \quad \text{Ec.29}$$

$$\Psi_{ah} = 1.5 * 0.51 * 0.0008307 * \frac{0.224 \text{ m}}{0.002203229 \text{ m}} * \frac{17.46 \frac{m}{s}}{14.65 \frac{m}{s}} * \left(1 - \frac{14.65 \frac{m}{s}}{17.46 \frac{m}{s}}\right)^2 = 0.002$$

El coeficiente de resistencia por rozamiento de la cascarilla con las paredes del ducto inclinado:

$$\Psi_a = \Psi_{ah} * \cos^2 45^\circ \quad \text{Ec.30}$$

$$\Psi_a = 0.002 * (0.707)^2 = 0.001$$

2.7 Coeficiente de Resistencia por Rozamiento, Pérdida de Presión en Ducto y

Desaceleración de la Velocidad de la Cascarilla

El Coeficiente de resistencia por rozamiento entre las partículas de cascarilla en ducto inclinado Ψ_t viene dado por:

$$\Psi_t = 1.5 * \varepsilon_p * C_t * \frac{\theta_d}{\theta_a} * \frac{V_a}{V_{pi}} * \left(1 - \frac{V_{pi}}{V_a}\right)^2 \quad \text{Ec. 31}$$

$$\Psi_t = 1.5 * 0.51 * 0.0008307 * \frac{0.224 \text{ m}}{0.0022032 \text{ m}} * \frac{17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{8.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}} * \left(1 - \frac{8.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)^2$$

$$\Psi_t = 0.035$$

Ahora bien, el ducto posee una inclinación de 45° y una altura de 3.3 mts. La Pérdida de presión en ducto inclinado (flujo ascendente) es, según Mills (2004):

$$\Delta P_i = (\Psi_r + \Psi_a + \Psi_t) * \frac{\rho}{2} * V_a^2 * \frac{L_i}{\phi_d} \quad (Pa) \quad \text{Ec.32}$$

donde, con una diferencia de altura de 3.3 mts a 45 grados de inclinación da una longitud

$$L_i = \frac{3.3 \text{ m}}{0.707} = 4.66 \text{ mts, con esto se tiene:}$$

$$\Delta P_i = (0.015 + 0.001 + 0.035) * \frac{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * (17.46 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * \frac{4.66 \text{ mts}}{0.224 \text{ m}}$$

$$\Delta P_i = 194.06 \text{ kg } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora bien, la desaceleración de la velocidad de cascarilla a la salida del segundo codo es definida por (Marzahn ,1990) de la siguiente manera, donde se tiene que:

$$V_{po2} = V_{pi} * (fc * 180^\circ * \text{sen}\beta)^{0.6} \quad \text{Ec. 33}$$

$$V_{po2} = V_{pi} * (fc * 180^\circ * \text{sen}\beta)^{0.6} \quad \text{Ángulo codo } \frac{45^\circ}{\beta} (70.7^\circ) = 0.6$$

$$V_{po2} = 8.47 \frac{m}{s} * (0.9 * 180^\circ * \frac{0.944}{\pi * 70.7})^{0.6}$$

$$V_{po2} = 6.80 \frac{m}{s}$$

2.8 Aceleración de la Cascarilla y Pérdida de Presión.

Marzahn (1990), define el recorrido (S) de la aceleración de la cascarilla en ducto horizontal después del codo hasta alcanzar la velocidad estable V_p de la siguiente forma:

$$S = \frac{3}{k} * \phi_p * \frac{\rho_p}{\rho} * \frac{V_a}{(V_a - V_p)} - \frac{V_a}{(V_a - V_{po2})} - \ln \left(\frac{(V_a - V_{po2})}{(V_a - V_p)} \right) \quad \text{Ec. 34}$$

Con $k = 0.0031$ obtenido en cálculos anteriores, se procede a calcular el factor K, mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{1}{(1 - Cv)^k} \quad \text{Ec.35}$$

$$K = \frac{1}{(1 - 0.0009)^{0.0031}} = 1.00$$

Con los datos completos, se procede a calcular el recorrido de la aceleración de la cascarilla:

$$S = \frac{3}{1} * 0.002203 * \frac{721 \frac{kg}{m^3}}{1.2 \frac{kg}{m^3}} * \left(\frac{17.46 \frac{m}{s}}{(17.46 \frac{m}{s} - 14.65 \frac{m}{s})} - \frac{17.46 \frac{m}{s}}{(17.46 \frac{m}{s} - 6.80 \frac{m}{s})} - \ln \left(\frac{(17.46 \frac{m}{s} - 6.80 \frac{m}{s})}{(17.46 \frac{m}{s} - 14.65 \frac{m}{s})} \right) \right)$$

$$S = 12.87 \text{ m}$$

La longitud del ducto horizontal corresponde a 40 m, de los cuales se restan 12.87 m perteneciente al recorrido de la aceleración, quedando una longitud de: $L_d = 27.13 \text{ m}$ para el

cálculo de ΔP que es la pérdida de presión en el ducto horizontal y las demás pérdidas hasta lograr una sumatoria de las mismas, Marzahn (1990) expone lo siguiente:

$$\Delta P_{hi} = (\Psi_r + \Psi_s) * \frac{\rho}{2} * V_a^2 * \frac{Ld}{\phi_d} \quad (PA) \quad Ec. 36$$

$$\Delta P_{hi} = 0.015 + 0.004 * \frac{1.2 \frac{kg}{m^3}}{2} * (17.46 \frac{m}{s})^2 * \frac{27.13 m}{0.224 m}$$

$$\Delta P_{hi} = 420.91 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

La pérdida de presión por aceleración de cascarilla en ducto horizontal después de su desaceleración en codo ΔP_a es igual a:

$$\Delta P_a = \mu * \rho * V_a * (V_p - V_{po}) \quad Ec.37$$

$$\Delta P_a = 0.5 * 1.2 \frac{kg}{m^3} * 17.46 \frac{m}{s} * (14.65 \frac{m}{s} - 11.71 \frac{m}{s})$$

$$\Delta P_a = 30.8 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

La suma de pérdidas de presión en el ducto horizontal:

$$\Delta P_h = \Delta P_{hi} + \Delta P_a \quad Ec.38$$

$$\Delta P_h = 420.91 \text{ kg } \frac{m}{s^2} + 30.8 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta P_h = 451.71 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

2.9 Resumen de Pérdidas de Presión (Después Del Venturi)

Finalmente se obtiene un resumen de las pérdidas de presión:

- Pérdida de presión en Ducto Horizontal $\Delta P_h = 451.71 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$
- Pérdida de presión en ducto inclinado (flujo ascendente) $\Delta P_i = 194.06 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$
- Pérdida de presión en codos a 45° (cantidad de codos= 2)
- $\Delta P_c = 2 * 19.20 \text{ kg } \frac{m}{s^2} = 38.4 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$
- Pérdida de presión en la salida del ducto:

$$\Delta P = V_a^2 \times \frac{\rho}{2} \quad \text{Ec.39}$$

$$\Delta P = (17.46 \frac{m}{s})^2 * \frac{1.2 \frac{kg}{m^3}}{2}$$

$$\Delta P = 182.91 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

2.9.1 Suma de Perdidas de Presión

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_h + \Delta P_i + \Delta P_c + \Delta P \quad \text{Ec. 40}$$

$$\Sigma \Delta P = 451.71 \text{ kg } \frac{m}{s^2} + 194.06 \text{ kg } \frac{m}{s^2} + 38.4 \text{ kg } \frac{m}{s^2} + 182.91 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

$$\Sigma \Delta P = 867.08 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$$

2.10 Cálculo Introdutor Venturi

En el diseño se usará un tubo Venturi, ya que es fundamental para controlar la velocidad y la presión del flujo de aire con cascarilla que entra al ciclón. El Venturi acelera el flujo al reducir el diámetro de la tubería, lo que genera una caída de presión que ayuda a mantener el material en movimiento y facilita la separación dentro del ciclón.

Es decir, la función principal es que la cascarilla siga una trayectoria estable hacia el ciclón, evitando acumulaciones, esto contribuye a que el transporte neumático funcione de forma continua y eficiente al combinar el flujo de los trillos.

Según White (2011) La velocidad en garganta Venturi (V_m) parte de la ecuación de Bernoulli para condiciones sin altura y flujo horizontal expresada de la siguiente forma:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho * V_a^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho * V_m^2 \quad \text{Ec.41}$$

despejando V_m de la Ecuación de Bernoulli:

$$V_m = \sqrt{V_a^2 + \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad \text{Ec.42}$$

✓ Presión delante Venturi (P_1) = $867.08 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$

- ✓ Presión en succión Venturi (P_2) = $-20 \text{ kg } \frac{m}{s^2}$
- ✓ Densidad del aire (ρ) = $1.2 \frac{kg}{m^3}$
- ✓ Velocidad del aire del ducto (V_a) = $17.46 \frac{m}{s}$
- ✓ Velocidad del material en el ducto (V_p) = $14.65 \frac{m}{s}$
- ✓ Relación material/aire (μ) = 0.5
- ✓ Coeficiente de pérdida en el difusor (ζ_d) = 0.13

$$V_m = \sqrt{(17.46 \frac{m}{s})^2 + \frac{2(867.08 \text{ kg } \frac{m}{s^2} - (20 \text{ kg } \frac{m}{s^2}))}{1.2 \frac{kg}{m^3}}} = 41.43 \frac{m}{s}$$

- Velocidad en garganta Venturi (V_m) = $41.68 \frac{m}{s}$

Ahora bien, el diámetro de la garganta de Venturi es igual a:

$$\varnothing_v = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_a}} \quad \text{Ec. 43}$$

$$\varnothing_v = \sqrt{\frac{4 * 0.67 \frac{m^3}{s}}{\pi * 41.43 \frac{m}{s}}}$$

$$\varnothing_v = 0.1434 \text{ m}$$

En este punto para el diseño del Venturi a utilizar se necesita calcular la longitud del tramo convergente el cual presenta una forma cónica, esto se obtiene mediante diseño geométrico basado en proporciones trigonométricas. Se implementa un ángulo de 18° , valor recomendado en diseños de Venturi estándar para generar aceleración sin provocar separación del flujo (Mott, R. L, & Untener, J. A. (2015).

$$L = \frac{D_1 - D_2}{2 \tan \varnothing} \quad \text{Ec.44}$$

Donde:

- L= Longitud del tramo convergente (m)

- D1=Diámetro de entrada (m): Diámetro de la tubería equivale a 9”.

$$1 \text{ pulgada} = 0.0254 \text{ m}$$

$$9 \text{ pulgadas} \frac{* 0.0254 \text{ m}}{1 \text{ pulgada}} = 0.2286 \text{ m} \quad \text{Ec. 45}$$

- D2= Diámetro de garganta (m)

- $\emptyset$ = Ángulo del cono respecto al eje

$$L = \frac{0.2286 \text{ m} - 0.1434 \text{ m}}{2 \tan (18^\circ)} \quad \text{Ec.46}$$

$$L = 0.1311 \text{ m}$$

Ahora bien, el tramo divergente se omite para mantener la velocidad del flujo, por lo que, solamente se usará una transición corta para adaptar la salida de la garganta a la tubería,

Se calcula el volumen de una tolva rectangular compuesta por una pirámide truncada (base rectangular) y un prisma rectangular.

