

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



“Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladora”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

Br. Arapa Lucio, Jonatan Romario

ASESOR:

Msc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 000-0003-0194-169X

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2023



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis titulado **“Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladora”** elaborado por el bachiller **Arapa Lucio, Jonatan Romario**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.


Msc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 000-0003-0194-169X
DNI: 32903454
ASESOR



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado "**Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladora**" elaborado por el bachiller **Arapa Lucio, Jonatan Romario** para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico.

Fue Revisado y Aprobado por el siguiente Jurado Evaluador



Msc. Escalante Espinoza, Nelder Javier
COD. ORCID. 000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
Presidente



Msc. Calderon Rodriguez, Luis Carlos
COD. ORCID. 000-0002-9447-2257
DNI: 32977058
Secretario



Msc. Risco Ojeda, Rusber Alberto
COD. ORCID. 000-0003-0194-169X
DNI: 32903454
Integrante



FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA
 epim@uns.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los catorce días del mes de marzo del año dos mil veintitrés, siendo las 11:30 a.m., el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 107-2023-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Msc. Nelder Javier Escalante Espinoza (Presidente)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (Secretario)** y el **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (Integrante)** y de expediente según Resolución Decanal N° 143-2023-UNS-FI, y en concordancia a lo dispuesto en Oficio Múltiple N° 034-2022-UNS-CU-SG, el Jurado Evaluador, titular, da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MAQUINA PILADORA"**, perteneciente a el bachiller: **ARAPA LUCIO JONATAN ROMARIO**, con código de matrícula N° 0201116014 quien fue asesorado por el **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda**, según Resolución Decanal N° 484-2020-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ARAPA LUCIO JONATAN ROMARIO	17	BUENO

Siendo las 11:30 a.m del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, marzo 14 de 2023


 Msc. Nelder Javier Escalante Espinoza
 PRESIDENTE


 Msc. Luis Carlos Calderon Rodriguez
 SECRETARIO


 Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
 INTEGRANTE

DEDICATORIA

Dedico con todo mi alma y corazón esta tesis a mi madre, quien me apoyó en esta larga travesía que es la vida universitaria y profesional. En honor a ella, la señora Dina Lucio, mi madre, mi protectora, mi confidente, mi consejera, mi todo. Esta tesis es una ofrenda hacia ella y a mi padre, Andrés Arapa que está en el cielo, y que sin lugar a dudas me sigue viendo desde donde está.

También se la dedico a mis hermanos, quienes contribuyeron con su granito de arena para poder apoyarme y ser profesional, un abrazo a todos ellos, los amo. Mencionar a toda mi familia que como todos los que me rodean supieron contribuir para llegar a donde estoy.

AGRADECIMIENTOS

Mi total agradecimiento a Dios todo poderoso por permitirme haber culminado la carrera y bendecirme con su apoyo por llegar hasta donde he llegado hasta ahora.

A la Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente.

A mi asesor M.Sc. Ing. Rusber por brindarme las pautas y apoyo para desarrollar y llevar a cabo este trabajo de investigación, de muy importante relevancia para la industria agraria y la ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes	14
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Objetivo general	15
1.4 Objetivos específicos	15
1.5 Formulación de la hipótesis	16
1.6 Justificación	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Arroz con cascarilla	17
2.2 Modo de transporte	18
2.3 Velocidad de transporte neumático	19
2.4 Tipos de sistema	22
2.5 Diseño de transporte neumático	23
2.6 Factores para el diseño y uso	28
III. MATERIALES Y MÉTODO	33
3.1 Tipo de investigación	33
3.2 Diseño de Investigación	33
3.3 Materiales y métodos	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1 Consideraciones técnicas	35
4.2 Estimación de los parámetros de diseño del transporte neumático utilizando nomógrafos	38
4.3 Cálculo de transporte de 10 toneladas de arroz con tubería de de 6”	41

4.4 Discusión	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1 Conclusiones	54
5.2 Recomendaciones	55
VI. REFERENCIAS	56
VII. ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gravedad de la operación por semana.....	30
Tabla 2. Tipo de sistema según el tamaño de partícula.....	31
Tabla 3. Tipo de sistema según las características del material.....	31
Tabla 4. Tipos de sistemas según las características de la materia prima.....	32
Tabla 5. Producción de arroz Molino Zona Norte.....	35
Tabla 6. Componentes del arroz con cascarilla.....	37
Tabla 7. Subproductos o residuos del arroz con cascarilla.....	37
Tabla 8. Velocidades de aire necesarias para transportar sólidos de varias densidades a granel.....	38
Tabla 9. Selección del ciclón.....	44
Tabla 10. Dimensiones del ciclón seleccionado.....	45
Tabla 11. Estimación de costos de adquisición de los principales componentes.....	48
Tabla 12. Estimación de costos de operación del sistema propuesto	49
Tabla 13. Estimación de costos de mantenimiento del sistema propuesto	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cascarilla de arroz.....	17
Figura 2. Fase Diluida de transporte neumático.....	18
Figura 3. Fase Densa de transporte neumático.....	19
Figura 4. Caída de presión según la capacidad de transporte.....	21
Figura 5. Sistema presión positiva.....	25
Figura 6. Sistema presión negativa.....	25
Figura 7. Sistema de presión combinada positiva – negativa.....	26
Figura 8. Sistemas de alta presión.....	27
Figura 9. Características del arroz con cascarilla.....	35
Figura 10. Selección de longitud equivalente.....	41
Figura 11. Selección de la pérdida de presión por fricción del sistema en pulgada de columna de agua (inH ₂ O) por 100 pies.....	43
Figura 12. Dimensiones del ciclón.....	45
Figura 13. Esquema de un transporte neumático.....	46
Figura 14. Selección del ventilador (Roos blower).....	47
Figura 15. Dimensiones del ventilador (Roos blower).....	47

RESUMEN

En el presente trabajo se hace una propuesta tecnológica del sistema de transporte neumático aplicado a una máquina piladora de arroz que permitió una mejora del proceso productivo del arroz en los molinos a nivel nacional. El objetivo fue de optimizar el sistema de transporte neumático usado para el arroz con cascarilla previo al ingreso a una máquina piladora. Se determinó la evaluación técnica de las características físicas y químicas más importantes del arroz en cascarilla, así como de los equipos y dimensiones de la planta utilizando materiales adecuadas según al uso que realicen cada accesorio. Los resultados obtenidos indicaron un sistema de baja presión de capacidad: 10 ton/h; aire necesario: 1960 m³/h; caída de presión: 2000 mm c.a.; RPM: 2, 000; motor trifásico de 13.8 BKW 18.5 HP del soplador centrífugo. Los costos de adquisición de los componentes principales estimados ascienden a S/. 20, 076.00, además del costo de operación que asciende a S/. 4,410.91 para un periodo mensual y el costo de mantenimiento en S/. 1, 003.80 el cual representa el 5% del costo de adquisición para un periodo anual. Se realizaron planos del sistema de transporte neumático para el diseño y selección de los diferentes elementos, mecanismos y máquinas para definir el sistema de transporte neumático.

Palabras claves: Diseño, Transporte neumático, Cascarilla arroz, Sistema baja presión

ABSTRACT

In the present work, a technological proposal is made for the pneumatic transport system applied to a rice milling machine that allowed an improvement in the rice production process in mills nationwide. The objective was to optimize the pneumatic transport system used for rice with husks prior to entering a piling machine. The technical evaluation of the most important physical and chemical characteristics of husk rice will be interrupted, as well as the equipment and dimensions of the plant using materials with adequate characteristics according to the use made by each accessory. The results obtained indicated a low pressure system with capacity: 10 ton/h; required air: 1960 m³/h; pressure drop: 2000 mm w.c.; RPM: 2,000; 13.8 BKW 18.5 HP three-phase motor of centrifugal blower. The acquisition costs of the estimated main components increase to S. /20,076.00, in addition to the operating cost that increases to S/. 4,410.91 for a monthly period and the maintenance cost in S/. 1, 003.80 which represents 5% of the cost of acquisition for an annual period. Plans of the pneumatic transport system were made for the design and selection of the different elements, mechanisms and machines to define the pneumatic transport system.

Keywords: Design, Pneumatic conveying, Rice husk, Low pressure system

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es el cuarto país con el consumo per cápita de arroz más alto en América Latina. El arroz es el tercer alimento más consumido por los peruanos después de la papa y el trigo, el cual contribuye en promedio al 19% de la ingesta calórica diaria (FAO, 2019). Los departamentos de Lambayeque, La Libertad y Arequipa concentran el 78% del stock de arroz pilado en el Perú. La zona norte (incluido Ancash, Chimbote) tiene el 43% de área sembrada de arroz en el territorio nacional. El consumo mensual de arroz en 2018 fue de 160.8 mil toneladas aproximadamente. Los molinos cuentan con 477,899 toneladas de arroz en cáscara, pero que este volumen se reduce a 314,887 toneladas cuando es convertido a pilado (MINAGRI, 2018).

El Planeamiento Estratégico de Arroz en el Perú mencionan que el mercado de arroz tiene potencial de desarrollo; sin embargo, existen factores que juegan en contra como la informalidad, falta de infraestructura, escasez de recurso hídrico, falta de mejoras en semillas, y propone que el estado debe intervenir con planes de financiamiento, tecnología y técnicas de regadío (Acuña y Cajahuanca, 2017).

La propuesta tecnológica del sistema de transporte neumático aplicado a una máquina piladora de arroz permitirá una mejora del proceso productivo del arroz en los molinos a nivel nacional. La selección de un ventilador, soplador o compresor para un sistema de transporte neumático es la decisión de diseño más importante dentro de los elementos de diseño. Generalmente es el costo de capital más relevante en comparación con los costos de otros elementos. Además, una buena selección asegura y garantiza la capacidad de transporte (Mills, n.d.). Un error en alguna especificación podría resultar en un sistema sobre cargado generando gastos operativos excesivos o verse reducido en su capacidad de transporte por una selección deficiente. Muy aparte del corazón de un sistema de transporte neumático, que es el ventilador o soplador centrífugo, existen otros accesorios que ayudan a optimizar el sistema de transporte neumático.

Todos ellos manejan variables que afectan al sistema. Por ejemplo, la selección de un sistema a presión positiva o presión negativa dependerá de la cantidad de pérdidas de presión producto de los accesorios, mientras más extensión tenga el sistema de tuberías, se tendrá mayor

caída de presión. A la vez la presencia de cambios de dirección también genera una caída de presión mayor. Otro factor indispensable para incrementar la eficiencia es la velocidad de transporte, la cual está asociada al tipo de configuración de las partículas en suspensión. Dado que generalmente se considera para términos de diseño el fluido como uno del tipo bifásico (Aire más Partículas en suspensión), hay efectos directos del particulado sobre la caída de la presión en el sistema neumático, lo que tiene efecto sobre la velocidad final del sistema de transporte. Al incrementar la velocidad de transporte para garantizar que el particulado se traslade uniformemente, se genera intrínsecamente desgaste en el interior de las tuberías. Este desgaste es progresivo y genera reducción en el espesor de las paredes, especialmente en aquellas donde se acumula material y donde hay cambios de dirección.

1.1 ANTECEDENTES

Becerra (2022) en la tesis: “Diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado para mejorar las características del arroz”, desarrolló un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado, donde se logró aumentar la producción a 544 900,42 kg de arroz añejado y la eficiencia en un 95.7%. Además, se obtuvo una mejora del proceso de 57,14% que se ve reflejado en la reducción de la cantidad de subproductos de 2733 a 1164, teniendo un total de 1569 sacos que son vendidos como arroz añejo.

Ramos (2020), en la tesis “Diseño del sistema de extracción de polvillo de arroz - 405 kg/h – Caso Molino Los Ángeles S.R.L.” implementó un sistema de recolección, transporte y selección de polvillo de arroz aplicando un ventilador centrífugo tipo cirroco cumpliendo con las condiciones de factibilidad ambiental y económica.