Tolva del Diseño

Se fijan las medidas clave de la tolva: alturas de la pirámide y del prisma, y los lados de la boca superior y de la salida. Con eso se comprueba que la altura total es la suma de ambas alturas.

$$H_{total} = H_{piramidal} + H_P \quad \text{Ec. 47}$$

$$H_{piramidal} = 0.350 \text{ m}$$

$$H_P = 0.150 \text{ m}$$

$$H_{total} = 0.350 \text{ m} + 0.150 \text{ m}$$

$$H_{total} = 0.50 \text{ m}$$

Se determina el tamaño de la boca superior a partir de la salida, la altura piramidal y el ángulo de las paredes, en este caso 20° debido a condiciones presentadas, teniendo así:

$$S_{sup} = S_{inf} + 2 * H_f * \tan(\alpha) \quad \text{Ec. 48}$$

$$S_{sup} = 0.6 \text{ m} + 2 * 0.35 \text{ m} * \tan(20^\circ)$$

$$S_{top} = 0.8548 \text{ m}$$

Con estos valores se obtienen las áreas de la boca superior y de la salida, las cuales son las referencias para los volúmenes de la pirámide y del prisma.

$$A_{sup} = S_{sup}^2 = (0.8548 \text{ m})^2 = 0.73065 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. 49}$$

$$A_{sal} = S_{sal}^2 = (0.60 \text{ m})^2 = 0.36000 \text{ m}^2$$

Por otro lado, el volumen del rectangular se obtiene con la fórmula prismoidal estándar, válida para troncos de pirámide con secciones planas y paralelas.

$$V_{piramidal} = \frac{H_f}{3} * (A_{sup} + A_{sal} + \sqrt{A_{sup} * A_{sal}}) \quad \text{Ec. 50}$$

$$V_{piramidal} = \frac{0.35 \text{ m}}{3} * (0.73 \text{ m}^2 + 0.36 \text{ m}^2 + \sqrt{0.73 \text{ m}^2 * 0.36 \text{ m}^2})$$

$$V_{piramidal} = 0.18708 \text{ m}^3$$

Asimismo, el volumen del prisma se obtiene multiplicando el área de la boca superior por la altura del prisma, pues la sección es constante

$$V_{prisma} = A_{sup} * H_p \quad \text{Ec. 51}$$

$$V_{prisma} = 0.73 \text{ m}^2 * 0.15 \text{ m}$$

$$V_{prisma} = 0.10960 \, m^3$$

El volumen total a almacenar es la suma de:

$$V_{total} = V_{piramidal} * V_{prisma} \quad \text{Ec. 52}$$

$$V_{total} = 0.18708 \, m^3 + 0.10960 \, m^3$$

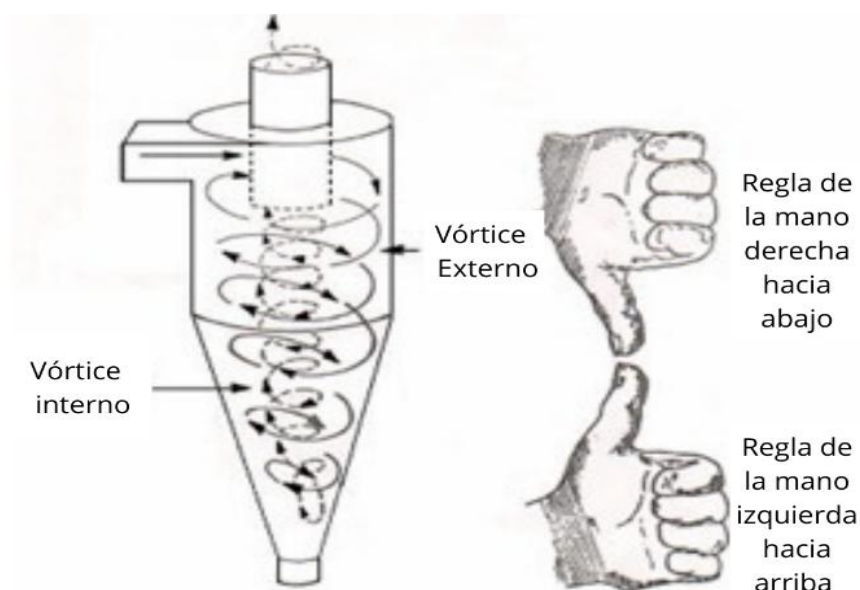
$$V_{total} = 0.297 \, m^3$$

2.11 Conceptos Generales De Ciclones

(Echeverri, 2006) señala que los ciclones son los encargados de remover el material transportado de la corriente gaseosa, es decir, los separa a través del principio de impactación inercial, el cual es generado por la fuerza centrífuga.

Figura 2.

Funcionamiento de un ciclón tangencial.



Nota. Recuperado de Diseño Óptimo de ciclones por Echeverri, C.A (2006), Revista Ingenierías Universidad de Medellín, p.124.

Para el diseño del ciclón que se utilizará se tienen los siguientes datos:

- Velocidad de entrada al ciclón = $17 \frac{m}{s}$
- Caudal de aire = $0.67 \frac{m^3}{s} = 2412 \frac{m^3}{h}$
- Densidad de aire = $1.2 \frac{kg}{m^3}$
- Carga de granza = $32 \frac{qq}{h}$
- Densidad de cascarilla = $721 \frac{kg}{m^3}$

2.11.1 Tipos de Ciclones

Ahora bien, los ciclones de entrada tangencial se clasifican debido a su eficiencia en 3 tipos: Convencionales, de alta eficiencia y alta capacidad esto se define por el volumen de remoción de partículas debido a su tamaño. que tiene cada uno. (Echeverri, 2006).

En la imagen que se muestra posteriormente se explica de una forma detallada, la eficiencia de cada ciclón debido al tamaño de la partícula:

Figura 3.

Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Nota. Recuperado de Diseño Óptimo de ciclones por Echeverri,C.A (2006), Revista Ingenierías Universidad de Medellín, p.125.

Teniendo en cuenta esto, se procede a seleccionar el tipo de ciclón adecuado en base al tamaño de la partícula, (cascarilla de arroz), la cual posee dimensiones mayores a 5 μm . En este caso, es recomendado un ciclón del tipo convencional debido a que no es polvo fino con lo que se está trabajando y para lo cual son indicados los otros tipos de ciclones.

Dentro de los ciclones del tipo convencional se tienen subdivisiones, explicadas en términos generales:

- Lapple: Tiene una eficiencia adecuada en materiales medianos a grandes como la cascarilla de arroz, avena, etc.
- Swift y Peterson: Son utilizados en aplicaciones industriales complejas
- Zenz: Es menos común que el de tipo Lapple, se utiliza cuando se requiere de mayor precisión en sistemas específicos.

Ahora bien, seleccionando un ciclón convencional del tipo Lapple se procede a calcular el diámetro de este y posteriormente las medidas del mismo en base a la siguiente tabla:

Figura 4.

Características de los ciclones convencionales.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

Nota. Recuperado de Diseño Óptimo de ciclones por Echeverri, C.A (2006), Revista Ingenierías Universidad de Medellín, p.126.

Se calcula el área en base a caudal y velocidad que entrará al ciclón:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{17 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.04 \text{ m}^2 \quad \text{Ec.53}$$

2.11.2 Especificaciones Del Ciclón Diseñado

En base a la información proporcionada en la figura 4, se obtiene:

$$\text{Altura de entrada: } a = 0.5 * DC$$

$$\text{Ancho de entrada: } b = 0.25 * DC$$

Se procede a calcular el diámetro del ciclón:

$$DC = \sqrt{\frac{A}{b * a}} = \quad \text{Ec.54}$$

$$DC = \sqrt{\frac{0.04 \text{ m}^2}{0.5 * 0.25}} = 0.57 \text{ m}$$

Sustituyendo se tiene:

- *Altura de entrada:*

$$a = 0.5 * DC = 0.5 * 0.57 \text{ m} = 0.29 \text{ m} \quad \text{Ec.55}$$

- *Ancho de entrada:*

$$b = 0.25 * DC = 0.25 * 0.57 \text{ m} = 0.1425 \text{ m} \quad \text{Ec.56}$$

- *Altura de salida:*

$$S = 0.625 * DC = 0.625 * 0.57 \text{ m} = 0.36 \text{ m} \quad \text{Ec.57}$$

- *Diámetro de salida:*

$$DS = 0.5 * DC = 0.5 * 0.57 \text{ m} = 0.29 \text{ m} \quad \text{Ec.58}$$

- Altura parte cilíndrica:

$$h = 2 * DC = 2 * 0.57 \text{ m} = 1.14 \text{ m} \quad \text{Ec.59}$$

- Altura parte cónica:

$$Z = 2 * DC = 2 * 0.57 \text{ m} = 1.14 \text{ m} \quad \text{Ec.60}$$

- Altura total del ciclón:

$$H = 4 * DC = 4 * 0.57 \text{ m} = 2.28 \text{ m} \quad \text{Ec.61}$$

- Diámetro de salida partículas:

$$B = 0.25 * DC = 0.25 * 0.57 \text{ m} = 0.1425 \text{ m} \quad \text{Ec.62}$$

- Factor de configuración = G = 402.88

- Número de vórtices = 6

(Echeverri, 2006) muestra en su estudio la fórmula que desarrollaron Shepherd y Lapple para calcular la caída de presión en el ciclón:

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * V_i^2 * N_h \text{ donde:} \quad \text{Ec.63}$$

ΔP = Caída de presión en el ciclón, Pa

ρ = Densidad del gas portador, $\frac{kg}{m^3}$

V_i = Velocidad de entrada del gas en el ciclón, $\frac{m}{s}$

NH = Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón, valor

recomendado entre 4 a 7 en dependencia de lo que se quiera obtener, conforme el valor es más alto, aumenta la caída de presión y el consumo energético, así como la eficiencia (EPA,1980). fg
Para este caso, se seleccionó valor de 5 debido a que se considera el consumo energético implicado.

$$\Delta P = \frac{1}{2} * 1.2 \frac{kg}{m^3} * (17 \frac{m}{s})^2 * 5 = 867 \text{ PA}$$

2.12 Cálculo del Volumen y Dimensiones de la Tolva

2.13 Selección del Ventilador

Teniendo en cuenta la caída de presión del ciclón se procede a realizar los cálculos pertinentes para la selección del ventilador que será utilizado en el diseño presentado

En sistemas de transporte neumático y separación de partículas, la correcta selección del tipo de ventilador es esencial para garantizar eficiencia, durabilidad y estabilidad del proceso. Para esto se tienen dos opciones de ventiladores comúnmente utilizados: radial (axial) y centrífugo, destacando las diferencias claves y justificando la elección del ventilador centrífugo para este diseño.

2.13.1 Ventilador Axial y Ventilador Centrífugo

Bastein, R. & Devine, R. (2005) mencionan las principales diferencias del ventilador axial y centrífugo, explicado brevemente de la siguiente forma:

El Ventilador axial impulsa el aire en la misma dirección del eje del rotor. Este tipo de ventilador es eficiente para mover grandes volúmenes de aire con baja resistencia. Sin embargo, posee poca capacidad para generar presión estática, lo que lo hace inadecuado para sistemas con ductos largos, pérdidas de carga elevadas o presencia de obstáculos.

Por otro lado, el ventilador centrífugo opera aspirando el aire axialmente hacia el centro del impulsor y expulsándolo radialmente hacia el exterior. Esta configuración permite generar una mayor presión estática, haciéndolo ideal para sistemas industriales con múltiples accesorios, tuberías extensas, y transporte de materiales sólidos en suspensión.

Por lo tanto, se ha optado por un ventilador centrífugo en este diseño debido a las siguientes razones:

- Genera mayor presión estática para vencer pérdidas de carga.
- Permite manejar aire con partículas sólidas como cascarilla de arroz.
- Presenta una mayor durabilidad en condiciones industriales exigentes.
- Ofrece una dirección del flujo adecuada para conectarse con ciclones y sistemas de separación.

2.13.2 Datos para seleccionar ventilador:

- N° de curvas: 2
- caudal de aire = $0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2412 \text{ m}^3/\text{h}$
- Pérdida de presión total = Presión del sistema + Presión del ciclón
- Pérdida de presión total (pérdida total del sistema) = $867.08 + 867 = 1734.08 \text{ PA}$

Con los datos obtenidos se procede con la selección del ventilador centrífugo de alta presión modelo AATZA 800 4KW 1650Rpm (std).

Según catálogo de CASALS Ventilación Air Industrial SLU, estos ventiladores están diseñados para cumplir las siguientes funciones:

- Procesos industriales, extracción o inyección localizada.
- Refrigeración de máquinas, enfriamiento de piezas.
- Transporte de aire polvoriento o con carga de materiales granulado incluso materiales filamentosos
- Aspiración después de filtros, separadores y ciclones.
- Transporte neumático
- Temperatura máxima de trabajo en continuo: aire transportado: 200°C, ambiente: 60°C

Figura 5.
Características del ventilador.