Nunura (2016), en la tesis “Diseño de un equipo móvil de descarga neumático para granos de 100 TM/h en embarcaciones de 8000 m³ de capacidad de almacenamiento” con una pluma telescópica de 10 metros y de carrera es de 5 metros, capaz de trasladar el sistema de conductos, posee un peso bruto de 9.11 toneladas y un costo aproximado de \$ 90,000.00, realizando el mínimo de movimientos suficientes para que el sistema de ductos pueda llegar a la bodega del navío y requiere menos energía que los equipos ya existentes en el mercado. Asimismo, resulta económicamente más viable

Leyva (2015) en la tesis “Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando la cascarilla de arroz producido por las molineras de arroz de la región Lambayeque” reportó un incremento de la producción de arroz cáscara de 9 822 Tn/año a 35 623 Tn/año aproximadamente, considerando la evaluación de producción de 10 piladoras de arroz, así como las características más importantes de la cascarilla de arroz con poder calorífico inferior (14 311,30 kJ/kg), poder calorífico superior (15 861,80 kJ/kg) y su composición química correspondiente es: Carbono (37,6%), Hidrogeno (5,87%), Nitrógeno (1,88%), Azufre (0,09%), Oxígeno (37,63%) y Ceniza (16,93%).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto directo del desarrollo de un sistema de transporte neumático optimizado para la alimentación de arroz con cáscara de una máquina piladora?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el sistema de transporte neumático de arroz con cáscara utilizado para la alimentación de una máquina piladora.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar las variables velocidad del aire, volumen del aire, presión y potencia del soplador centrífugo.
- b) Medir las características específicas del arroz con cascarilla proveniente desde la zona de sembrío hasta la zona de ingreso a la máquina piladora.
- c) Estimar los costos de adquisición de los componentes principales, costos de operación y mantenimiento del sistema de transporte neumático propuesto.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Si es factible que el sistema de transporte neumático optimizado para alimentación de arroz con cáscara mejore el proceso de pilado en la máquina de arroz en cáscara.

Variable Independiente: Sistema de transporte neumático optimizado

Variable Dependiente: Máquina piladora de arroz con cascarilla

1.6 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de tesis permitirá

- a) **Justificación teórica:** aportar una metodología de cálculo de un sistema de transporte neumático en una máquina piladora aplicado para el arroz con cascarilla. Este sistema de transporte neumático contará con los sustentos analíticos necesarios para garantizar una operación óptima el cual pueda servir como referencia industrial para aplicaciones de diseño en el sector agroindustrial, permitiendo tener un concepto teórico y práctico del diseño, selección y funcionamiento de los mismos;
- b) **Justificación tecnológica:** contribuir al conocimiento respecto a las diferentes posibilidades de cambiar o modificar los sistemas de transporte convencional;
- c) **Justificación económica:** acceder a la implementación de nueva tecnología teniendo como resultado un producto más limpio, y permitirá el aumento de la producción de arroz, en los molinos de la costa central del Perú;
- d) **Justificación ambiental:** con el sistema de transporte neumático permitirá incrementar la productividad del arroz con cascarilla para la empresa y agricultores arroceros del Norte y centro del País, obteniendo mayores beneficios por el pilado de su arroz en cáscara, e incremento del sub Producto, mejorando la eficiencia energética y rentabilidad económica además en la mejora continua de los procesos productivos.

II. MARCO TEÓRICO

Muchos son los requerimientos necesarios empleados para el diseño de sistemas de transporte neumático. Sin embargo, no existen reglas generales para optimizaciones en sistemas de transporte, principalmente por la naturaleza específica de cada material. Cada material tiene sus propiedades físicas y químicas específicas.

2.1 Arroz con cascarilla

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por Celulosa y Sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como por ejemplo como combustible. El arroz es la semilla de la *Oryza sativa*. Se trata de un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de América Latina. Su grano corresponde al segundo cereal más producido del mundo, tras el maíz. Debido a que el maíz es producido para otros muchos propósitos que el del consumo humano, se puede decir que el arroz es el cereal más importante para la alimentación humana, y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta. El arroz es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo por los seres humanos.

Figura 1

Cascarilla de arroz



Nota. Tomado de Inmage Lab Pte Ltd 2023

2.2 Modo de transporte

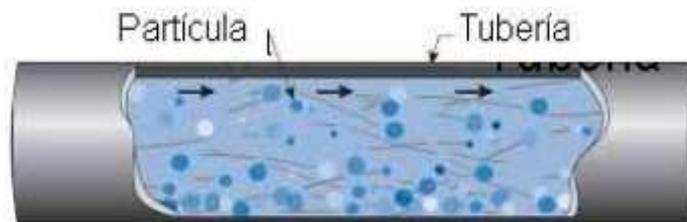
Para sistemas de transporte continuo existen dos modos de transporte claramente diferenciados. Si el material es transportado suspendido en el aire por la tubería se le dice transporte en fase diluida, por el contrario, si el material es transportado a través de una velocidad baja se le dice fase densa.

2.2.1 Fase diluida

Casi todos los materiales pueden transportarse en una fase diluida sin considerar el tamaño de material, forma o densidad. Se le dice también transporte en fase suspendida porque las partículas se suspenden en el aire mientras el compresor genera una presión positiva o negativa. Esto requiere velocidades elevadas y por lo tanto la generación de polvo es un problema. Por las velocidades elevadas, la existencia de la abrasión es un problema serio, esto genera un adelgazamiento de las paredes internas y posibles fugas. En el caso de pequeñas partículas el impacto se reduce, sin embargo, para partículas elevadas este mecanismo de desgaste se acrecienta.

Figura 2

Fase Diluida de transporte neumático



Nota. La figura muestra el tipo de fase diluida en un transporte neumático. Fuente: Mills et al. (2001).

2.2.2 Fase densa

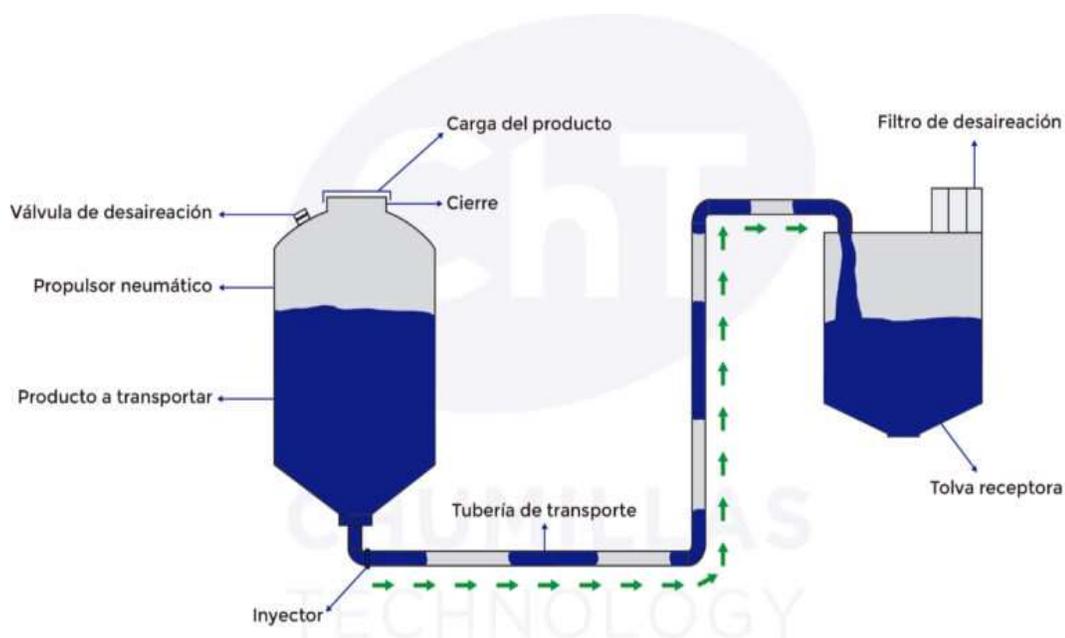
En una fase diluida dos modos son claramente diferenciados. Uno se llama flujo de cama baja o lecho móvil, donde el material es transportado mediante dunas en el fondo de la tubería o mediante dunas pulsantes. El otro modo es el flujo tipo slug o plug, en el que el material se transporta como tapones de paso total separados por espacios de aire. El transporte de fase densa a menudo se denomina flujo sin suspensión. El flujo de lecho móvil solo es posible en un sistema

de transporte convencional si el material a transportar tiene buenas características de retención de aire.

Este tipo de flujo se limita típicamente a materiales en polvo muy finos que tienen un tamaño medio de partículas de hasta aproximadamente 60 μm , dependiendo de la distribución del tamaño de partículas y la forma de las partículas. El flujo de tipo tapón solo es posible en un sistema de transporte convencional si el material tiene una buena permeabilidad. Este tipo de flujo se limita típicamente a materiales que son esencialmente de tamaño único, porque permiten que el aire pase fácilmente a través de los intersticios entre las partículas. Los materiales granulados y las semillas son materiales ideales para este tipo de flujo.

Figura 3

Fase Densa de transporte neumático



Nota. La figura muestra el tipo de fase densa de transporte neumático. Tomado de Chumillas Technology (2023).

2.3 Velocidad de transporte neumático

El parámetro más importante en un transporte neumático es la velocidad, o de forma más particular la velocidad de transporte. Si el valor de la velocidad de transporte es bajo se produce

un atascamiento si la velocidad es muy alta se produce una excesiva abrasión en el interior y una excesiva generación de polución.

2.3.1 Evaluación de la velocidad

Si se requiere la velocidad del aire de transporte superficial para cualquier condición dada, esta se puede determinar para cualquier caudal másico de aire de manera bastante simple a partir de la ley de los gases ideales. Esto se presenta en Ecuación 1 como referencia. Esto es fundamental para comprender el transporte neumático, ya que el aire es comprimible con respecto a la presión y la temperatura. El caudal volumétrico, en consecuencia, es una función tanto de la presión como de la temperatura, en valores absolutos, y un malentendido de esto es causa de muchos errores cuando se trata de especificar compresores y extractores para sistemas de transporte neumático. El caudal másico de aire es siempre una constante para un caudal de aire dado y generalmente se utiliza aquí con preferencia al caudal volumétrico. Sin embargo, la ley de los gases ideales permite una conversión fácil.

$$P \cdot V = m_a \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Donde:

P = Presión Absoluta, [Pa]

V =Caudal, [m³/s]

m_a =Rapidez de flujo de masa, [m/s]

R = Constante de gases ideales

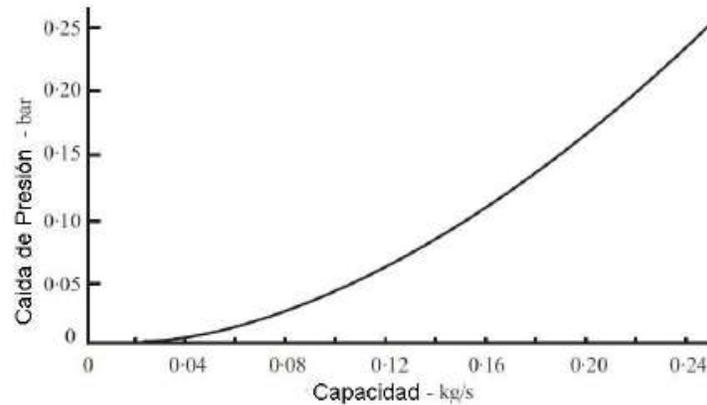
T = Temperatura absoluta, [C°]

2.3.2 Flujo de una fase

Un punto inicial para desarrollar el cálculo consiste en considerar el flujo gas-sólidos como un solo flujo, en este caso solo aire y considerar gradualmente el efecto de la caída de la presión producto del movimiento de las partículas en el interior de las tuberías. Una relación entre la presión y la capacidad de transporte puede expresarse como se indica en la figura siguiente:

Figura 4

Caída de presión según la capacidad de transporte



Nota. La figura muestra la gráfica que representa la presión versus la capacidad de transporte. Fuente: Mills et al. (2001).

Los datos expresados de la gráfica anterior pueden ser tomados experimentalmente sin embargo para flujos de una fase su estudio está bien establecido. La caída de presión está expresada mediante la ecuación de Darcy.

$$\Delta P = \frac{4 \cdot f \cdot L}{d} \times \frac{\rho C^2}{2} \quad (2)$$

Donde:

f = Factor de fricción en función del número de Reynold y la rugosidad de la tubería.

C = Velocidad media del flujo, [m/s]

L = Longitud de la tubería, [m]

En análisis más específicos, lo correcto es mencionar que el flujo para el transporte neumático es de dos fases, por lo tanto, la caída de presión es por el aire y por el transporte de las partículas dentro de la tubería. En este escenario, las velocidades de las partículas son un tanto menores que la del aire. Por tanto, existe una fuerza de arrastre que el aire ejerce sobre las partículas. La velocidad de las partículas se expresa generalmente en términos de velocidad de deslizamiento.

La velocidad de deslizamiento es la diferencia entre la velocidad del aire transportado y la de las partículas transportadas. La relación de deslizamiento es la relación adimensional de la velocidad de una partícula, C_p , dividida por la velocidad del aire de transporte, C_a . Para una partícula esférica que tiene una densidad de partícula de aproximadamente 1000 kg / m^3 , por ejemplo, la relación de deslizamiento sería de aproximadamente 0,9 para una partícula de 50 mm y ésta disminuiría a aproximadamente 0,8 para una partícula de 500 mm. Para partículas que tienen una densidad de aproximadamente $4,000 \text{ kg / m}^3$, estas relaciones de deslizamiento serían de aproximadamente 0,8 y 0,6 respectivamente. Todos estos valores se relacionan con el flujo horizontal. Para el flujo vertical hacia arriba, todos estos valores serían ligeramente más bajos.