Ventilador

Caudal máx.	RPM	peso
3770 m³/h	1650rpm	247 Kg

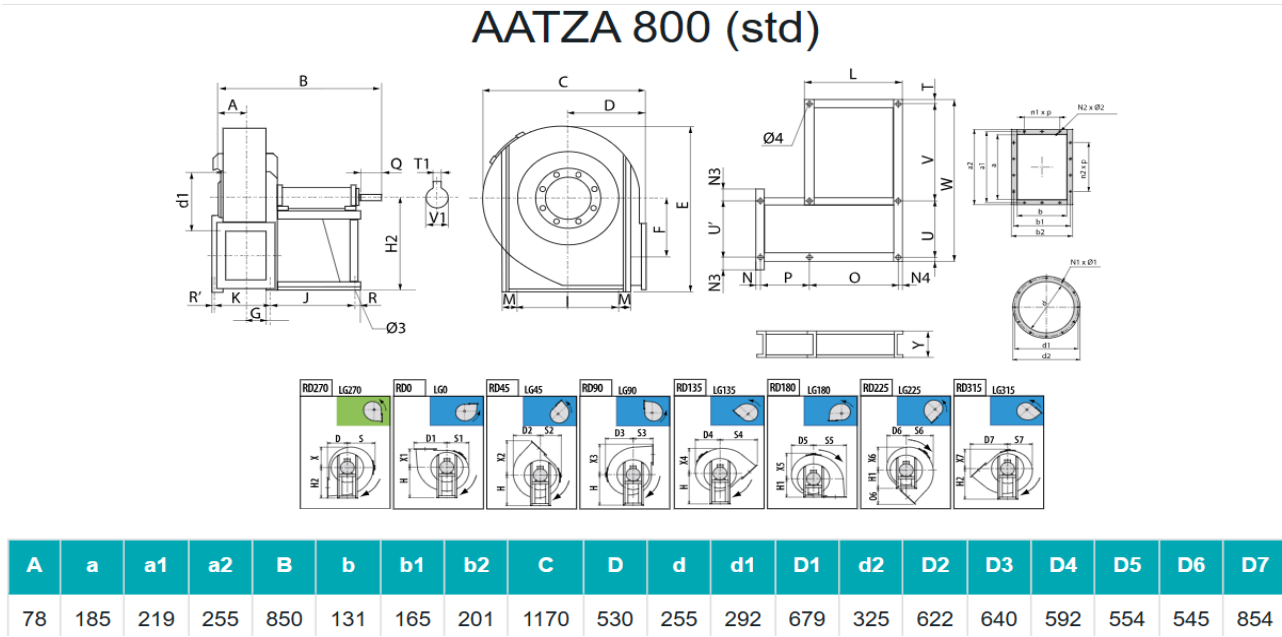
Motor

Potencia	Motor RPM	I max. 400 V	Tamaño	Peso	Eficiencia
4 kW	1450	9,1 A	112M	30 Kg	82 %

FP
0.77

Nota. Recuperado de Catálogo de ventiladores CASALS.

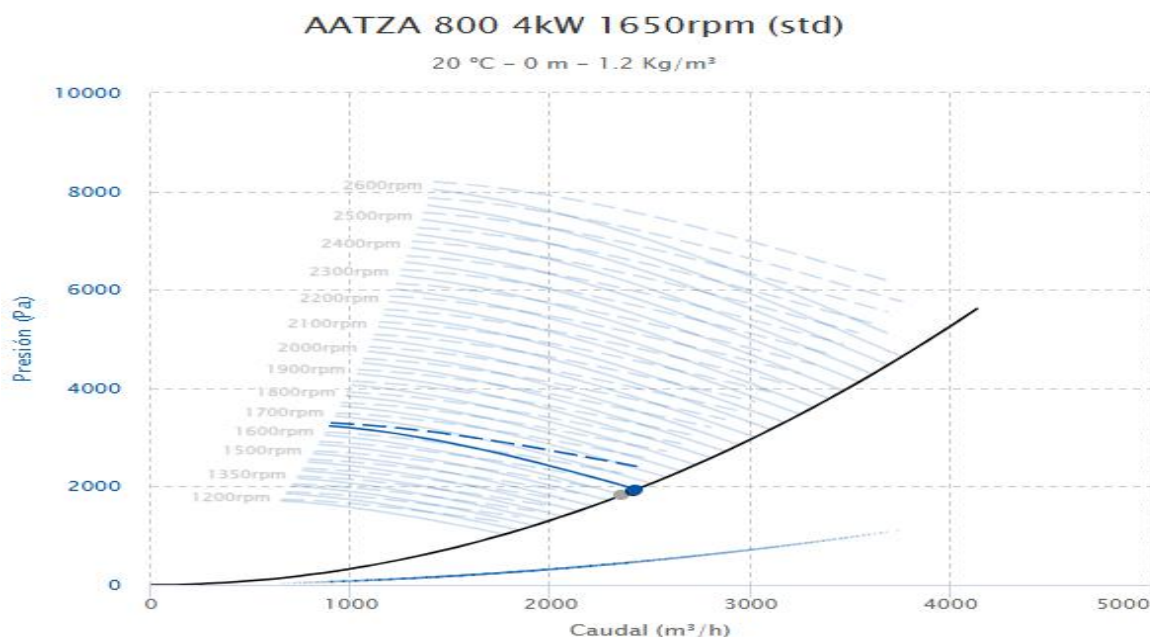
Figura 6.
Dimensiones del ventilador



Nota. Recuperado de Catálogo de ventiladores CASALS.

Figura 7.

Curva de trabajo Presión-Caudal.



Nota. Recuperado de Catálogo de ventiladores CASALS.

2.14 Automatización del Llenado

Luego que la cascarilla recorre la distancia indicada entra al ciclón y posteriormente a la tolva con el objetivo de llenar sacos para empaquetarlos y finalizar el proceso, el propósito de la automatización en el llenado consiste en servir de ayuda para reducir la interferencia del humano en el procedimiento.

Durante la visita de campo se nos indicó que en el lugar trabajan 6 personas en el proceso de llenado de sacos, por medio del uso de palas, esto indica un retraso significativo en la línea de producción de cascarilla de arroz, por este motivo, se necesita una alternativa que optimice el tiempo de realización de esta actividad.

Existen diferentes formas para automatizar este proceso, inicialmente se consideró el uso de PLC'S, la cual es una opción costosa y necesita que el operador sepa programar y manipular

el control, por lo que, en este diseño se considera el uso de una alternativa económica y de fácil uso.

2.14.1 Funcionamiento del llenado automatizado.

El funcionamiento en este punto del diseño será el siguiente, describiéndolo de forma general:

La tolva será la encargada de descargar el material (cascarilla de arroz), al final de ella estará ubicada una compuerta que se abrirá y cerrará con el uso de un pistón o botella neumática, la cual será alimentada por un compresor, este será manipulado a través de una electroválvula la cual recibirá un pulso en dos momentos, para cumplir esta función:

1. Cuando el operario ubique el saco vacío encima de una balanza digital, con la ayuda de un sensor capacitivo de proximidad se detectará la presencia del saco mandará la señal a un relé y a su vez este actuará sobre la electroválvula dando pase para que actúe el cilindro, abriendo la compuerta para el llenado.

2. Cuando la balanza alcance el peso indicado mandará la señal a un sensor de peso (indicador de peso) hacia un relé para cortar la energía de la electroválvula y cerrar la compuerta.

El funcionamiento de cada componente explicado brevemente es el siguiente:

Cilindro neumático doble efecto: Son dispositivos mecánicos que transforman energía potencial del aire en energía mecánica. Los cilindros de doble efecto actúan y/o se mueven en ambas direcciones con la misma fuerza.

Válvula biestable: Es un dispositivo encargado de controlar el caudal del gas, su funcionamiento consiste en la apertura o cierre de un orificio perteneciente al cuerpo de la válvula, accionado por un émbolo, el cual se mueve al energizar las bobinas.

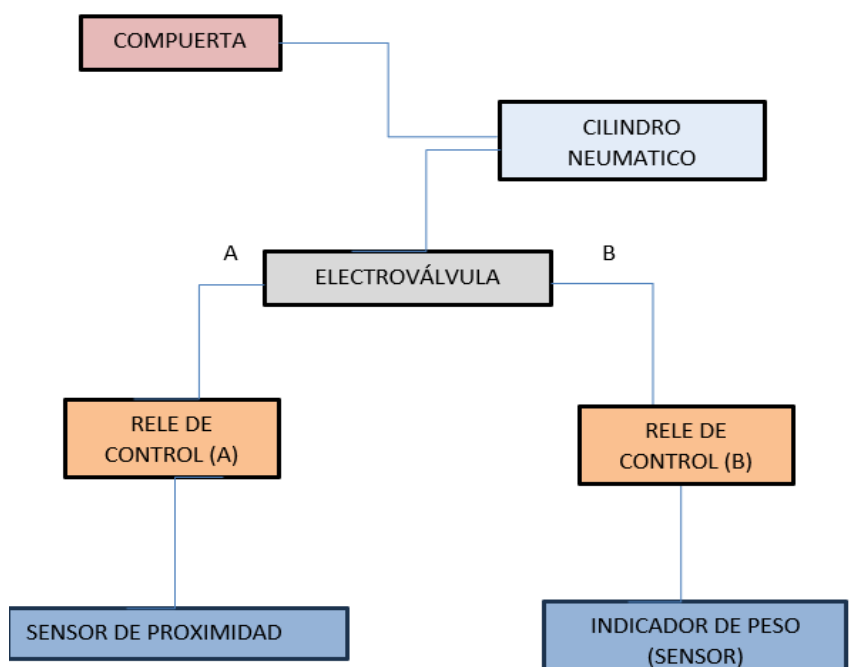
Sensor de proximidad Capacitivo: Es un dispositivo que detecta elementos que están cerca de él, convirtiendo magnitudes físicas en señales. Es apto para todo tipo de materiales, en este caso, es apto para detectar sacos utilizados en el llenado de granza.

Sensor de peso: Es un dispositivo que mide el peso de un objeto y la convierte en una señal. Son utilizados en básculas industriales para garantizar una medida exacta y confiable, en este caso será un indicador de peso, el cual es implementado como accesorio en las básculas industriales.

Relé de control: Es un dispositivo que realiza la función de un interruptor, permite el paso de la corriente cuando está abierto e impide el paso de la misma cuando está cerrado.

Figura 8.

Funcionamiento del llenado automatizado de granza de arroz.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Entonces, el funcionamiento detallado es el siguiente, terminando su recorrido la granza de arroz entra al ciclón, se descarga en la tolva.

Sistema en reposo: Sensor no detecta nada, Contacto del relé A (NA) está abierto, por lo tanto, no hay corriente hacia la válvula, la compuerta permanece cerrada.

Primera situación: Se coloca un saco, el sensor capacitivo (de proximidad) lo detecta, por lo tanto, el Relé A se activa provocando que su contacto (NA) se cierre, el Relé B mientras tanto, sigue con su contacto NC, provocando que ambos contactos en serie estén cerrados permitiendo el paso de corriente hacia la bobina A de la válvula, abriendo la compuerta y comienza el llenado.

Segunda situación: Se alcanza el peso requerido, el sensor de peso de la balanza envía una señal, cerrando el contacto NA del relé B y se abre el contacto NC del mismo, lo que provoca que se corte la corriente a la bobina A de la electroválvula, permitiendo el paso de corriente hacia la bobina B, provocando que el cilindro se retraiga y la compuerta se cierre, deteniendo el llenado.

Finalmente, se retira el saco, el sensor de proximidad y el relé A se desactivan, ambos contactos del relé vuelven a su estado original y dado que la válvula es biestable queda en la posición de cierre debido a que fue la última señal que recibió.

Tabla 2.

Resumen de funcionamiento del llenado automatizado.

CONTACTO	ESTADO CUANDO SE ACTIVA	FUNCION
NORMALMENTE ABIERTO, RELÉ A	CERRADO	PERMITE ABRIR COMPUERTA AL ACTIVAR BOBINA
NORMALMENTE CERRADO, RELÉ B	ABIERTO	BLOQUEA APERTURA CUANDO SE ALCANZA EL PESO
NORMALEMENTE ABIERTO, RELÉ B	CERRADO	CIERRA LA COMPUERTA AL ACTIVAR LA BOBINA B
NORMALMENTE CERRADO, RELÉ A	ABIERTO	EVITA QUE LA COMPUERTA SE CIERRE MIENTRAS SE LLENA EL SACO.

Nota: Elaboración propia.