2.4 Tipos de sistemas

Se encuentra disponible una amplia gama de sistemas de transporte neumático y todos son generalmente adecuados para el transporte de materiales particulados secos a granel. Con una gama tan amplia y una variedad de tipos de sistemas, un punto de partida útil es considerar las alternativas en grupos de pares:

2.4.1 *Sistemas abiertos y cerrados*

Los sistemas abiertos son la norma para el transporte neumático, especialmente cuando se transporta con aire. Los sistemas cerrados solo se emplearían en circunstancias muy específicas, como con materiales altamente tóxicos y potencialmente explosivos.

2.4.2 *Sistemas de presión positiva y negativa*

Los materiales se pueden aspirar y soplar, por lo que se puede utilizar presión o vacío para el transporte neumático. Esto suele ser una cuestión de preferencia personal o de la empresa.

2.4.3 *Sistemas fijos y móviles*

La mayoría de los sistemas de transporte neumático se encuentran en ubicaciones fijas, por lo que este no se identifica como un caso particular. Sin embargo, hay una variedad de sistemas móviles disponibles para tareas específicas.

2.4.4 *Sistemas de alta y baja presión*

En el transporte neumático, alta presión generalmente significa cualquier presión por encima de 1 bar manométrico. Para los sistemas que envían materiales a los puntos de recepción a presión atmosférica, el límite superior suele ser un manómetro de 6 bar debido a los problemas de expansión del aire. Se pueden emplear presiones mucho más altas (típicamente 20 – 40 bar) si se suministran materiales a puntos de recepción mantenidos a presión, como reactores químicos y sistemas de combustión de lecho fluidizado (Nayyar, 2000).

2.4.5 *Sistemas convencionales e innovadores*

Los sistemas convencionales son aquellos en los que el material simplemente se alimenta a una tubería y se sopla o aspira, por lo que no se identifica como un caso particular porque es la norma. Los sistemas innovadores son aquellos en los que el material a transportar se acondiciona de alguna forma, ya sea en el punto de alimentación o a lo largo de la tubería. Esto es generalmente para transportar el material a baja velocidad y por lo tanto en fase densa, si el material no tiene capacidad natural para el transporte a baja velocidad. Sistemas de funcionamiento continuo y por lotes: ambos tipos de transporte son comunes en la industria.

2.4.6 *Sistemas de flujo por tuberías y canales*

En la gran mayoría de los sistemas de transporte neumático, el material se transporta a través de tuberías. Los sistemas de transporte de movimiento fluidizado generalmente emplean canales que tienen una base porosa, a través de los cuales se introduce aire, y son muy limitados con respecto al transporte vertical.

2.5 *Diseño de transporte neumático*

El transporte neumático se define como la operación de transportar materiales secos a granel a través de una tubería mediante el uso de una corriente de aire de presión negativa o positiva. El principal factor limitante en el uso de transportadores neumáticos suele ser el material a transportar, los materiales a transportar deben ser secos y de flujo relativamente libre. Los materiales quebradizos, por regla general, no deben transportarse neumáticamente, excepto cuando la degradación parcial del material que se transporta es intrascendente para el uso final del material.

Sin estaciones de refuerzo, los sistemas de vacío son prácticos hasta 500 m de longitud y los sistemas de presión de hasta 2 km o más.

Los siguientes son los principales sistemas de transporte:

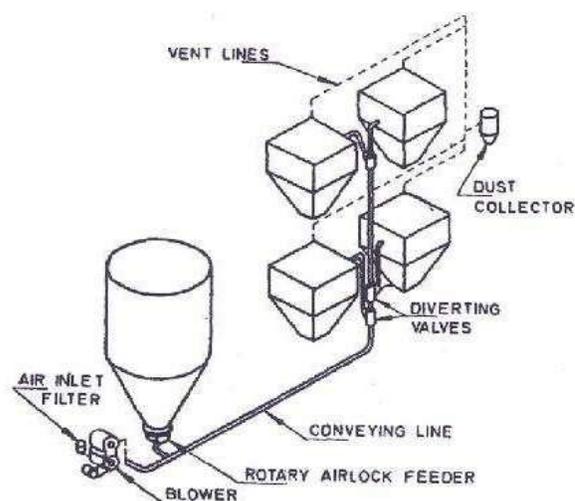
- a) Sistema de baja presión
- b) Sistema de presión positiva
- c) Sistema de presión negativa
- d) Sistema combinado de prevención negativo-positivo,
- e) Sistema de media presión
- f) Sistema de alta presión

2.5.1 Sistema de baja presión

Los sistemas de baja presión son ideales para su uso en la planta para transportar materiales pulverizados secos no abrasivos o ligeramente abrasivos. La presión de aire utilizada normalmente se limita a 760 mm Hg (1 atmósfera), y el suministro de aire es proporcionado por un tipo de soplador de lóbulo de desplazamiento positivo. Debido a la baja presión, estos sistemas están restringidos a una distancia relativamente corta y un caudal pequeño.

2.5.2 Sistema de presión positiva

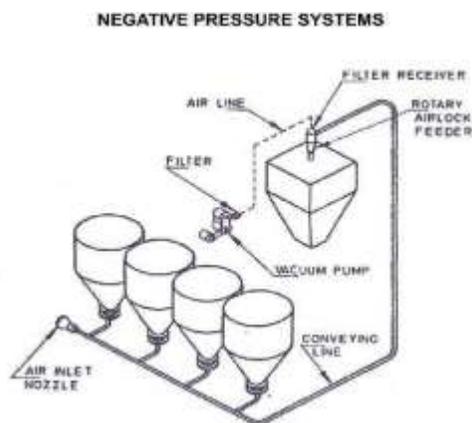
Se utiliza normalmente para transportar material desde una fuente a varios puntos de descarga ubicados remotamente. Un sistema típico de presión positiva se ilustra en la Figura 5.

Figura 5*Sistema presión positiva*

Nota: La gráfica fue tomada de Mills et al. (2001).

2.5.3 Sistema de presión negativa

El sistema de presión negativa se utiliza normalmente para transportar material desde varias fuentes a un punto de descarga ubicado remotamente. Un sistema típico de presión negativa se ilustra en la Figura 6.

Figura 6*Sistema presión negativa*

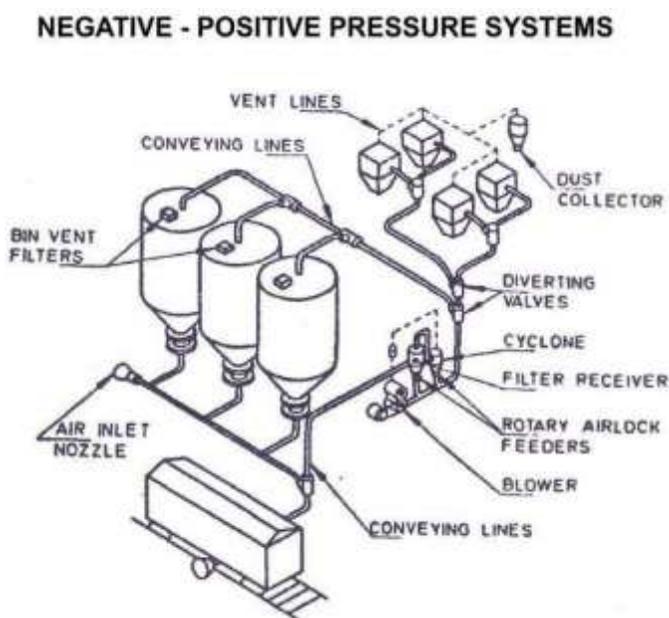
Nota: La gráfica fue tomada de Mills et al. (2001).

2.5.4 Sistema combinado positiva - negativa

Un sistema combinado de presión negativa-positiva se utiliza generalmente para transportar materiales de varias fuentes a varios puntos de descarga. Este tipo de sistema es bastante versátil y se utiliza comúnmente para transportar materiales desde vagones de contenedores ferroviarios y / o contenedores de almacenamiento a diferentes puntos de uso. En la Figura 6 se ilustra un sistema típico de prevención negativo-positivo.

Figura 7

Sistema de presión combinada positiva - negativa



Nota: La gráfica fue tomada de Mills et al. (2001).

2.5.5 Sistema de presión media

En el sistema de presión media, el material se compacta primero en un tornillo de paso variable antes de mezclarse con aire comprimido en la cámara de mezcla de la bomba tipo tornillo. Este sistema requiere un tornillo directamente acoplado con el motor además de un compresor para proporcionar aire a presiones que oscilan entre 760 y 2280 mm Hg (1 a 3 atmósferas). La presión de aire que se puede utilizar en este sistema es limitada debido a la necesidad de proporcionar un sello entre el tornillo y la cámara de mezcla. Este tipo de bomba transporta continuamente. Un

compresor rotativo de una sola etapa generalmente se conecta directamente con la bomba tipo tornillo para suministrar el aire comprimido requerido.

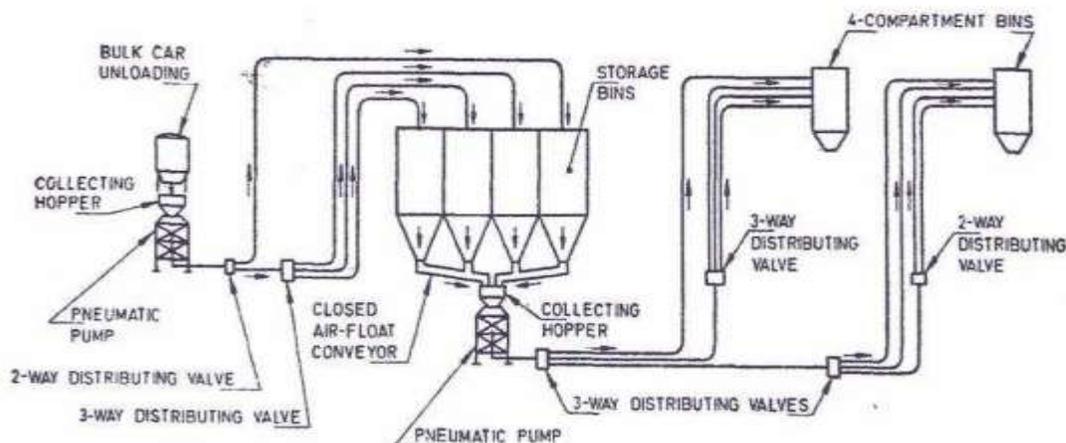
2.5.6 Sistema de alta presión

El sistema de alta presión utiliza transporte de flujo denso con baja relación de aire a material, lo que resulta en la degradación de partículas más baja al manipular materiales friables. Debido a la mayor presión de aire utilizada, se pueden utilizar tuberías de smaller en este sistema.

Las bombas de transporte de alta presión son unidades de tipo batch que utilizan aire comprimido solo cuando se transporta. Estas bombas se utilizan para operaciones continuas, intermitentes o por lotes. En una operación de proceso continuo, se proporciona una tolva de sobretensión sobre la bomba para recoger el material durante el ciclo de descarga de la bomba. Un sistema típico de alta presión se ilustra en la Figura 7.

Figura 8

Sistemas de alta presión



Nota: La gráfica fue tomada de Mills et al. (2001).

Para el sistema de transporte de alta presión, normalmente se utiliza un compresor de doble etapa para suministrar aire comprimido a presiones que oscilan entre 3040 y 5320 mm Hg (4 a 7 atmósferas). El bombeo es una operación por lotes, se requiere un receptor de aire para el aire

comprimido. El receptor de aire debe dimensionarse de tal manera que la presión total en el receptor de aire se recupere en el momento en que la bomba realiza la operación de llenado y descarga. El compresor suministra aire continuamente durante el ciclo de descarga y debe completarse para cuando la bomba se llene nuevamente con material.

2.6 Factores para el diseño y el uso

El material a transportar debe conocerse por todas sus características, incluida la densidad aparente, el tamaño y la forma de las partículas, la temperatura, la susceptibilidad a la humedad, la corrosividad, la naturaleza del material, la abrasividad y la resistencia.

2.6.1 Densidad aparente

La masa por unidad de volumen debe conocerse bajo tres condiciones, a saber, en condiciones vertidas, almacenadas en contenedores y cuando están bajo la influencia de la aireación. El material puede ingresar al sistema en el estado vertido, pero cuando se descarga, puede estar en el estado aireado, lo que significa que hay más volumen involucrado en la descarga que en la entrada. La capacidad volumétrica, así como la fluidez se ven vitalmente afectadas por este fenómeno.

2.6.2 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del material a transportar se puede clasificar de la siguiente manera:

Muy fino. Todos los tamices de 150 micras

Fino. Todos los tamices de 1,00 mm.

Granular. Todo el tamiz de paso de 12,5 mm.

Grumosos e irregulares. Más de 12 mm en cualquier dirección Los materiales irregulares son aquellos que son fibrosos, fibrosos, etc.

2.6.3 *Contenido de humedad*

El contenido de humedad del material debe ser conocido. La velocidad de transporte del material se reduce con el aumento de la humedad. Para un funcionamiento satisfactorio, la humedad libre normalmente no debe exceder el 1 por ciento en masa.

2.6.4 *Corrosividad*

Se debe conocer el valor de pH (un símbolo que denota acidez en la alcalinidad) del material. Esta información es necesaria para seleccionar el material de construcción para el equipo de transporte y también el tipo de tela que se utilizará en el colector de polvo. Un material altamente corrosivo puede requerir materiales especiales de construcción.

2.6.5 *Naturaleza explosiva o combustible del material*

El transporte neumático se encuentra entre las técnicas de manejo de materiales más seguras, sin embargo, en el manejo de materiales explosivos o combustibles, se deben tomar precauciones en el sistema. Algunos de estos materiales pueden requerir gas inerte para ser utilizado como medio de transporte.

2.6.6 *Abrasividad*

La abrasividad se puede clasificar de la siguiente manera:

1. No abrasivo
2. Ligeramente abrasivo
3. Abrasivo medio
4. Altamente abrasivo

Los materiales que tienen una dureza superior a la de los materiales "altamente abrasivos" son en su mayoría demasiado abrasivos para ser manipulados en transportadores neumáticos.

2.6.7 *Requisito de servicio*

Junto con las tasas de transporte, también se debe determinar la gravedad de la operación. La construcción del transportador neumático se puede vincular al grado de diseño y construcción del reductor de velocidad. La gravedad de la operación se puede clasificar de la siguiente manera:

Tabla 1
Gravedad de la operación por semana

Clase	Horas de operación por semana
1	160
2	80
3	40
4	20

Nota: Los datos fueron tomado de Stoess (1970).

Con la clasificación anterior, se puede determinar el grado de robustez al que se debe construir el transportador. También indicará los accesorios necesarios para cumplir con los requisitos de la operación.

2.6.8 *Elevación y condición ambiental*

En relación con el nivel del mar debe conocerse. La diferencia en la densidad del aire es muy pronunciada en el funcionamiento de los transportadores neumáticos y siempre debe tenerse en cuenta.

Se debe conocer la condición ambiental, es decir, si el sistema está expuesto a polvos y gases peligrosos o a elementos corrosivos.

2.6.9 *Procedimiento de diseño*

Sobre la base de los factores mencionados anteriormente, las Tablas 2, 3 y 4 pueden utilizarse para determinar el tipo de transporte que se utilizará.

Tabla 2*Tipo de sistema según el tamaño de partícula*

Tamaño de partícula	Tipo de sistema				
	Baja presión			Presión media	Alta presión
	Negativo	Positivo	Negativo - Positivo		
Grumoso o irregular	X	X	X	-	-
Granular	X	X	X	-	X
Fin	X	X	-	-	X
Muy fino	X	X	X	X	X

*Nota: X indica idoneidad. Fuente: Stoess (1970).***Tabla 3***Tipo de sistema según las características del material*

Características del material	Tipo de sistema				
	Baja presión			Presión media	Alta presión
	Negativo	Positivo	Negativo Positivo		
No abrasivo	X	X	X	X	X
Abrasivo, Medio	*	*	-	X	X
Abrasivo, Alto	-	-	-	X	X
Higroscópico	X	X	-	-	-
Combustible	X	X	X	X	-
Alcalino	X	X	X	X	X
Corrosivo	*	*	*	*	X
Termoplástico	X	X	-	-	-

Nota: X indica idoneidad. La marca del asterisco () indica que será necesario un estudio de planta piloto para establecer la idoneidad del material para el transporte neumático. Fuente: Stoess (1970).*

Tabla 4*Tipos de sistemas según las características de la materia prima*

Características del Material	Tipos de sistema				
	Negativo	Baja presión Positivo	Negativo - Positivo	Presión media	Alta presión
Cal, Guijarro	X	X	-	-	-
Caliza pulverizada	-	-	-	X	-
Óxido de magnesio	X	X	-	X	-
Malta, Cerveceros	X	X	-	-	-
Leche seca	X	X	-	-	-
Minerales pulverizados	-	-	-	X	X
Coque de petróleo	X	X	-	-	-
Piritas	-	-	-	X	X
Resinas	X	X	X	-	-
Arroz	X	X	-	-	-
Pellets de caucho	X	X	-	-	-
Sal	X	X	-	-	-
Pastel de sal	X	X	*	-	-
Aserrín	X	X	X	-	-
Semillas	X	X	-	-	-
Dióxido de titanio	*	*	-	-	-
Astillas de madera	-	X	-	-	-
Harina de madera	X	X	-	-	-
Óxido de zinc	X	X	-	X	-

Nota: X indica idoneidad. La marca del asterisco (*) indica que será necesario un estudio de planta piloto para establecer la idoneidad del material para el transporte neumático. Fuente: Stoess (1970).

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Investigación No Experimental.

La investigación a realizar es del tipo Investigación Cuantitativa:

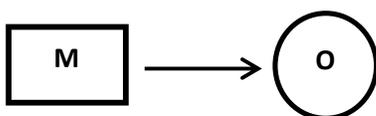
Descriptivo – Aplicativo

Diseño Descriptivo de una sola casilla (Transversal)

El investigador solamente observa y describe el fenómeno tal y conforme se presenta

M = Muestra (sistema transporte neumático optimizado)

O = Observador (Investigador)



3.2 Diseño de investigación

3.2.1 Cuantitativo-Correlacional

El diseño de investigación adoptado para la contratación de la hipótesis está constituido por un análisis comparativo de los resultados obtenidos con aquellos dados por otros métodos ya sean explícitos y/o experimentales disponibles en la literatura de sistemas de transporte neumático.

3.2.2 Población

La población estará constituida por los diferentes tipos de sistemas neumáticos a ser verificados mediante cálculos numéricos y costos de operación.

3.2.3 Diseño y características de la muestra

La muestra está conformada por el sistema neumático optimizado en sus dimensiones de velocidad del aire, velocidad de arrastre, presión, cambio de sección, codos de radio largo, potencia de soplador centrífugo aplicado a una máquina piladora de arroz con cascarilla.

3.3 Materiales y métodos

- Búsqueda de información y el estado del arte, donde se contempla la revisión de tesis de grado, artículos de investigación, revistas científicas y conocimientos empíricos en plantas existentes.
- Identificación de variables de cálculo, reconocimiento de variables dependientes y variables independientes.
- Modelamiento del escenario Óptimo de diseño, el cual es contrastado con los costos asociados a la operación y el mantenimiento.
- Catálogos de proveedores de materiales y equipos.
- Tesis y artículos de investigación relacionados al proyecto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Consideraciones técnicas

4.1.1 Información técnica del arroz con cascarilla

Producción de arroz con cascarilla promedio por años en molino de la zona norte del Perú. El promedio de producción diaria de arroz con cascarilla del molino en la zona norte del Perú es 4,787.2 T/día (Tabla 5).

Tabla 5.

Producción de arroz Molino Zona Norte

Año	(t)
2012	7206
2013	5261
2014	4120
2015	4158
2016	3191
Promedio	4787.2

Nota: La tabla muestra la producción de arroz en toneladas en el periodo 2012 al 2016. Fuente: APEMA PERÚ.

4.1.2 Características del arroz con cascarilla

Figura 9.

Características del arroz con cascarilla



Nota. La figura muestra el esquema de las características del arroz con cascarilla. Fuente: CAMPS, manual de combustibles: energías renovables.

4.1.3 Características Físicas

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

Longitud. Esta magnitud varía dependiendo su variedad de arroz. Esta entre 8 mm a 10 mm de largo por 1 mm a 2 mm de ancho, que corresponde del 30% al 40% de su longitud.

Peso: Esta magnitud depende de la longitud, varía entre 2,5mg y 4,8 mg.

Densidad Aparente. Es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo orificios o poros que contenga.

Densidad a granel: Es la relación entre la cantidad de masa de la cascarilla y el volumen de esta.

Cascarilla Suelta: 500 kg/m^3

Posterior a la vibración: 142 kg/m^3

Compactación Manual: 180 kg/m^3

Densidad Específica. Es la diferencia entra la densidad aparente y los orificios o poros que contenga en la cascarilla. Obteniendo una densidad especifica de 1420 kg/m^3 .

4.1.4 Análisis Elemental del arroz con cascarilla

Tabla 6.

Componentes del arroz con cascarilla

Componentes	Peso (Kg)	Peso molecular
Carbono	42.3	12.0115
Hidrogeno	6.1	1.00797
Oxígeno	37.5	31.9988
Nitrógeno	1.1	28.0134
Azufre	0.04	32.64
Humedad	9.4	-
Ceniza	12.96	-

Nota. La tabla indica el peso molecular de los componentes del arroz con cascarilla. Fuente: Arnesto et al. (2002)

4.1.5 Cantidad disponible de arroz con cascarilla

El arroz con cascarilla transportado al molino y su posterior procesamiento origina algunos subproductos como cascarilla de arroz, polvillo, nielen, arrocillo y grano de arroz.

Tabla 7.

Subproductos o residuos del arroz con cascarilla

Residuo	Porcentaje (%)
Cascarilla	20-22
Polvillo	5-7
Nielen	0.7-1
Arrocillo	1-2
Grano de arroz	68-73
Arroz cáscara	100

Nota. Los datos fueron tomados de APEMA PERÚ

4.2 Estimación de los parámetros de diseño del transporte neumático utilizando nomógrafos (para diseño preliminar)

Este método proporciona aproximaciones conservadoras para el tamaño y la potencia del transportador para una densidad aparente de producto dada.

4.2.1 Paso 1

Los cálculos preliminares se inician con la determinación de la longitud equivalente del sistema en consideración. La longitud equivalente es la suma de las distancias verticales y horizontales junto con la asignación de todos los accesorios de tubería utilizados. La asignación para los accesorios de tubería más comunes es la siguiente:

Tubo de codo largo radio 90°: Longitud equivalente = 25 pies ~ 7.6m.

Tubo de codo 45°: Longitud equivalente = 15 pies ~ 4.6 m.

4.2.2 Paso 2

A continuación, encuentre la velocidad del aire necesaria para transportar los sólidos. Esto se puede encontrar usando la tabla para la velocidad del aire para varias densidades a granel, como se muestra a continuación:

Tabla 8.

Velocidades de aire necesarias para transportar sólidos de varias densidades a granel

Densidad Aparente		Velocidad del aire	
lb/ft ³	Kg/m ³	Ft/min.	m/min.
10	160	2900	884
15	240	3590	1094
20	320	4120	1256
25	400	4600	1402
30	480	5050	1539
35	560	5500	1676
40	640	5840	1780
45	720	6175	1882
50	800	6500	1981

Densidad Aparente		Velocidad del aire	
55	880	6800	2072
60	960	7150	2179
65	1040	7450	2270
70	1120	7700	2347
75	1200	8000	2438
80	1280	8250	2515
85	1360	8500	2591
90	1440	8700	2652
95	1520	9000	2743
100	1600	9200	2804
105	1680	9450	2880
110	1760	9700	2957
115	1840	9900	3118
120	1920	1050	3200
		0	

Nota. Datos tomados de Stoess (1970)

4.2.3 Paso 3

Suponga un diámetro de tubería y dibuje una línea recta en el Nomógrafo 1 entre la velocidad del aire y las escalas de diámetro de tubería. La misma línea, cuando se extienda, intersectará la escala de volumen de aire en algún momento (ver Anexo 1).

4.2.4 Paso 4

Una vez que conocemos el volumen de aire, ahora podemos ir al Nomógrafo 2 y trazar una línea recta entre el volumen de aire y la capacidad del sistema en consideración. Esta línea cortará y dará el valor correspondiente de la relación de sólidos. En caso de que el valor de la relación de sólidos exceda 15, repita el paso 3 con una tubería de gran diámetro (ver Anexo 2).

4.2.5 Paso 5

A continuación, vaya al Nomógrafo 3 y dibuje una línea que una los puntos de valor conocidos del diámetro de la tubería y el volumen de aire. Esto nos dará valor del factor de diseño, o P100, es decir, la caída de presión por 100 pies (30,5 m) punto de intersección de la escala central (ver Anexo 3).