2.14.2 Otras Consideraciones

Ahora bien, la granza es transportada de un punto inicial hasta una tolva donde se descarga el material cuyo diámetro de salida según diseño es 0.6m, debido a que se utilizará una

compuerta para el llenado, esta debe tener medidas aproximadas al saco a colocar para que el llenado sea más rápido y fluido.

Esta compuerta funcionará para abrir y cerrar el paso de la granza y desperdiciar lo menos posible el material.

- Área de la compuerta: $0.6 \text{ m} * 0.6 \text{ m} = 0.36 \text{ m}^2$
- P_1 , (presión del ducto) = 867.08 PA
- P_c , Caída de presión en el ciclón = 912 PA
- Q , Caudal volumétrico= $2412 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H_t = 0.50 \text{ m}$
- D , densidad de granza de arroz = $721 \text{ kg}/\text{m}^3$
- P , densidad de aire = $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$

Se procede a calcular la fuerza hidrostática ejercida por la cascarilla encima de la compuerta:

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A \quad \text{Ec.64}$$

- F : Fuerza hidrostática
- P : Densidad de la cascarilla de arroz
- H : Altura de la tolva
- A : Área de la compuerta

En este caso, el área de la compuerta tendrá las mismas dimensiones que posee la parte inferior de la tolva:

$$A = 0.6 \text{ m} * 0.6 \text{ m}$$

$$A = 0.36 \text{ m}^2$$

Sabiendo que la altura de la tolva será de: 0.50 m, se sustituyen valores teniendo así:

$$F = 721 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.5 m * 0.36 m^2$$

$$F = 1271.84 \frac{Kg*m}{s^2} (N)$$

Se agrega un factor de seguridad de 30 % y se tiene:

$$F = 1271.84 \frac{Kg*m}{s^2} (N) + 30 \%$$

$$F = 1653.4 N$$

Se procede a la selección del cilindro con las siguientes especificaciones según catálogo de proveedor:

- Marca y modelo: Baomain SC 63-700 Pt 3/8
- Diámetro: 63 mm
- Carrera: 700 mm

Figura 9.

Cilindro neumático doble efecto.



Nota: Recuperado de catálogo de proveedor Baomain.

Se presenta una carrera un poco mayor a la requerida por la compuerta con el fin de no comprometer el recorrido que realice al momento de cerrar y abrir.

Ahora bien, para la selección del compresor adecuado para alimentar este cilindro doble efecto se debe saber en primer lugar los requerimientos que se necesitan para poder cumplir con los ciclos de apertura y cierre de la compuerta:

Volumen del cilindro, equivalente a:

$$V = A * L \quad \text{Ec. 65}$$

Donde:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.063 \text{ m})^2}{4} = 0.003112 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. 66}$$

$$V = 0.003112 \text{ m}^2 * 0.7 \text{ m}$$

$$V = 0.0022 \text{ m}^3 \approx 2.2 \text{ L}$$

Esta cifra es equivalente a lo que consume el cilindro por una carrera de ida, al ser doble efecto (ida y vuelta):

$$V_t = V * 2 \quad \text{Ec. 67}$$

$$V_t = 2.2 \text{ L} + 2.2 \text{ L}$$

$$V_t = 4.4 \text{ L}$$

Con esto se selecciona compresor neumático con las siguientes especificaciones:

- Capacidad del tanque: 25 L

- Potencia máxima: 3 HP
- Presión máxima de operación: 116 psi
- Flujo de aire: 4.4 CFM @ 40 psi / 3.4 CFM @ 90 psi
- Nivel de ruido: 90 dBA máximo -Velocidad: 3,450 rpm
- Tipo: Monofásico

Figura 10.

Compresor de aire seleccionado



Nota: Recuperado de Catalogo de proveedor.

Ahora bien, el cilindro seleccionado irá conectado a una válvula biestable marca VPC con las siguientes especificaciones:

Corriente: 220VAC

Tipo: 5/2 Biestable con puerto 3/8

Presión de trabajo: 130PSI

Figura 11.

Válvula electromagnética bi estable,



Nota. Recuperado de catálogo de proveedor VPC.

Se necesitan dos rele de control que sirvan para dar paso a la corriente, para ello se tiene el Relé Finder 55.32 con las siguientes especificaciones:

- Tensión nominal/ Máx tensión de conmutación: 250/400 VAC
- Potencia nominal: 50HZ
- Contactos conmutados (8 pines): 10 Amp
- Consumo: 2.4 VA

Figura 12.

Relé Finder 55.32



Nota. Recuperado de catálogo de proveedor.

Ahora bien, para realizar la conexión del sensor de proximidad capacitivo hacia el relé se necesita una base de relé, según catálogo de fabricante se selecciona la base ideal para el relé:

Figura 13.

Base adecuada para relé 55.32



Módulo	Zócalos	Relé	Descripción	Montaje	Accesorios
99.02	94.P3	55.33	Zócalo con bornes push-in	montaje en panel o carril de 35 mm (EN 60715)	· Módulos de señalización y protección CEM · Puente · Módulos temporizados · Palanca de retención y extracción plástica
	94.P4	55.32	Para conexión rápida del conductor		
		55.34	- Bornes superiores - Contactos - Bornes inferiores - Bobina		

Nota. Recuperado de catálogo de proveedor.

Por último, se necesitan los elementos capaces de activar y controlar el proceso para ello se necesitan:

1. Sensor de proximidad capacitivo: Será el encargado de activar el proceso (abre compuerta), con esta señal se inicia el ciclo.
2. Plataforma de pesaje con indicador de peso: Se encarga de detener el vaciado a través de la señal de peso alcanzado.

Ahora bien, para detectar el saco y empezar el proceso se seleccionó el sensor de proximidad capacitivo Baomain, que es compatible con el relé Finder 55.32, cumple con las siguientes especificaciones:

Modelo: LJC18A3-B-J/EZ

Objeto de detección: metal o material no metálico

Voltaje de alimentación: CA 90-250

Salida de corriente: 400 mA

La plataforma de pesaje Vevor TCS-300 A5-B fue seleccionada para este diseño, debido a que se necesita una báscula sin indicador de peso con el objetivo de integrar uno que posea salida a relé, tiene capacidad de 660 libras.

Figura 14.

Plataforma de pesaje Vevor TCS-300 A5-B.



Nota. Recuperado de catálogo de proveedor.

Ahora bien, a esta plataforma se le debe adaptar un indicador de pesaje, con el objetivo de utilizar la conexión de salida a relé que algunos modelos poseen, como es el caso del indicador de pesaje JADEVER JWI-3000W, el cual es compatible con la plataforma de pesaje dado que ambos utilizan celdas de carga de 350 ohm.

Figura 15.

Plataforma de pesaje Vevor TCS-300 A5-B.



Nota. Recuperado de catálogo de proveedor.

Capítulo 3. Comparación de Procesos

Es necesario realizar una correcta comparación del proceso para evaluar la viabilidad del sistema es por esto que a continuación se presentan las características de los dos procesos involucrados.

3.1 Proceso Manual.

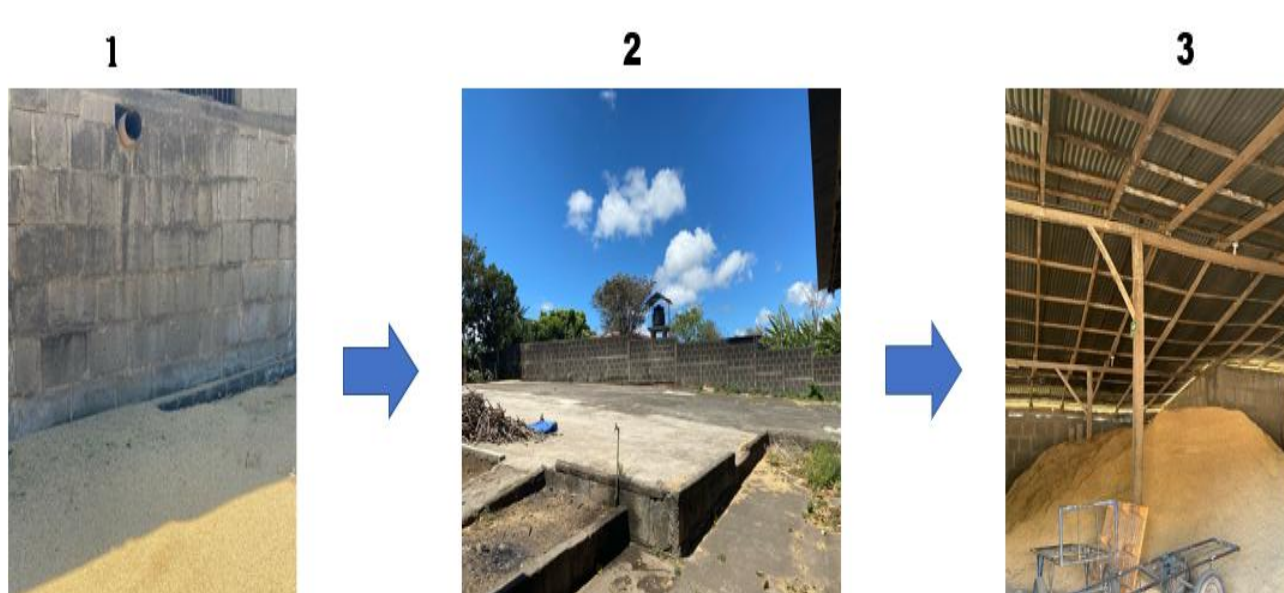
Para entender cómo funciona el proceso manual actualmente en los trillos de Jinotepe, Carazo se presenta la descripción posteriormente.

La cascarilla de arroz es expulsada hacia el aire libre a un campo detrás del trillo, una vez se acumule en cantidades, 6 personas son las encargadas de transportar la granza de un lugar a otro con una distancia de 40mts. Estas 6 personas deben completar el proceso de:

1. Reunir la granza, dado que, la cascarilla es expulsada por un tubo y se dispersa por el viento.
2. Palear para llenar carretillas y mover el producto a un lugar determinado.
3. Llenar los sacos en el lugar donde se descarga la granza que mueven en carretillas, para su venta posteriormente.

Figura 16.

Proceso manual de llenado de granza de arroz.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Tiempo del Proceso Manual.

Este proceso manual lleva en promedio 3 horas para 32 qq de cascarilla de arroz según información proporcionada por encargados de los trillos, el proceso se desarrolla simultáneamente de la siguiente manera:

Tabla 3.

Tiempo distribuido en el proceso de llenado manual.

ITEM	DESCRIPCION	TIEMPO
1	Barrer y juntar la granza dispersa 2 personas	2 hrs, 45 minutos
2	Llenar carretillas para transportarlas 2 personas	40-50 minutos (se realiza al mismo tiempo que el barrido)
3	Mover las carretillas hacia el lugar de llenado de sacos 2 personas	1 hra (se realiza en conjunto con el llenado de carretillas y el barrido)
4	Pausas	10 min

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Tiempo del Proceso del Sistema Neumático

Por otro lado, con el sistema neumático, el tiempo de duración para realizar este proceso se reduce significativamente, a continuación, se determina el tiempo que conlleva transportar la misma cantidad de granza de arroz a 40mts.

Se sabe que el flujo másico de la cascarilla a transportar es:

$$\dot{m}_p = \frac{0.40 \text{ kg}}{\text{s}} \text{ obtenido de la Ec.5}$$

La cantidad a transportar, distancia y velocidad en el ducto:

$$\bullet \text{Ctd} = 32 \text{ qq/h} = 1451.5 \text{ Kg/h}$$

- $d = 40\text{mts}$

- $V = 17\text{m/s}$

El tiempo total de transporte de una partícula está dado por:

$$t = \frac{d}{v} = \quad \text{Ec.68}$$

$$t = \frac{40\text{mts}}{17\text{mts/s}} = 2.35 \text{ s}$$

Este es el tiempo que dilata 1 partícula en recorrer la distancia requerida.

El tiempo para 1451.5 kg viene dado por:

$$t = \frac{\text{masa total}}{\text{mp}} \quad \text{Ec.69}$$

$$t = \frac{1451.5 \text{ kg}}{0.40\text{kg/s}} = 3628,75 \text{ segundos} = 1.008 \text{ hrs}$$

En conclusión, la diferencia de tiempos es significativa, puesto que con el sistema de neumático en teoría se logrará reducir al menos 02 horas en comparación con el proceso manual que implica 03 horas aproximadamente.

3.3 Costos de Proceso Manual con Mano de Obra.

Los costos del proceso manual son los siguientes, según información proporcionada por la empresa:

- 5 personas ganan 5950,02C\$ mensuales
- 1 persona (encargado del grupo) gana 6300 C\$

Esto significa que al año se realiza un gasto de:

$$5 \text{ personas} \times 5950,02\text{C\$} \times 12 = 357,001.2\text{C\$}$$

$$1 \text{ persona} \times 6300\text{C\$} \times 12 = 75,600\text{C\$}$$

En total el gasto anual en personal para realizar el proceso manual es de:

$$357,001.2\text{C\$} + 75600\text{C\$} = 432,601.2 \text{ C\$}$$

3.4 Costos Aproximados de Adquisición e Inversión:

En comparación, el proceso de transporte neumático presenta los siguientes gastos iniciales de adquisición:

1. Materiales a utilizar:

1.1 Láminas lisas de Hierro negro de 1/8"x 4' x 10'

Las láminas serán utilizadas para realizar la tolva y los ciclones, la tolva tiene como área: 1.09 m² obtenido mediante cálculos anteriores.

La lámina a utilizar en este diseño tiene las siguientes medidas: 1/8"x4'x10' en metros es igual a 0.003175mts*1.2192mts*3.048mts, por lo tanto, el área de la lámina es:

$$A_l = \text{base de la lámina} * \text{altura de la lámina} \quad \text{Ec.70}$$

$$A_l = 1.2192\text{mts} * 3.048\text{mts} = 3.72 \text{ m}^2$$

- La cantidad de láminas a utilizar será:

$$L_T = \frac{1.09 \text{ m}^2}{3.72 \text{ m}^2} = 0.3 \text{ aproximadamente 1 lámina.} \quad \text{Ec.71}$$

Para los ciclones se determina el área de igual forma, para posteriormente determinar el número de láminas a utilizar:

- Área de la superficie lateral del cilindro:

$$A_{cc} = \pi * D * h \text{ donde:} \quad \text{Ec. 72}$$

- D = Diámetro del ciclón
- h = Altura parte cilíndrica

$$A_{\text{cuerpo/cilindro}} = \pi * 0.57 \text{ m} * 1.14 \text{ m} = 2.04 \text{ m}^2$$

- La generatriz del cono del ciclón es igual a

$$l_c = \sqrt{(r_{\text{ciclón}} - r_{\text{salida ciclón}})^2 + h_c^2} \quad \text{Ec.73}$$

$$l_c = \sqrt{(0.285 - 0.07125)^2 + (1.14\text{mts})^2} = 1.16 \text{ m}$$

- El área del cono del ciclón viene dada por:

$$A_{\text{cono}} = \pi * (r_{\text{ciclón}} + r_{\text{salida ciclón}}) * l_c \quad \text{Ec.74}$$

$$A_{\text{cono}} = \pi * (0.285 \text{ m} + 0.07125 \text{ m}) * 1.162 \text{ m} = 1.30 \text{ m}^2$$

- El área total del ciclón es igual a:

$$A_t = A_{\text{cuerpo/cilindro}} + A_{\text{cono}} \quad \text{Ec.75}$$

$$A_t = 2.04 \text{ m}^2 + 1.30 \text{ m}^2 = 3.34 \text{ m}^2$$

- El total de láminas a utilizar, tomando en cuenta la Ec. 71 es:

$$L_T = \frac{3.34 \text{ m}^2}{3.72 \text{ m}^2} = 0.9 * 2 = 1.8 \text{ láminas al ser 2 ciclones, por lo tanto, se}$$

necesitarán 2 láminas.

1.2 Tubos de hierro negro de 9 pulg.

Para el diseño propuesto se utilizarán tubos de acero negro con las siguientes especificaciones:

Diámetro nominal = 0.2032mts

Longitud aprox = 6 mts

Cedula 40

Ahora bien, se necesita cubrir una distancia de 40 metros aproximadamente por lo que se determinan cuántos tubos se necesitarán:

$$\text{Cantidad de tubos} = \frac{40 \text{ m}}{6 \text{ m}} = 6.67 \text{ Por lo tanto, se necesitarán aproximadamente 7 tubos.}$$

1.3 Tubos usados en soportes.

Para los soportes del diseño serán utilizados tubos cuadrados de hierro negro de 2" x 2" x 6 m de largo, estos soportes serán colocados cada 3 m cubriendo una distancia de 24 m según diseño de forma horizontal y 3.3 m de altura, es decir cada tubo será soportado por 3 soportes.

Con esto se tiene:

4 tubos de 6 m son utilizados para cubrir una distancia de 24 m, si cada tubo tiene 3 soportes equivaldría a 12 tubos de 2”

El área restante debe cubrir una altura de 0.3 m cubriendo una distancia de aproximadamente 16 m para los cuales se utilizarán 2 tubos, teniendo un total de 14 tubos.

Tabla 4.

Costos de inversión inicial en base a los materiales y mano de obra necesaria para el diseño.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio final
4 unidades	Lámina lisa de hierro negro 1/8”x4’x10’	NIO 4,639.80	NIO 18,559.20
7 unidades	Tubos de hierro negro	NIO 14,272.75	NIO 99,909.25
20 lbs	Electrodo para soldadura de 1/8”	NIO 70.00	NIO 1,400.00
1 unidad	Ventilador centrifugo	NIO 130,000.00	NIO 130,000.00
1 unidad	cilindro neumático	NIO 6,670.00	NIO 6,670.00
2 unidades	Relés	NIO 296.91	NIO 593.60
1 unidad	Base para relé	NIO 243,022.00	NIO 506.04
1 unidad	Sensor de proximidad	NIO 370.50	NIO 370.50
1 unidad	Sensor/indicador de peso	NIO 2,040.50	NIO 2,040.50
1 unidad	Bascula de peso	NIO 2,671.20	NIO 2,671.20
1 unidad	Válvula electromagnética bi estable	NIO 2,226.80	NIO 2,226.80
1 unidad	Compresor neumático	NIO 7,000.00	NIO 7,000.00

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio final
Gastos de mano de obra (2 personas)		NIO 15,000.00	NIO 20,000.00
14 unidades	Tubo de 3" x 3"	NIO 1,508.64	NIO 21,120.96
TOTAL			NIO 313,068.05

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Costos de Consumo Energético

Al saber que el compresor neumático es de 0.75 KW y será utilizado durante 1 hora, se calcula:

- Consumo diario:

$$C_d = 0.75 \text{ Kw} * 1 \text{ hr} = 0.75 \text{ Kwh} \quad \text{Ec.76}$$

- Por otro lado, el consumo mensual es:

$$C_m = 0.75 \text{ kwh} * 30 \text{ días} = 22.5 \text{ Kwh} \quad \text{Ec.77}$$

Precio aproximado 8-9 C\$ el Kwh (valor promedio 8.5C\$), por lo tanto:

- Costo estimado por mes del compresor es:

$$C_{\text{compresor}} = 8.5 \text{ C\$} * 22.5 \text{ Kwh} = \underline{\underline{191.25 \text{ C\$}}} \quad \text{Ec.78}$$

Se procede con los mismos cálculos para el ventilador:

- Consumo diario:

$$C_d = 4 \text{ Kw} * 1 \text{ hr} = 4 \text{ kwh} \quad \text{Usando Ec.79}$$

- Consumo mensual:

$$C_m = 4 \text{ Kwh} * 30 \text{ días} = 120 \text{ Kwh} \quad \text{Usando Ec.80}$$

- Costo estimado por mes del ventilador:

$$C_{\text{ventilador}} = 8.5 \text{ C\$} * 120 \text{ Kwh} = \underline{\underline{1020 \text{ C\$ al mes}}} \quad \text{Usando Ec.81}$$

Ahora bien, este es un aproximado. En total al mes se gastará aproximadamente 1500 C\$ en energía eléctrica. En comparación con el pago que se realiza a los trabajadores mensualmente es una disminución considerable.

Se sabe que el consumo anual por pago de trabajadores es de: 432,601.2 C\$ para el proceso neumático será aproximadamente de:

- $1500\text{C\$} \times 12 = 18000\text{C\$}$

Suponiendo que quedarán trabajando 2 personas:

$$5950,02 \text{ C\$ mensuales} * 2 * 12 = 142,800.48 \text{ C\$}$$

El costo estimado de operación del proceso automatizado es de 160,800.48 C\$ frente a un 432,601.2 C\$ del costo manual para realizar la misma función, con una diferencia de 271,800.72 C\$ lo que significa una gran ventaja económica para la empresa.

3.6 Cálculo de Soportes

Material a soportar:

- Tubo de 9 “
- Hierro negro
- 1/8” de espesor
- Peso de 119.8 kg
- 6 m de largo
- Densidad del material dentro del tubo (cascarilla): $721 \frac{kg}{m^3}$

Material del soporte:

- Tubo cuadrado de 2“ $\approx 0.0508 \text{ m}$
- Espesor: 0.0016 m
- Altura requerida: 3.3 m
- Densidad del material del tubo de soporte $7850 \frac{kg}{m^3}$
- $F_d = 2$ Asumiendo carga estática
- $E = 210 \times 10^9 \text{ Pa}$

En primer lugar, se debe obtener las condiciones del tubo a soportar, se sabe que:

- $\varnothing$ interno = 0.221 m
- $\varnothing$ externo = 0.233 m
- espesor = 0.000478 m

$$A_{int} = \frac{\pi}{4} D_{int}^2 \quad \text{Ec.82}$$

$$A_{int} = \frac{\pi}{4} (0.221 \text{ m})^2$$

$$A_{int} = 0.038 \text{ m}^2$$

Ahora bien, suponiendo que el tubo estará lleno (caso más crítico) se tiene:

- Volumen de la cascarilla = A * Longitud entre cada soporte Ec.83
- Volumen de la cascarilla = $0.038 \text{ m}^2 * 3 \text{ m}$
- Volumen de la cascarilla = 0.114 m^3
- Masa de la cascarilla = v * ρ Ec.84
- Masa de la cascarilla = $0.114 \text{ m}^3 * 721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Masa de la cascarilla = 82.194 kg

Ahora bien, la masa del ducto (solo pared de acero) en 3 m, utilizando la Ec. 83 y Ec. 84:

- Volumen de la pared = A * Longitud entre cada soporte
- Área de la pared = $A = \frac{\pi}{4} D_{ext}^2 - D_{int}^2$ Ec. 85
- Área de la pared = $A = \frac{\pi}{4} (0.233 \text{ m})^2 - (0.221 \text{ m})^2$
- Área de la pared = 0.00427 m^2
- Volumen de la pared = A * Longitud entre cada soporte
- Volumen de la pared = $0.00427 \text{ m}^2 * 3 \text{ m}$
- Volumen de la pared = 0.013 m^3
- Masa de la pared = v * ρ

- Masa de la pared = $0.013 \text{ m}^3 * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Masa de la pared = 102.05 kg

La masa total es la sumatoria de 82.194 kg más 102.05 kg lo que da como resultado: 184.24 kg, los cuales fueron supuestos cada 3 m.

El peso total será igual a:

- $W = m * g$ Ec.86
- $W = 184.24 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- $W = 1805.6 \text{ N}$

Ahora bien, estos soportes serán colocados al inicio, mitad y final de cada tubo de 6 m, tendrán forma de “T”, la parte horizontal medirá 0.60 m, estarán empotrados al suelo, con “pie de amigo” (soporte en ángulo) en cada lado del tubo central.