4.2.6 Paso 6

Vaya al Nomógrafo 4 y dibuje una línea que conecte los valores conocidos de la longitud del equipo del sistema y el factor de diseño. Esta línea puede extenderse para intersectar la línea pivote en el centro. Una vez que unimos este punto en la línea de pivote con el punto en la línea de relación de sólidos, el punto de intersección da el valor de la pérdida de presión del sistema. En caso de que la pérdida de presión del sistema supere los 10 PSI (70 kPa), repita los pasos 3, 4, 5 y 6 asumiendo un diámetro de tubería grande (ver Anexo 4).

4.2.7 Paso 7

En caso de que la pérdida de presión del sistema sea de ≤ 70 kPa, vaya al Nomógrafo 5 y dibuje una línea recta que conecte los valores correspondientes de la presión del sistema y el volumen de aire (Ver Anexo 5).

4.2.8 Paso 8

El punto de intersección de la pérdida de presión del sistema y el volumen de aire dará el valor de la potencia requerida.

En resumen, los diversos nomógrafos proporcionan la siguiente información crítica para el diseño del sistema:

Nomógrafo 1. Se ingresa con los datos de la velocidad del aire (m/min) y el diámetro de la tubería (mm) para obtener el volumen del aire (m³/min).

Nomógrafo 2. Se ingresa con los datos del volumen de aire (m/min) y la capacidad del sistema (Kg/h) para obtener la relación de sólidos (adimensional).

Nomógrafo 3. Se ingresa con los datos del diámetro de la tubería (mm) y el volumen de aire (m³/min) para obtener el factor de diseño.

Nomógrafo 4. Se ingresa con los datos de la longitud equivalente del sistema (m), factor de diseño (adimensional) y la relación de sólidos (adimensional) para obtener la pérdida de presión del sistema (kpa).

Nomógrafo 5. Se ingresa con los datos de la pérdida de presión del sistema (kpa) y el volumen del aire (m^3/min) para obtener la potencia requerida (HP).

4.3 Cálculo de transporte de 10 toneladas de arroz con una tubería de 6"

- Transporte ARROZ
- Densidad aparente: 510 kg/m^3 Capacidad del sistema: 10,000 Kg/hr
- Longitud de la tubería (Horizontal + Vertical): 50 m
- N° de curvas: 4

4.3.1 Cálculo 1 según los nomógrafos

Longitud equivalente de la tubería = $50 + (4 \times 4.27) = 67.1 \text{ m}$

Selección de longitud equivalente

Figura 10

DIAMETRO INTERNO (m.m.)	CURVA 90° R-3D	CURVA 90° R-2D	CODO	TE	MANGUERA R-100	DIAPHRAGMA ABIERTA	MANQUITO	MACHO PASO RECTO	TECH TAYLOR
LONGITUD EQUIVALENTE EN m DE TUBO RECTO DE IGUAL RESISTENCIA AL FLUJO.									
25	0.52	0.70	0.82	1.77	0.30	2.56	—	0.37	—
32	0.73	0.91	1.13	2.38	0.40	5.29	—	0.49	—
40	0.85	1.10	1.31	2.74	0.49	3.44	1.19	0.58	—
50	1.07	1.40	1.68	3.35	0.55	3.66	1.43	0.73	—
65	1.28	1.65	1.98	4.27	0.70	4.60	1.52	0.85	—
80	1.55	2.07	2.47	5.18	0.85	4.88	1.92	1.04	0.20
90	1.83	2.44	2.90	5.79	1.01	—	—	1.22	—
100	2.13	2.77	3.35	6.71	1.16	7.62	2.19	1.40	0.23
115	2.41	3.05	3.86	7.32	1.28	—	—	1.58	—
125	2.71	3.86	4.27	8.23	1.43	13.11	3.05	1.77	0.30
150	3.35	4.27	4.88	10.06	1.55	18.29	3.11	2.13	0.37
200	4.27	5.49	6.40	13.11	2.41	19.81	7.92	2.74	0.82
250	5.18	6.71	7.92	17.07	2.99	21.34	10.67	3.47	0.61
300	6.10	7.92	9.75	20.12	3.35	28.96	15.85	4.08	0.76
350	7.01	9.45	10.97	23.16	4.27	28.96	—	4.88	0.91
400	8.23	10.67	12.80	26.52	4.88	—	—	5.49	1.04
450	9.14	12.19	14.02	30.46	5.49	—	—	6.22	1.16

Nota: La imagen muestra la longitud equivalente según el accesorio. Fuente: Neumática Básica (2017).

Velocidad del aire necesaria para transportar los sólidos de la Tabla 8 para una densidad aparente de 510 kg/m^3 es 1590 m/min que equivale a 26.5 m/s .

Del nomógrafo 1, suponiendo el diámetro de la tubería de $6''$ (152.4 mm) y con la velocidad del aire de 1590 m/min , el volumen de aire es de $1,100 \text{ ft}^3/\text{min}$ equivalente a $1868 \text{ m}^3/\text{h}$ y a $31.1 \text{ m}^3/\text{min}$ (Ver Anexo 1).

Del nomógrafo 2, con el valor de la capacidad del sistema de $10,000 \text{ kg/h}$ y el volumen del aire de $1,100 \text{ ft}^3/\text{min}$ obtenemos una relación de sólidos de 4.7 (Ver Anexo 2).

Del nomógrafo 3, con el diámetro de $6''$ y el volumen del aire de $1,100 \text{ ft}^3/\text{min}$ obtenemos un factor de diseño de 40 (Ver Anexo 3).

Del nomógrafo 4, con la longitud equivalente de 67.1 m , el factor de diseño igual a 40 y la relación de sólidos de 4.7 obtenemos una pérdida de presión de 2.2 Psi equivalente a 15 kpa (Ver Anexo 4).

Del nomógrafo 5, con la pérdida de presión de 2.2 Psi y el volumen de aire $1,100 \text{ ft}^3/\text{min}$ obtenemos una potencia de 15 HP (Ver Anexo 5).

4.3.2 Cálculo 2 según fórmulas convencionales

Considerando una capacidad del sistema igual a $10,000 \text{ kg/h}$, una velocidad de transporte de 25 m/s equivalente a $90,000 \text{ m/h}$ y una relación de material – aire de $4.5:1$, por lo tanto:

$$\text{Flujo de masa requerida} = \frac{10,000}{4.5} \cong 2,200 \text{ kg/h}$$

$$\text{Relación de carga de material} = \frac{2,200}{10,000} \cong 0.22$$

Por lo cual la corrección de presión será de 1.22 :

$$\text{Caudal} = \frac{2,200}{1.22} = 1,833 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{1,833 \times 4}{\pi \times 90,000}\right)}$$

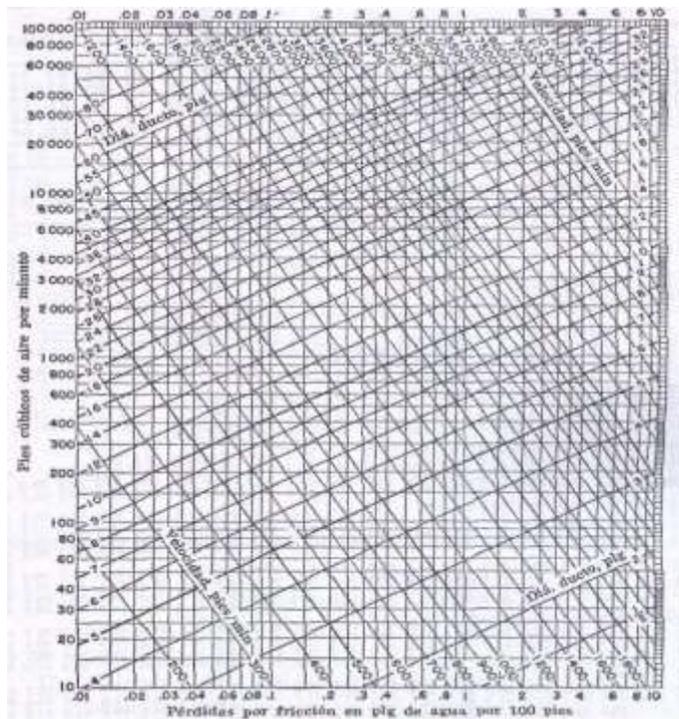
$$D = 0.161 \text{ m} = 161 \text{ mm}$$

El diámetro de la tubería debería ser de 161 mm aproximadamente 6.5"; con este dato y el volumen del aire de 1,100 ft³/min obtenemos de la gráfica de la Figura 11, 6 pulgadas de columna de agua (inH₂O) por 100 pies, por lo tanto:

$$\text{Pérdida de presión del sistema} = \frac{6 \times 67.1}{30.48} = 13.5 \text{ inH}_2\text{O} = 0.48 \text{ psi}$$

Figura 11

Selección de la pérdida de presión por fricción del sistema en pulgada de columna de agua (inH₂O) por 100 pies



Nota: Tomado de Neumática Básica (2017).

4.3.3 Selección del ciclón

Tabla 9

Selección del ciclón

Dimensiones	Tipo de Ciclones						
			Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson/Whitby
			HE	HE	LE	LE	LE
Día	D	m	0.58	0.61	0.52	0.52	0.53
Ingreso altura	a	m	0.29	0.27	0.26	0.26	0.31
Ingreso ancho	b	m	0.12	0.13	0.13	0.13	0.11
Largo de salida	S	m	0.29	0.3	0.33	0.31	0.31
Salida diámetro	De	m	0.29	0.24	0.26	0.26	0.26
Altura cilindro	h	m	0.87	0.85	1.04	0.91	0.71
Altura total	H	m	2.33	2.36	2.08	1.95	1.68
Día salida polvo	B	m	0.22	0.24	0.13	0.21	0.26
# vel hds			5.14	4.87	4.49	4.69	4.77
Caida presion sin NV			70.99	67.34	62	64.83	65.88
Caida presion con NV			33.28	31.56	29.06	30.39	30.88

Nota: La imagen muestra la selección del ciclón.

De la Tabla 9 seleccionamos el ciclón Stairmand con una pérdida de presión de 71 mm equivalente a 0.1 psi.

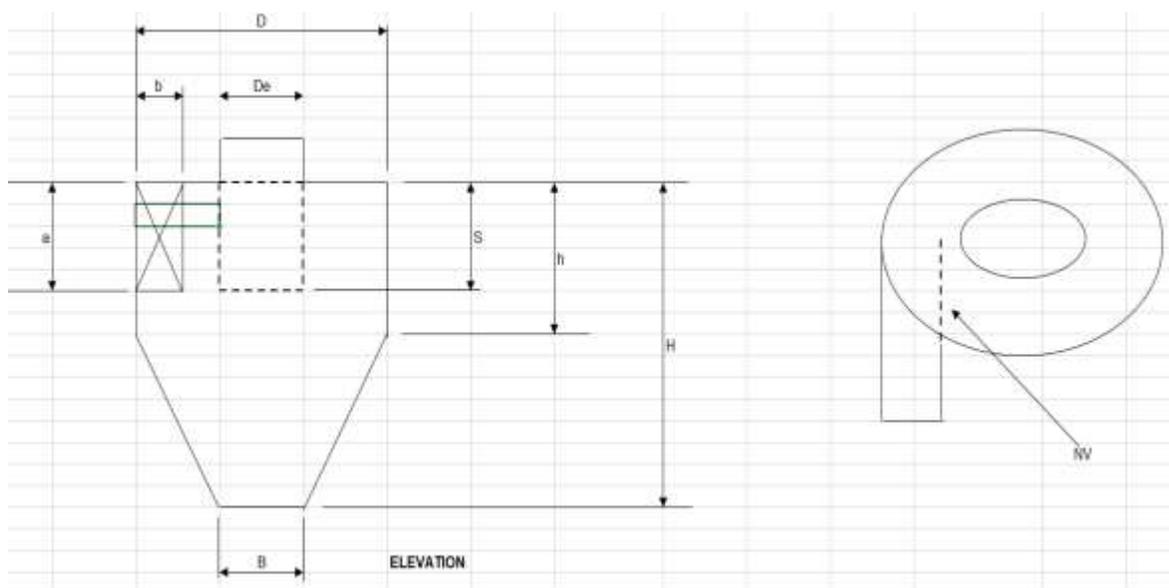
Pérdida de presión del Ciclón = 71 mm = 0.1 psi