Por otro lado, se obtiene la carga crítica la cual es la carga máxima que un soporte puede resistir antes del pandeo (Gere & Timoshenko, 1984). Para obtener los datos relacionados a los soportes se siguen pautas brindadas por Gere & Timoshenko:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad \text{Ec.87}$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica (N)

E = Módulo de elasticidad del material (Pa) = $210 \times 10^9 \text{ Pa}$

I = Momento de Inercia de la sección (m^3)

L = Longitud (m)

K = Factor de longitud efectiva según las condiciones de apoyo, en este caso: 2

En primer lugar, se obtiene la longitud efectiva (Le):

$$L_e = K * L \quad \text{Ec. 88}$$

$$L_e = 2 * 3.3 \text{ m}$$

$$L_e = 6.6 \text{ m}$$

Para el momento de Inercia para tubo cuadrado:

$$I = \frac{(b^4 - (b-2t)^4)}{12} \quad \text{Ec.89}$$

$$I = \frac{((0.0508 \text{ m})^4 - (0.0508 \text{ m} - 2(0.0016 \text{ m}))^4)}{12}$$

$$I = \frac{(6.68 \times 10^{-6} \text{ m}^4 - (0.0476 \text{ m})^4)}{12}$$

$$I = \frac{1.54 \times 10^{-6} \text{ m}^4}{12}$$

$$I = 1.28 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Obtenido este dato, se procede a implementar la ecuación de la carga crítica (Ec. 87)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 210 \times 10^9 \text{ Pa} * 1.28 \times 10^{-7} \text{ m}^4}{(6.6 \text{ m})^2}$$

$$P_{cr} = 5800.32 \text{ N}$$

Ahora bien, el factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia permisible de un elemento y la carga real aplicada sobre él (Shigley et al., 2015)

$$FS = \frac{P_{cr}}{W} = \frac{5800.32 \text{ N}}{1805.6 \text{ N}} = 3.21 \text{ Ec.88}$$

Esto indica que los soportes poseen una dimensión adecuada para resistir la carga aplicada sobre ellos.

Conclusiones

En el presente trabajo se cumplieron los diferentes objetivos planteados. Se consideró que el diseño propuesto será capaz de transportar la cascarilla de arroz desde la fuente de alimentación hasta los puntos de llenado y embalaje de los sacos, cumpliendo con el objetivo general de optimizar el manejo del material.

A través del desarrollo de los distintos cálculos técnicos necesarios correspondientes, considerando diferentes variables como el caudal de aire requerido, diámetro del ducto, características del material entre otras, fue posible la selección y dimensionamiento adecuado de los componentes del sistema, tales como ventiladores, ciclones, Venturi etc, los cuales son compatibles con los requerimientos del proceso y con las propiedades físicas de la cascarilla de arroz que en este caso es el material que será transportado.

La comparación entre el proceso manual y el proceso automatizado demostró que existe mejora significativa en términos de tiempo de operación y reducción del esfuerzo físico requerido por el personal. La automatización podrá servir de ayuda para realizar las mismas tareas en menor tiempo, optimizando los recursos humanos disponibles.

Según la comparación de procesos, a pesar de que la implementación del sistema automatizado representó una inversión inicial considerable, los beneficios obtenidos posteriormente en términos de reducción de gastos, esfuerzo físico menor y un mayor control del proceso justificaron dicho costo. A largo plazo puede contribuir a la sostenibilidad operativa del sistema, provocando un retorno favorable sobre la inversión.

Finalmente, como resultado de este trabajo se concluye que el sistema neumático para el transporte, llenado automatizado y embalaje de granza de arroz fue una solución viable, escalable y de un valor adquisitivo relativamente bajo en comparación con otras alternativas,

ideal para pequeñas agroindustrias. Su diseño modular y adaptable permitirá su implementación progresiva según las capacidades de cada trillo.

Recomendaciones

En caso de implementarse el sistema, es fundamental ofrecer capacitaciones al personal que labora en los trillos referente al manejo de sensores, válvulas, y mantenimiento básico del sistema. Esto garantiza una operación segura y eficiente del sistema y minimiza errores que se puedan presentar.

Para un buen funcionamiento y vida útil prolongada de este diseño se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo periódico, para componentes como el ventilador, compresor, válvula, sensores, con el fin de evitar fallas imprevistas y reducir costos por fallas mayores.

A la vez, si se concreta la implementación de esta propuesta, se debe monitorear el comportamiento del material y ajustar cuando sea necesario el sistema para asegurar un flujo constante y eficiente del material. Se debe realizar pruebas adicionales que permitan optimizar el diseño del sistema neumático.

Finalmente, una alternativa para este trabajo es explorar la aplicación del diseño con otros materiales agrícolas similares a la granza de arroz, como la cáscara de maní, granza de maíz, aserrín etc, con el fin de evaluar su adaptabilidad con otros productos y contribuir al desarrollo del sector agrícola en Nicaragua.

Referencias Bibliográficas.

- Aliaga, A. (2017). *Evaluación de ceniza de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento Portland tipo I*, Trujillo 2017.Trujillo. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13124/Aliaga%20Angulo%2c%20Agut%3%adn%20Junior.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bastein, R. & Devine, R. (2005). *Fan Engineering: An Engineer's Handbook on Fans and Their Applications*. Buffalo Forge Company, 9ª edición
- Bravo, B. (2008). Globalización y desarrollo económico: algunas consideraciones sobre la incidencia en el sector. *Globalización y desarrollo económico: algunas consideraciones sobre la incidencia en et sector*. Universidad de Connecticut, Storrs, CT, EE.UU., Connecticut. Obtenido de <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v36n1/art02.pdf>
- Castañeda, J., & Diaz, J. (2015). *Diseño y simulación de un sistema automático para cargue de una tolva*. Pereira.
- Echeverri, C. (2006) *Diseño óptimo de ciclones*. Universidad de Medellín, Colombia. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/750/75050911.pdf>
- Gil Pérez, C. (2018). *Automatización industrial: Control y supervisión*. Editorial Paraninfo.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. D.F, México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

- Lucio, A., & Romario, J. (2023). *Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladobra*. Nuevo chimbote.
- Marzahn, J. (1990). *Manuscrito del cálculo y diseño de instalaciones del transporte neumático*. Managua.
- Mills, D. (2004). *Pneumatic conveying design guide*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Applied Fluid Mechanics* (7^a ed.). Pearson Education.
- Quiceno, D., & Mosquera, M. (2010). *Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible*. Universidad autónoma de Occidente, Santiago De Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/1327/TME00462.p?sequence=1>
- Robinson, D., Torres, D., & Vilchez, H. (2022). *Uso sostenible de la cascarilla de arroz para productos de valor añadido*. El Higo, Revista de Ciencia y Tecnología, 2-27. Obtenido de <https://revistas.uni.edu.ni/index.php/Higo/article/view/463/447>
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2015). *Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Timoshenko, S. P., & Gere, J. M. (1991). *Mecánica de materiales* (4.^a ed.). Limusa.
- Tosun, I (2007). *Modelado de Fenómenos de transporte. Un enfoque Conceptual*. Segunda Edición.
- Zapata, M., Topón Visarrea, L., & Tipán, E. (2021). *Fundamentos de automatización y redes industriales*. Quito-Ecuador: Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito, Ecuador.

El 19 Digital. (05 de Octubre de 2023). *Este es el comportamiento de la producción de arroz de riego y seco en el invierno 2023*. Obtenido de <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:145285-este-es-el-comportamiento-de-la-produccion-de-arroz-de-riego-y-seco-en-el-invierno-2023>

ANEXOS

Imagen 1. Plano detallado del sistema para el transporte. Fuente: Elaboración propia

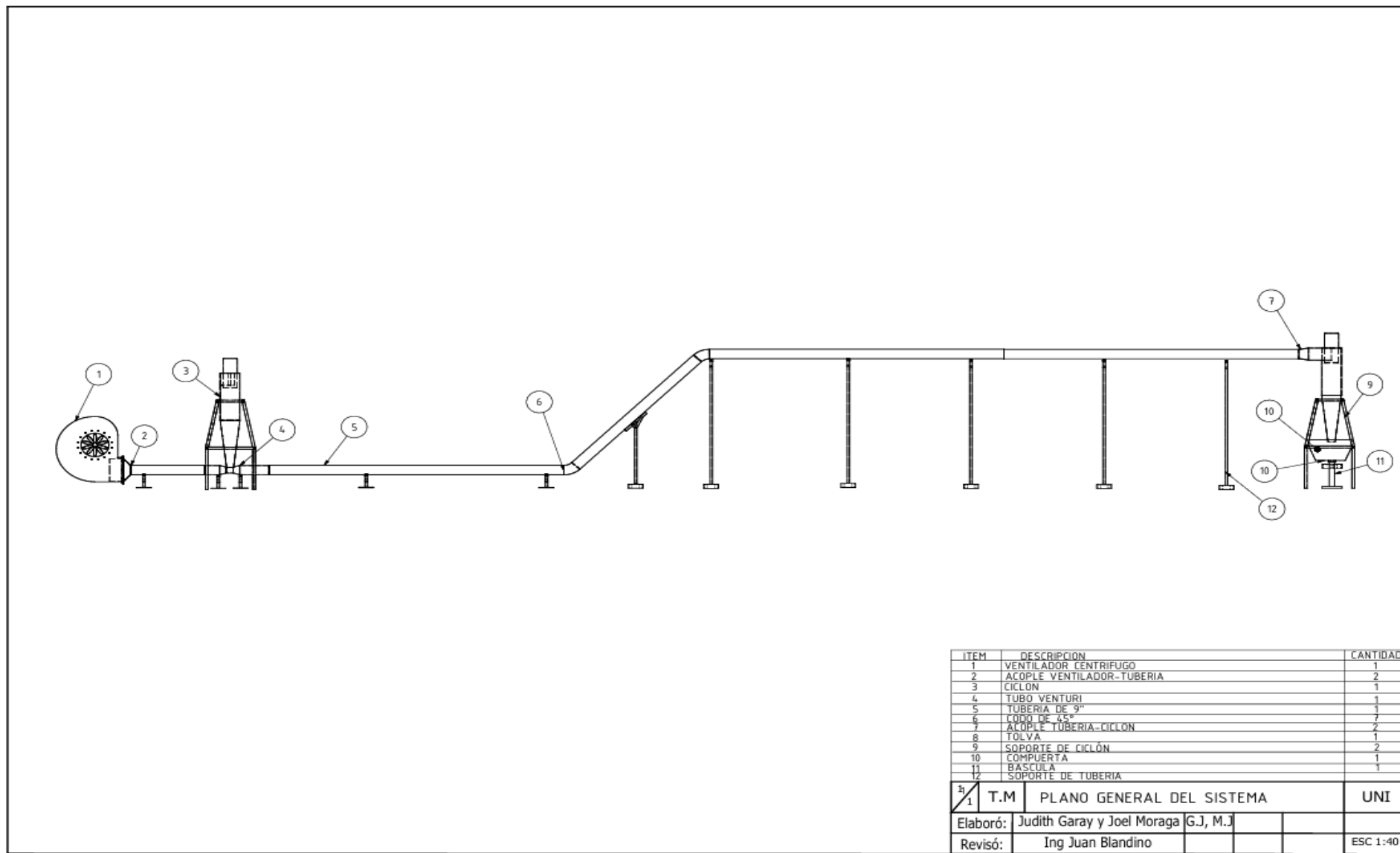


Imagen 2. Plano General del sistema. Fuente: Elaboración propia.

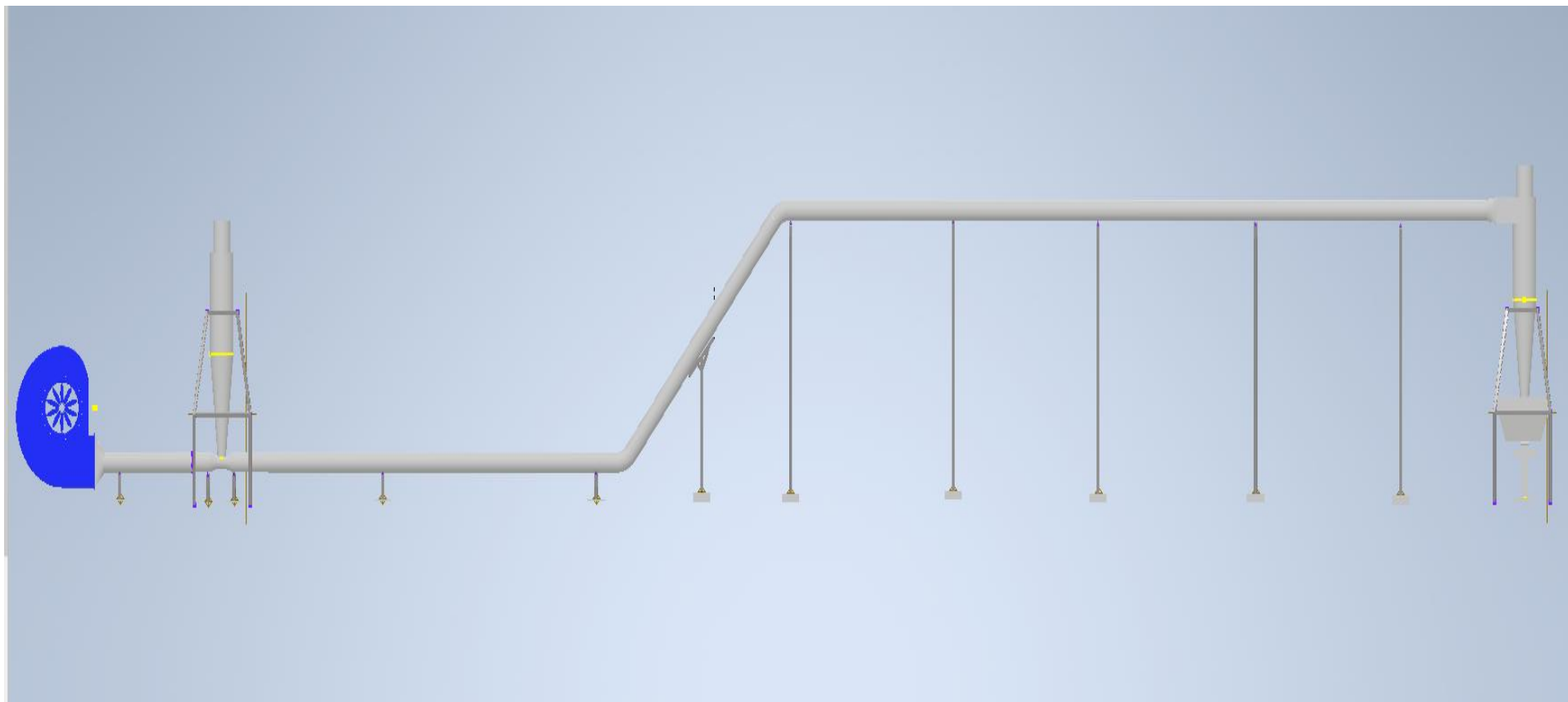
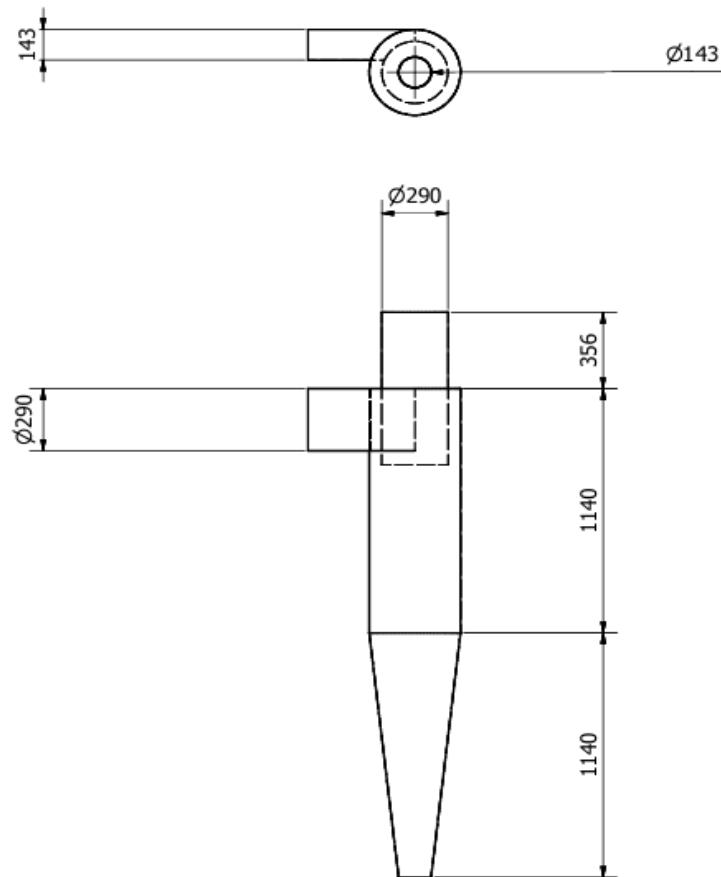


Imagen 3. Plano de ciclón del sistema. Fuente: Elaboración propia.



ESPECIFICACIONES GENERALES	
MATERIAL	Hierro negro (acero al carbono laminado en caliente, A36/SAE 1010-1020), t = 3,2 mm (1/8"), formato 4'x10'.
TOLERANCIA	Unidades: mm. Tolerancias generales: ISO 2768-mK. Tolerancias geométricas: sólo las indicadas con marcos en vistas (ISO 1101).
SOLDADURA	ISO 2553 (A); filete z = 3 mm, CONT.; o donde aplique; lado de flecha; Proc. 111 (SMAW), E6011 Ø3,2 mm DCEP; WPS-ST-001; aceptación ISO 5817-C; inspección VT 100% (ISO 17637).

1/1	T.M	PLANOS DE CICLON			UNI
Elaboró:	Judith Garay y Joel Moraga	G.J, M.J			
Revisó:	Ing Juan Blandino				ESC 1:20

Imagen 4: Plano de tolva de salida del sistema. Fuente: Elaboración propia

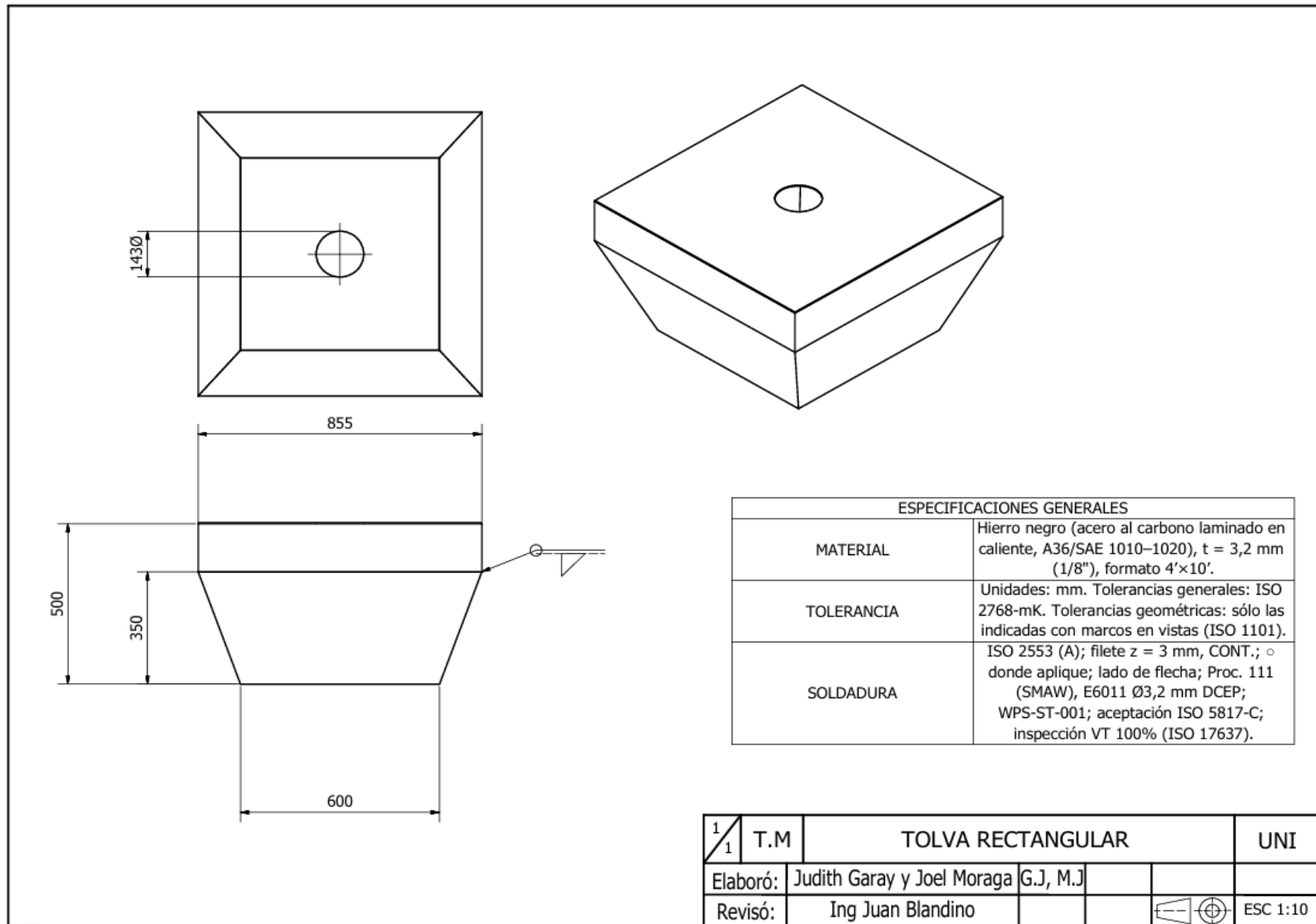
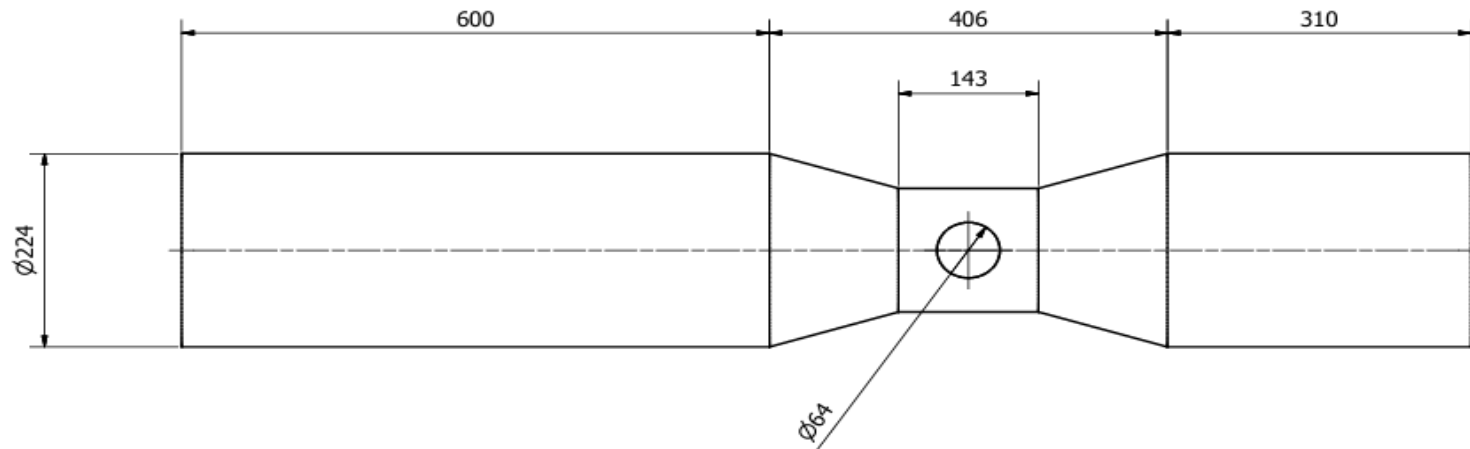


Imagen 5. Venturi de tubería del sistema. Fuente: Elaboración propia



ESPECIFICACIONES GENERALES	
MATERIAL	Hierro negro (acero al carbono laminado en caliente, A36/SAE 1010–1020), $t = 3,2 \text{ mm}$ ($1/8''$), formato $4' \times 10'$.
TOLERANCIA	Unidades: mm. Tolerancias generales: ISO 2768-mK. Tolerancias geométricas: sólo las indicadas con marcos en vistas (ISO 1101).
SOLDADURA	ISO 2553 (A); filete $z = 3 \text{ mm}$, CONT.; $\circ$ donde aplique; lado de flecha; Proc. 111 (SMAW), E6011 $\text{Ø}3,2 \text{ mm}$ DCEP; WPS-ST-001; aceptación ISO 5817-C; inspección VT 100% (ISO 17637).