Pérdida total del sistema = (0.48 + 0.1) x 1.22 = 0.71 psi

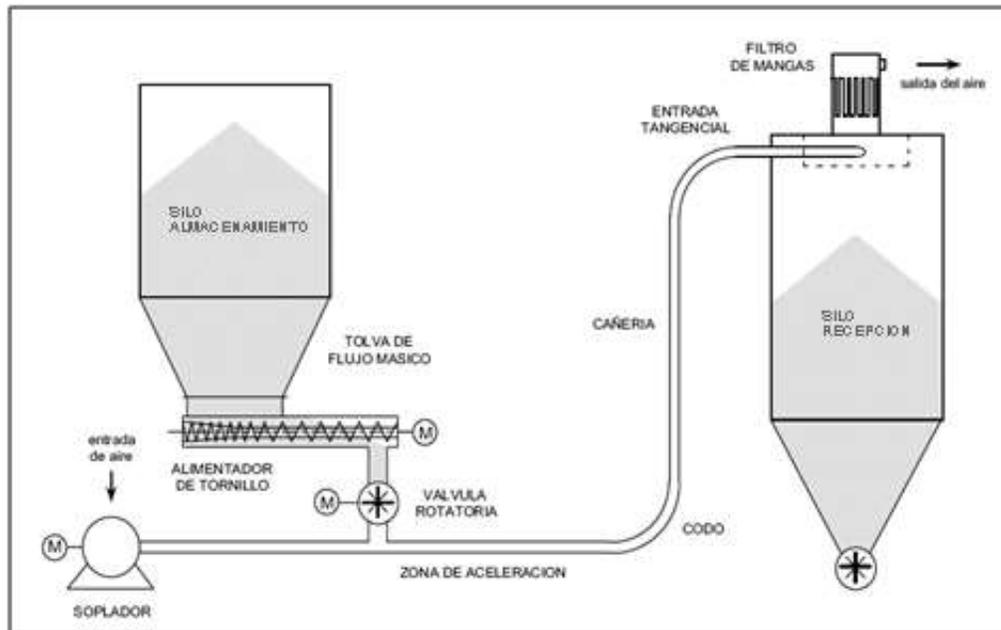
Tabla 10*Dimensiones del ciclón seleccionado*

Dimensiones del Ciclón			
Diámetro	D	m	0.58
Altura de ingreso	a	m	0.29
Ancho de ingreso	b	m	0.12
Largo de salida	S	m	0.29
Diámetro de salida	De	m	0.29
Altura de cilindro	h	m	0.87
Altura total	H	m	2.33
Dia. Salida de polvo	B	m	0.22

Nota: Datos muestran las dimensiones del ciclón seleccionado. Fuente: Elaboración propia

Figura 12*Dimensiones del ciclón*

Nota: La imagen muestra las dimensiones del ciclón Stairmand.

Figura 13*Esquema de un transporte neumático*

Nota: La imagen fue tomada de Neumática Básica (2017).

4.3.4 Selección del soplador (Roos Blower)

Para seleccionar el soplador, ingresaremos al catálogo según la Figura 15 con los datos del volumen de aire de $1868 \text{ m}^3/\text{h}$, la presión total de 2.7 psi que equivale a 1,900 mm. c.a. y una potencia mínima de 15 HP equivalente a 11 kW.

De esta manera seleccionamos el soplador centrífugo modelo 615 con las siguientes características:

- Presión diferencial a través del soplador P: 2,000 mm. c.a equivalente a 19.6 kpa
- RPM: 2,000
- Caudal Q: $1960 \text{ m}^3/\text{h}$
- Consumo de potencia P: 13.8 BKW equivalente a 18.5 HP

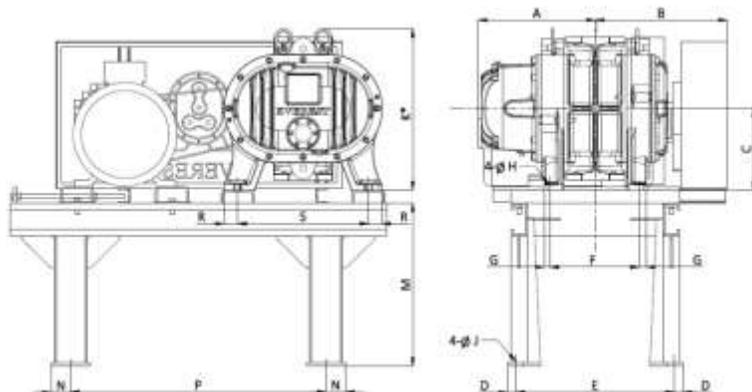
Figura 14*Selección del Soplador centrífugo (Roos blower)*

MODEL	AIR COOLED														WATER COOLED						
	SPEED	1000 mmWC		2000 mmWC		3000 mmWC		4000 mmWC		5000 mmWC		6000 mmWC		7000 mmWC		8000 mmWC		9000 mmWC		10000 mmWC	
	RPM	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW	m ³ /hr	BKW
615	700	585	2.7	502	4.8	438	7.0	384	9.1	337	11.2	294	13.4	255	15.5	218	17.6	184	19.8	151	21.9
	1000	921	3.9	838	6.9	775	10.0	721	13.0	673	16.1	631	19.1	591	22.2	555	25.2	520	28.3	488	31.3
	1400	1370	5.4	1287	9.7	1223	14.0	1169	18.2	1122	22.5	1079	26.8	1040	31.0	1003	35.3				
	1800	1819	7.0	1738	12.5	1672	17.9	1618	23.4	1571	28.9	1528	34.4								
	2000	3043	7.7	1960	13.8	1896	19.9	1843	26.0	1795	32.1										
	2200	2267	8.5	2184	15.2	2121	21.9	2067	28.6	2020	36.3										
	2400	2492	9.3	2409	16.6	2345	23.9	2291	31.2												

Nota: La imagen muestra los tipos de Roos blower tomada del catálogo de Everest (2019).

Figura 15*Dimensiones del Soplador centrífugo (Roos blower)*

Model	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K*	M	N	P	R	S	T	U	V	WT. (KG)	Line size (NB)	Noise Level dB(A)	Orientation	Application
615	454	481	250	37	471	471	15	16	14	467	500	68	900	41	400	8	M16	210	800	150	90	VF	Air/Gas



Nota: La imagen muestra el tipo de Roos blower tomada del catálogo de Everest (2019).

Como podemos observar el soplador centrífugo cuenta con dos pares de rotores de doble lóbulo lo cual permite generar la presión del aire del sistema neumático. El soplador seleccionado cuenta con un peso de 800 kg y la transmisión entre el motor eléctrico y el soplador es por medio de una faja.

En cuanto al filtro de mangas, este tiene el objetivo de separar las partículas sólidas de una corriente gaseosa, en este caso del flujo diluido de arroz con cáscara. Este filtro se encarga de la limpieza constante del sistema neumático mediante mangas propiamente dicha, los cuales son hechos de tela de felpa (Polipropileno).

4.3.5 Estimación de costos

A continuación, se pasa a estimar los costos de adquisición de los principales componentes del sistema neumático propuesto.

Tabla 11

Estimación de costos de adquisición de los principales componentes

Descripción	Und.	Cant.	Precio Unt. (S/)	Total (S/)
Soplador Everest 615	Und	1	7,300.00	7,300.00
Tolva	Und	1	140.00	140.00
Tubería de 6"	Pz	10	660.00	6,600.00
Tubería de 12"	Pz	1	1,876.00	1,876.00
Ciclón	Und	1	720.00	720.00
Filtro de mangas	Und	1	1,520.00	1,520.00
Estructura	Glb	1	480.00	480.00
Accesorios (Válvulas, codos, etc)	Glb	1	1,440.00	1,440.00
Total				20,076.00

Nota: Los datos muestran los costos de adquisición de los principales componentes del sistema neumático propuesto. Fuente: Elaboración propia

Los costos indicados en la Tabla 11, muestran los costos de adquisición aproximados según el mercado peruano.

Para estimar el costo de operación, tomaremos en cuenta el costo de la mano de obra para el operador y el consumo de energía eléctrica. Para lo cual tomaremos la cantidad de 6 horas de operación diaria y 24 días al mes, con una capacidad de 10 t/h; por lo tanto, transportaríamos 60 t de arroz con cascara diaria y en un mes se transportaría 1,440 t.

Para la potencia de 13.8 Kw, al mes se estaría consumiendo 1987.2 Kwh, trabajando 6 horas diarias. En cuanto al operador, estimamos el costo de S/ 3,000 mensual.

Tabla 12

Estimación de costos de operación del sistema propuesto

	Und.	Cant.	Precio Unt. (S/)	Total (S)
Operador	Und	1	3,000.00	3,000.00
Consumo de energía eléctrica	Kwh	1987.2	0.71	1,410.91
Total				4,410.91

Nota: Los datos muestran los costos de operación en un mes del sistema neumático propuesto.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estimación para el costo de mantenimiento, se estima un 5% del costo de adquisición destinado a la mantenibilidad del sistema en un periodo anual.

Tabla 13

Estimación de costos de mantenimiento del sistema propuesto

	Und.	Cant.	Precio Unt. (S/)	Total (S)
Mantenimiento	%	5	200.76	1,003.80
Total				1,003.80

Nota: Los datos muestran los costos de mantenimiento del sistema neumático propuesto.

Fuente: Elaboración propia

El sistema neumático propuesto no requiere de una inversión mayor en cuanto a mantenimiento. Por ejemplo, el soplado centrifugo seleccionado es libre de aceite, y el monto estimado es para algún repuesto, como por ejemplo el filtro, engranajes, rodamiento, lo cual tiene una vida útil considerable. Los repuestos pueden ser adquiridos en el mercado peruano como por ejemplo los rodajes son SKF, los engranajes son de acero forjado y tratados, los cuales pueden ser fabricados.

4.3.6 *Ensamble general*

Sistema de transporte neumático optimizado para alimentación de arroz con cascarilla en una máquina piladora (Ver Anexos, planos).

1. Soplador centrifugo
2. Tolva
3. Tubería 6"
4. Ciclón
5. Estructura
6. Válvula rotatoria
7. Big bag
8. Parihuela
9. Tubería 12"
10. Pulmón
11. Válvula solenoide
12. Cuerpo filtro
13. Válvula de cuchilla
14. Filtro de mangas
15. Flauta
16. Tubería 3/4"
17. Soplador centrifugo

4.4 Discusión

El crecimiento de la población peruana ha justificado el aumento de producción de arroz pilado debido que el consumo per cápita anual en el año de 2017 es de un promedio 54 kg. En la Costa Norte principalmente y se está extendiendo a la Costa Central están instalados el mayor número de molinos y en los últimos años se ha modernizado tanto la infraestructura como la maquinaria mejorando el proceso llegando hasta sistemas de selección electrónica (Acuña y Cajahuanca, 2017). Los departamentos de Lambayeque, La Libertad y Arequipa concentran el 78% del stock de arroz pilado en el Perú. La zona norte (incluido Ancash, Chimbote) tiene el 43% de área sembrada de arroz en el territorio nacional. El consumo mensual de arroz en 2018 fue de 160.8 mil toneladas aproximadamente. Los molinos cuentan con 477,899 toneladas de arroz en cáscara, pero que este volumen se reduce a 314,887 toneladas cuando es convertido a pilado (MINAGRI, 2018).

Por lo tanto, la competitividad aumenta cada vez más, provocando a los molineros la obtención de nuevas líneas de producción más eficientes y así también la venta de subproductos y residuos. Pues los costos de producción deben ser cada vez menores para que la empresa pueda obtener utilidades y hacer frente a la competencia. Es así que el costo de energía es un costo clave al considerar la reducción de costos del proceso de producción (Salazar, 2019).

Como residuo del proceso de pilado de arroz se obtiene la cascarilla de arroz, la cual posee una característica importante para ser tratada como combustible, y es que su baja humedad la caracteriza como un combustible potencial. En la mayoría de casos el molino vende a un bajo costo la cascarilla de arroz para plantas avícolas y otros usos (Salazar, 2019).

La cascarilla de arroz tiene un porcentaje en peso de 22% del grano de arroz en cáscara, la cual afecta directamente el indicador de eficiencia del proceso de pilado. Por ello el aprovechamiento de la cascarilla significa una optimización del proceso de producción y un mejor beneficio económico para la empresa. Tomando en cuenta la referencia de MIDAGRI (2019) se halló que para el año 2017, la producción de cascarilla de arroz fue de 3 694 146 kg. Por tanto, la cascarilla de arroz generada durante el proceso de pilado es el recurso que podría sostener la producción y atender más de las 360 horas de producción pérdidas (Ramos, 2020).

La propuesta tecnológica del sistema de transporte neumático aplicado a una máquina piladora de arroz permitirá una mejora del proceso productivo del arroz en los molinos a nivel nacional. Existen trabajos en las que se aplican estas tecnologías y otras similares que contribuyen a la mejora de la producción y rentabilidad en las fábricas arroceras a nivel nacional (Becerra, 2022; Ramos, 2020; Del Valle Sequeiros, 2020; Nunura, 2016; Leyva, 2015).

De acuerdo con el análisis efectuado para seleccionar las características técnicas y dimensiones de la planta para el transporte neumático del arroz, se ha utilizado el método de los nomógrafos, para seleccionar la condición más óptima.