$\frac{1}{1}$	T.M	GARGANTA VENTURI			UNI
Elaboró:	Judith Garay y Joel Moraga	G.J, M.J			
Revisó:	Ing Juan Blandino				ESC 1:20

Imagen 6. Soporte de tubería del sistema. Fuente: Elaboración propia

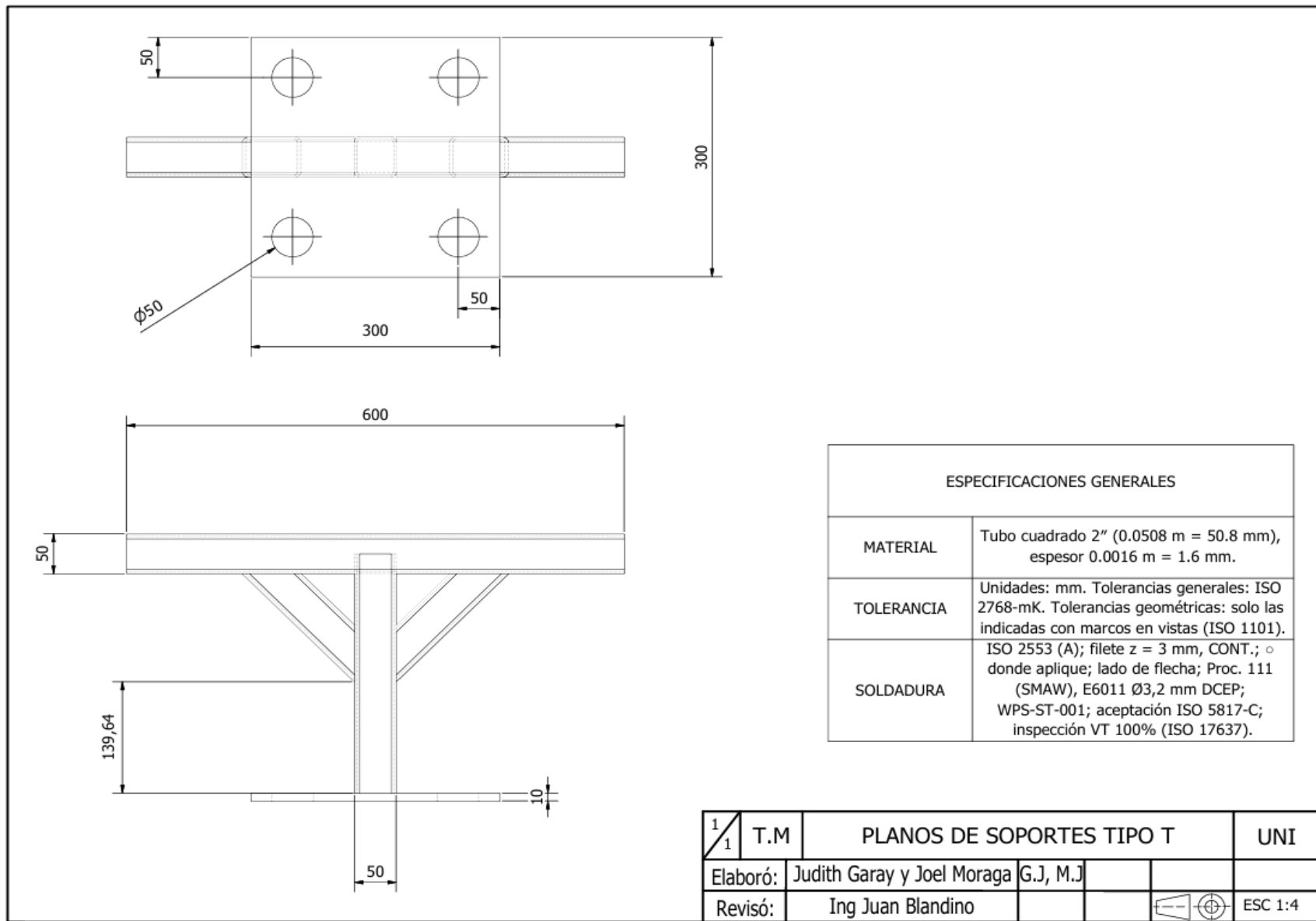
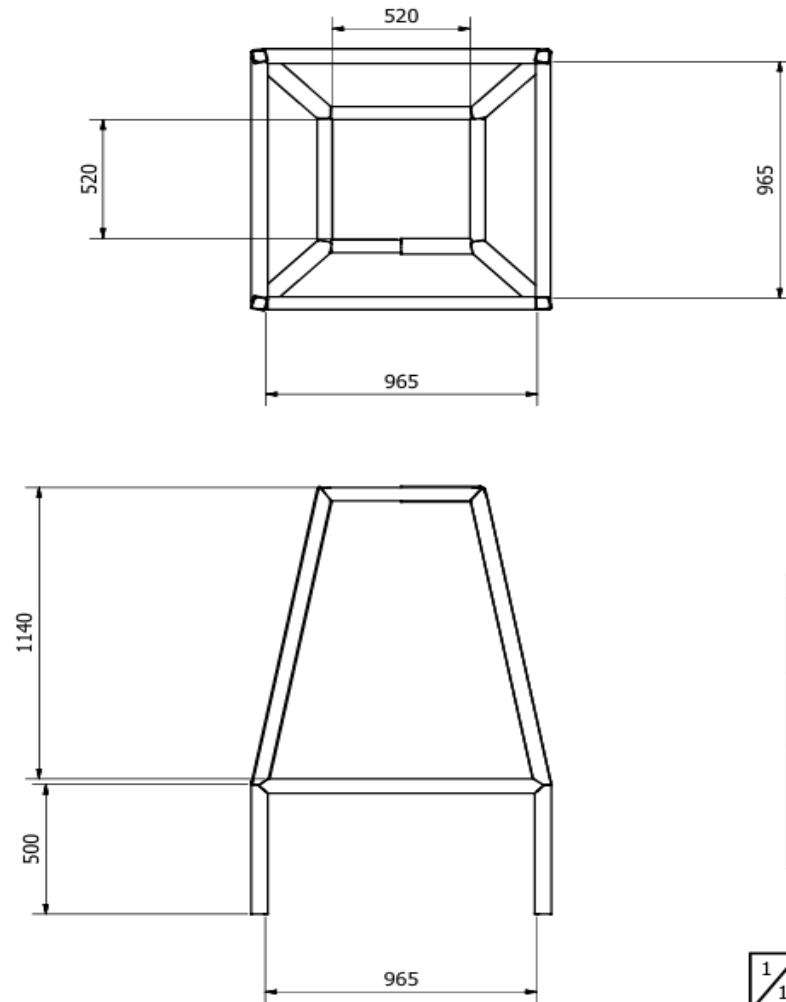


Imagen 7. Soporte de tubería de ciclón y tolva. Fuente: Elaboración propia



ESPECIFICACIONES GENERALES	
MATERIAL	Tubo cuadrado 2" (0.0508 m = 50.8 mm), espesor 0.0016 m = 1.6 mm.
TOLERANCIA	Unidades: mm. Tolerancias generales: ISO 2768-mK. Tolerancias geométricas: solo las indicadas con marcos en vistas (ISO 1101).
SOLDADURA	ISO 2553 (A); filete z = 3 mm, CONT.; ∅ donde aplique; lado de flecha; Proc. 111 (SMAW), E6011 Ø3,2 mm DCEP; WPS-ST-001; aceptación ISO 5817-C; inspección VT 100% (ISO 17637).

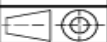
1/1	T.M	PLANOS DE SOPORTES DE TOLVA			UNI
Elaboró:	Judith Garay y Joel Moraga	G.J, M.J			
Revisó:	Ing Juan Blandino				ESC 1:15

Imagen 8. Zona de descargue al aire libre de la cascarilla de arroz. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 9. Cascarilla de Arroz dispersa en zona de descargue. Fuente: Elaboración propia

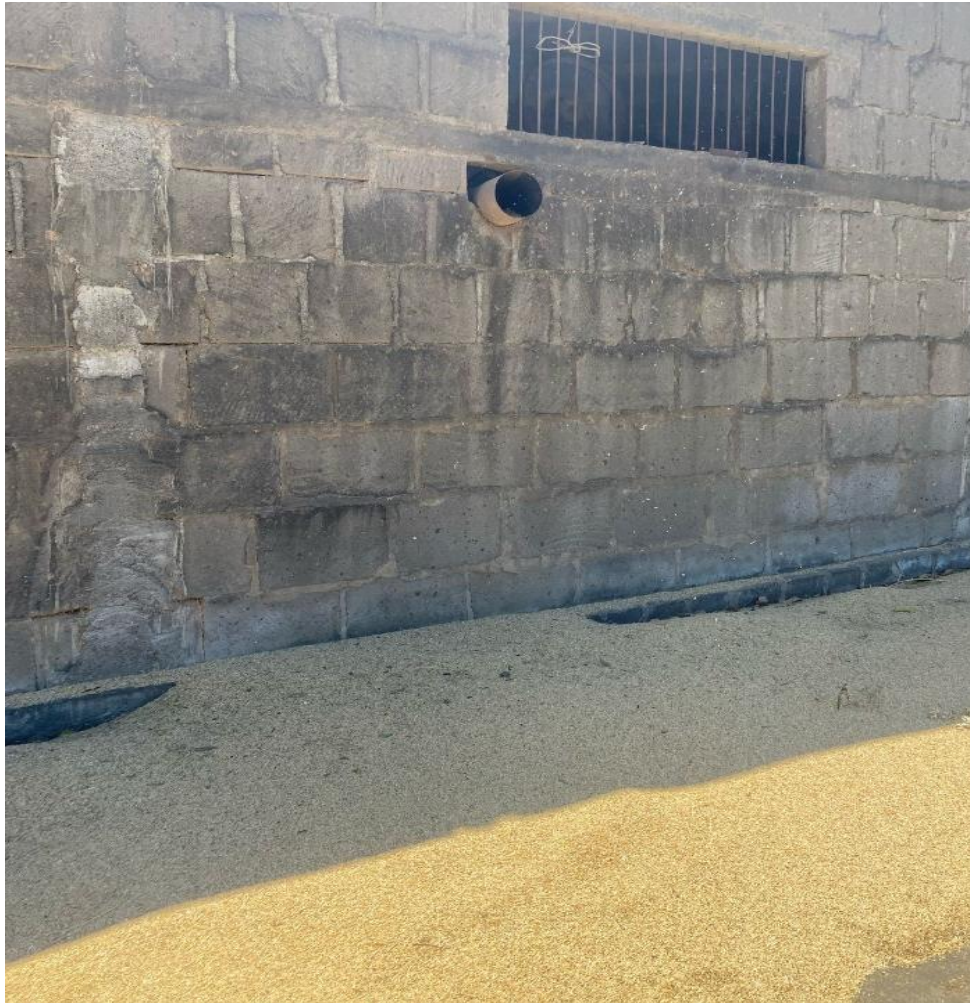


Imagen 10. Material a transportar. Fuente: Elaboración propia



Imagen 11. Zona de descargue para el llenado de sacos. Fuente: Elaboración propia



Imagen 12. Cotización de tubos seleccionados para el diseño. Fuente: Proporcionada por el proveedor.



AMUNICSA Aceros Múltiples de Nicaragua

COTIZACION NO. 0000106854

Bo. Largaespada, De los Semáforos del busto
José Martí 1c al Norte 3.1/2 c al este
Tel: 2222-4022 | 2224-6636 | 2222-2330 | 2222-2351
email: info@amunica.com
web: www.amunica.com
RUC: J0310000253994

Cliente : ALCALDIA DE MANAGUA
Contacto : _____
Dirección : PLANTEL CENTRAL JACKSON JACAMO, ARBOLITO 1C OESTE, 2C
Teléfono : _____

Fecha : 19/3/2025
Condiciones _____
de Pago : CONTADO
Vendedor : ALDO SOLANO

Cel: 2222-4022

e-mail: ventas2@amunica.com

Código	Descripción	U/M	Cant.	Precio Unit.	Subtotal
006-101-8	TUBO H.N CED 40 DE 8" SIN COSTURA	UND	1.00	14,272.75	14,272.75
006-101-10	TUBO H.N CED 40 DE 10" SIN COSTURA	UND	1.00	19,041.31	19,041.31
006-400-18410	LAMINA H.N A-36 DE 1/8" x 4' x 10'	UND	1.00	4,639.80	4,639.80
	***** Última línea *****				