Previamente para determinar el sistema de presión (baja, media o alta) se deben de conocer todas sus características del material a transportar, incluida la densidad aparente, el tamaño y la forma de las partículas, la temperatura, la susceptibilidad a la humedad, la corrosividad, la naturaleza del material, la agresividad y la resistencia.

Sobre la base de los factores mencionados anteriormente se determinó el procedimiento de diseño, para el cual se evaluaron los tipos de sistemas según las características de la materia prima para determinar el tipo de transporte que se utilizará, de acuerdo a este análisis de determino el sistema de baja presión. Asimismo, se utilizaron los nomógrafos para determinar el diseño del sistema.

Se ha seguido una metodología técnica mediante el uso de nomógrafos, de este modo se determina los diferentes parámetros y características del sistema neumático, lo cual lo hace obtener un sistema optimizado.

Las características técnicas obtenidas para el transporte neumático son los siguientes: Capacidad: 10 Tn/h; Flujo de aire necesario: 1960 m³/h; Caída presión: 2000 mm c.a. equivalente a 19.6 kPa; Soplador centrífugo (Blower): Everest modelo 615; RPM: 2,000; Potencia P: 13.8 BKW equivalente a 18.5 HP; Accionamiento por fajas y poleas.

Si bien es cierto el costo de adquisición puede ser un poco elevado, lo compensa con el costo de operación y mantenimiento, ya que el sistema propuesto no requiere de un presupuesto elevado para su mantenibilidad, además que el sistema propuesto es recomendable para una producción alta de arroz con cáscara. Según nuestro sistema de transporte neumático, se estaría estimando el transporte de 60 toneladas de arroz con cascara diarios.

Los sistemas de transporte neumático son básicamente muy simples y son preferentemente apropiados para el transporte de materiales en polvo y granulados en la industria. Los requisitos del sistema son: una fuente de gas comprimido, normalmente aire, una línea de tubería y un receptor para descargar el material transportado, así como el del gas transportador. Asimismo, para instalar este tipo de sistema de transporte no requiere de mucho espacio, y las tuberías pueden atravesar paredes, cruzar techos o hasta ubicarse bajo tierra para evitar equipos o estructuras existentes, mientras que un transportador de tornillo sin fin, un elevador de cangilones, o la mayoría de sistemas mecánicos difícilmente cuentan con estas características. (Fischer, 2021).

En el transporte neumático de granos entre los que tenemos al arroz, previene el escape de polvo, remover aire húmedo (condensaciones), disminuye el riesgo de explosiones, reduce el costo de limpieza, mejora u optimiza el ambiente de trabajo. Asimismo, se debe tomar en cuenta los componentes de la aspiración de polvos como dispositivos de succión, campanas, ductos, válvulas de control, equipos de separación como ciclones, bag filters entre otros, ventilador para producir vacío, equipo o procedimiento para manejo de polvo desechado (Valdez, 2018).

El transporte neumático de baja presión es un equipo que se utiliza como transporte neumático en fase semidensa a baja presión (Menor de 1 Bar). Las diferencias con las demás tecnologías son su bajo consumo energético y su media velocidad (Entre 10 y 15 m/s), que lo hacen idóneo para aquellos productos abrasivos, ya que a menor velocidad menor desgaste de las tuberías, reduciendo los costes de mantenimiento (Euromeca, 2022).

Algunas de las ventajas de este pulsor neumático son principalmente sustitución de elementos mecánicos; desgaste muy reducido de las tuberías con productos abrasivos; pequeños o nula degradación de los productos manipulados; pequeña o nula disgregación de productos mezclados.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a) Se determinó las variables velocidad del aire que es 26.5 m/s equivalente a 1,590 m/min, el volumen del aire es 1960 m³/h, la caída de la presión del sistema es 19.6 kPa equivalente a 2,000 mm c.a. y la potencia del ventilador seleccionado es 13.8 BKW equivalente a 18.5 HP.
- b) Se midió las características de arroz con cascarilla con forma de canoa, superficie rugosa, color amarillento; longitud entre 8 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho; peso entre 2,5 a 4,8 mg; densidad a granel de 500 kg/ m³; densidad específica de 1420 kg/ m³
- c) Se estimó el costo de adquisición de S/ 20, 076.00 para los componentes principales del sistema de transporte neumático propuesto, además de S/ 4, 410.00 para el costo de operación mensual y S/1,003.8 para el costo de mantenimiento anual, siendo este último el 5% del costo de adquisición.

5.2 Recomendaciones

- En la selección de las características del sistema de transporte neumáticos, se recomienda prioritariamente determinar el sistema de presión que se va diseñar la planta, si será de baja, mediana o alta presión.
- Se recomienda la construcción de un prototipo que permite simular el proceso de transporte neumático y validarlo con pruebas de campo en plantas con alta producción de arroz; para así demostrar que cumple con las expectativas de diseño y eficiencia con la finalidad de satisfacción de la demanda, y con un bajo costo del producto final.
- Si bien es cierto se escogieron los productos de cascarilla de arroz que tiene mayor influencia con respecto a demanda nacional, existe la posibilidad de que la línea de transporte neumático pueda ser aplicado para transportar otros granos con características físicas sean similares como trigo, café, maíz y sémola.
- Al desarrollar proyectos de diseño en el campo de la industria arrocera nos permite obtener una visión y perspectiva de la Ingeniería Mecánica en nuestro país, ya que no se cuenta con la tecnología avanzada en este campo. Por ello recomendamos a los futuros profesionales a orientarse en este sector productivo en pro del desarrollo del país, generando nuevas fuentes de trabajo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña Rivera, J. M., Cajahuanca Capcha, P., Rivera Muñoz, H. P., & Trelles Fernández, F. E.

(2017). Lima. Obtenido <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/8019>

Aman K, Class XII– a, Delhi Public School, Mathura Road New Delhi

Becerra, E. (2022). Propuesta de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado para mejorar las características del arroz. Ingeniero, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 64pp.

Cabrejos, F., Jofré, M., & Rojas, J. (2004). Transporte Neumático de Materiales Sólidos a Granel. Congreso CONAMMET, 6.

Catálogos de Everest positive displace blowers & vacuum pums, manual de selección de equipos.

Cervilla, N. Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de chenopodium quinoa willd cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de salta. Cordova : s.n., 2012. pág. 2, Paper.

Del Valle Sequeiros, G. J. (2020). Diseño de un horno con intercambiador de calor para un sistema de secado de granos utilizando la cascarilla de arroz como materia prima en el molino " El Misti". Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.

Euromeca (2022). <https://www.euromeca.com/productos/transporte-neumatico-baja-presion/>

- FAO. (2018). FAOSTAT. Recuperado 23 de septiembre de 2019, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/>
- FAO. (2019). Herramienta de Seguimiento y Análisis de los Precios Alimentarios (FPMA). Sistema Mundial de Información y Alerta sobre la Alimentación y la Agricultura (SMIA) website: <http://www.fao.org/giews/food-prices/tool/public/#/home>
- FAOSTAT. 2013. Organización de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura. Ganaderia primaria. [En línea] 2013. [Citado el: 13 de octubre de 2015.] <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QL/S>.
- FISCHER. (2021). Sistema de transporte de mineral. Lima Minero.
- FLAR. (2019). Encuesta de monitoreo y seguimiento al sector Arrocerero Latinoamericano (EMSAL). Laboratorio económico del arroz para Latinoamérica.
- Hou, D. Q., Tijsseling, A. S., & Bozkus, Z. (2014). Dynamic force on an elbow caused by a traveling liquid slug. *Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME*, 136(3), 1–11. <https://doi.org/10.1115/1.4026276>
- ITC. (2019). Trade Map—Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas. Centro de Comercio Internacional website: <https://www.trademap.org/Index.aspx>

- Leyva, J. (2015). Diseño de un Sistema de generación de energía eléctrica utilizando cascarilla de arroz producido por las molineras de arroz en la Región Lambayeque,» Chiclayo, 2015.
- MINAGRI. (2018). Plan Nacional de Cultivos 2018-2019. Ministerio de Agricultura y Riego:<http://agroarequipa.gob.pe/images/AGRICOLA/PLAN%20NACIONAL%20DE%20CULTIVOS%202018-2019%20APROBACION.compressed.pdf>
- MINAGRI. (2019). IV Censo Nacional de Arroz: En molinos, almacenes y comercios mayoristas 2019 (p. 13). Ministerio de Agricultura y Riego
- Mills, D. (n.d.). Pneumatic Conveying Design Guide (Secod; Elsevier, ed.).
- Mills, D., Jones, M., & Agarwal, V. (2001). Handbook of Pneumatic Conveying Engineering (First; M. Dekker, ed.).
- Neumática Básica. (2017). Cálculo de redes.
- Nunura Cáceres, R. A (2016). Diseño de un equipo móvil de descarga neumático para granos de 100 TM/h en embarcaciones de 8000 m³ de capacidad de almacenamiento. Tesis Ingeniero Mecánico, Pontificia Universidad Católica del Perú, 108pp.
- Nayyar, M. L. (2000). Piping handbook. McGraw-Hill.
- Ramos, F. (2020). “Diseño del sistema de extracción de polvillo de arroz - 405 Kg/hr – Caso Molino Los Ángeles S.R.L.” Tesis Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Cesar Vallejo, 68pp.

Salazar Sánchez, E. (2019). "Propuesta de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del molino y Cía. Semper S. A. C. utilizando el sistema de gasificación". Tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

SIEA. (2018). Informe de Coyuntura Arroz—2018. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias—
Ministerio de Agricultura y Riego

Stoess, H. A. 1970 Pneumatic Conveying.

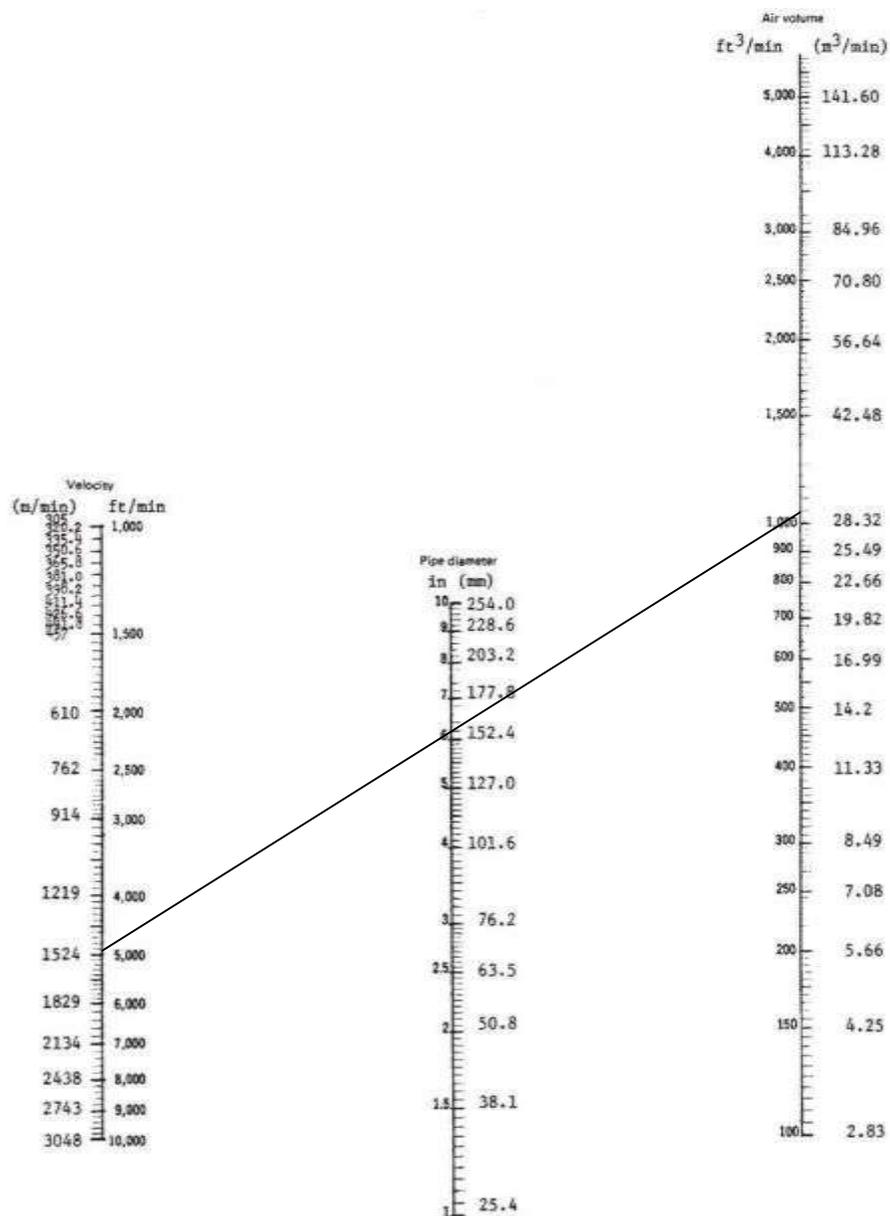
Valdez, R (2018). Sistemas de aspiración y transporte neumático, temas de ingeniería para molineros de arroz. Ediagro.

VII. ANEXOS

- Anexo 1. Nomógrafo 1
- Anexo 2. Nomógrafo 2
- Anexo 3. Nomógrafo 3
- Anexo 4. Nomógrafo 4
- Anexo 5. Nomógrafo 5
- Ensamble general
- Ciclón
- Soplador centrífugo
- Tolva
- Filtro de mangas

ANEXO 1

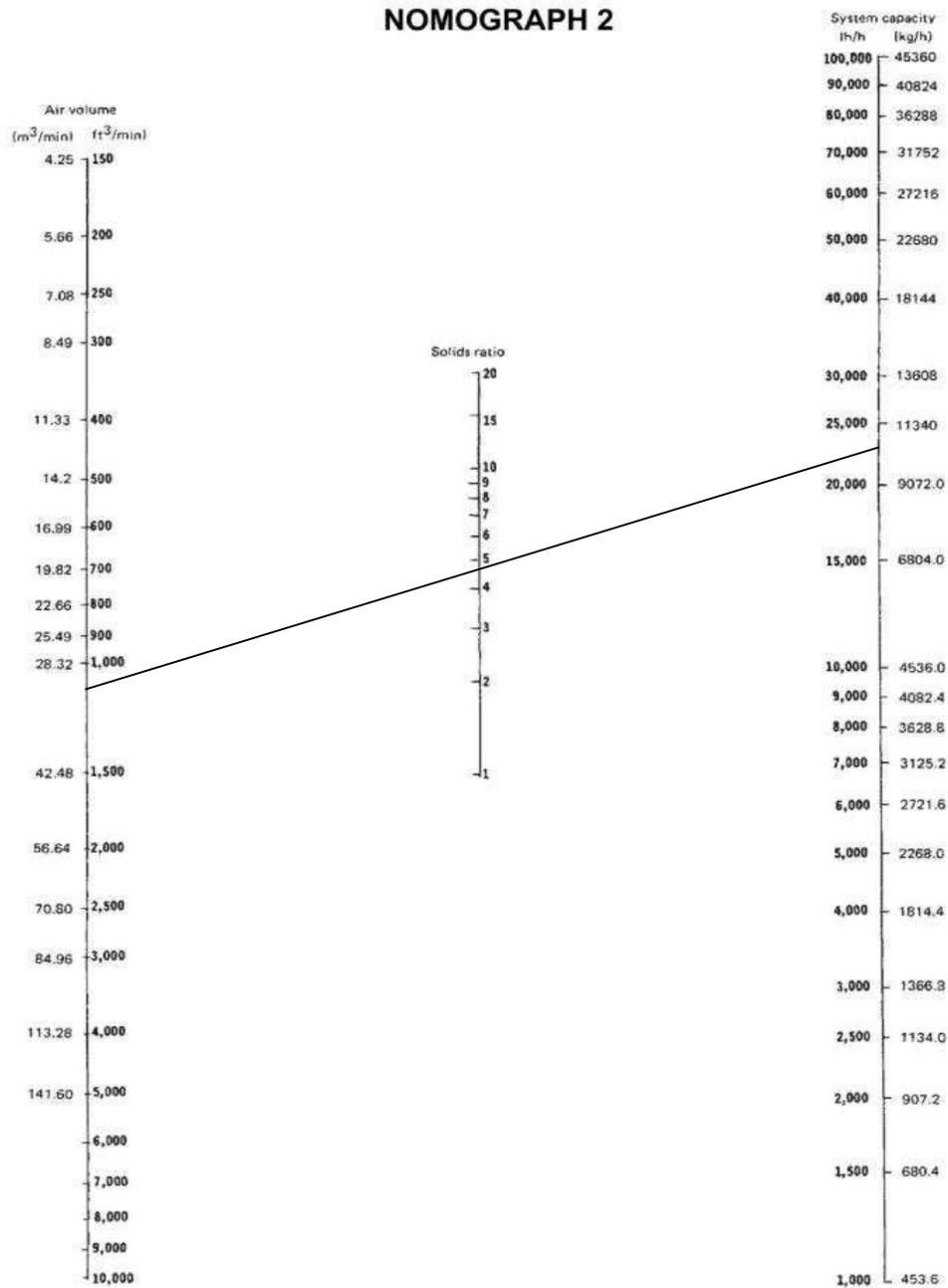
NOMOGRAPH 1



Nota: Gráfica tomada de Neumática Básica (2017).

ANEXO 2

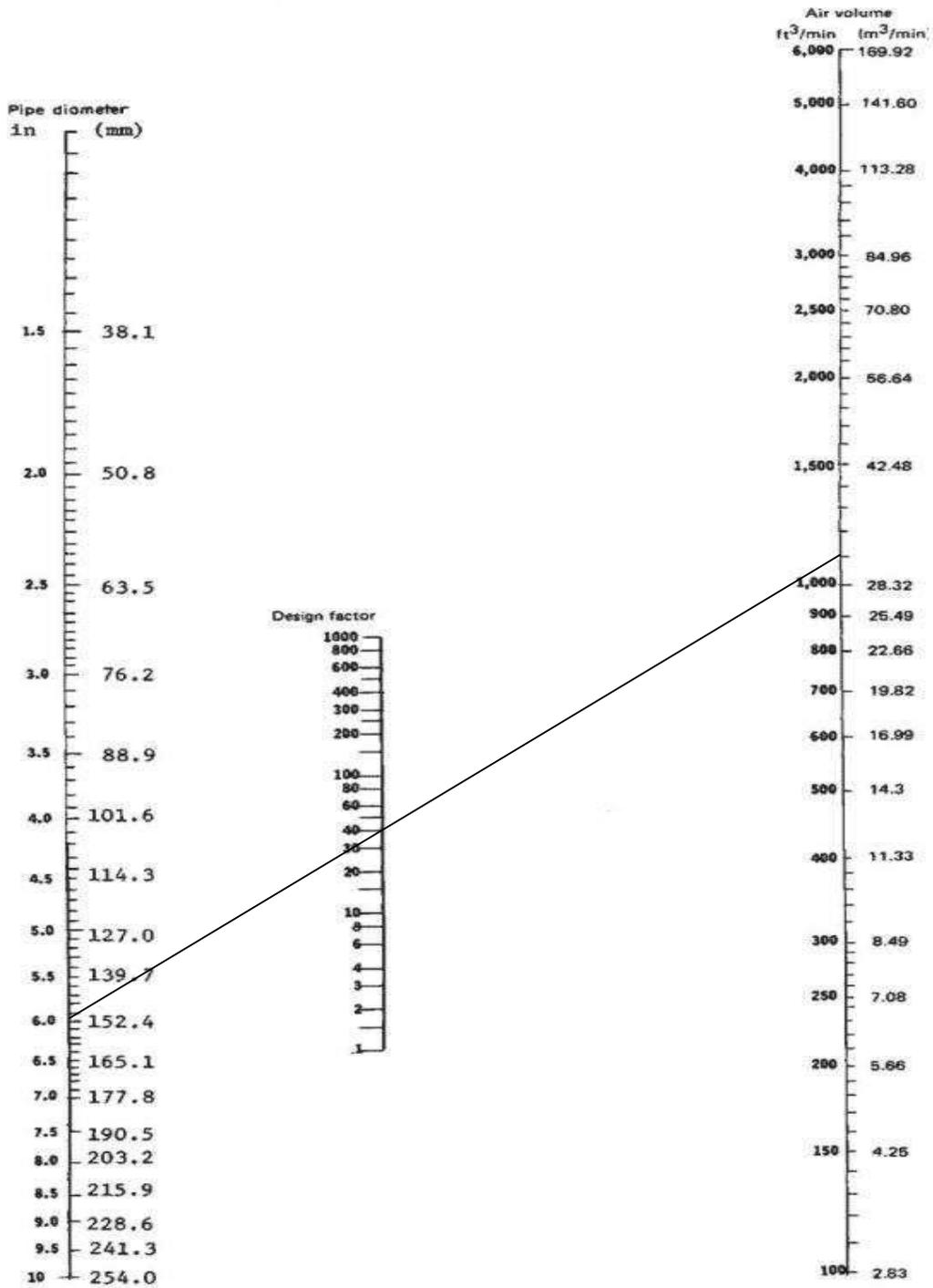
NOMOGRAPH 2



Nota: Gráfica tomada de Neumática Básica (2017).

ANEXO 3

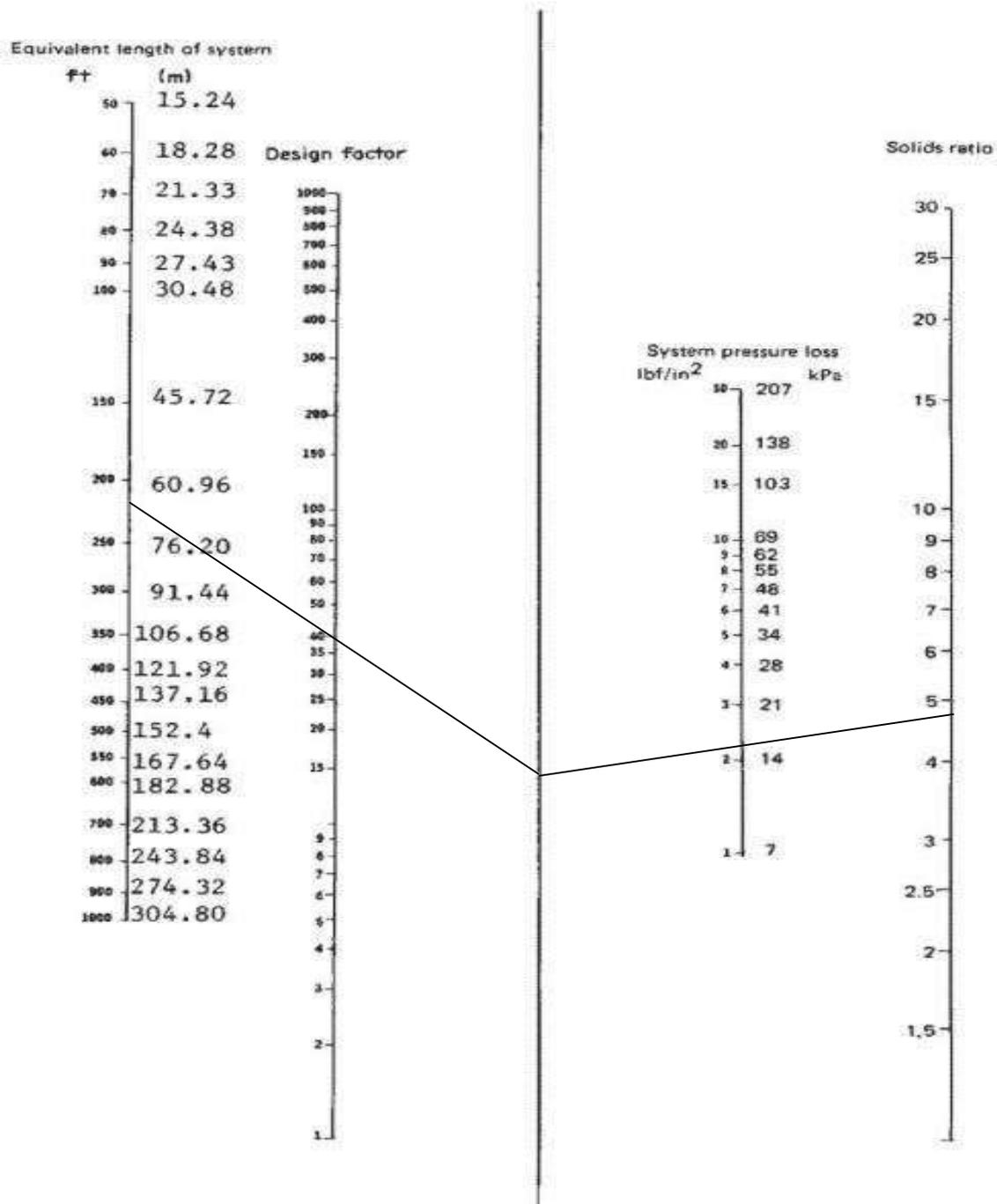
NOMOGRAPH 3



Nota: Gráfica tomada de Neumática Básica (2017).

ANEXO 4

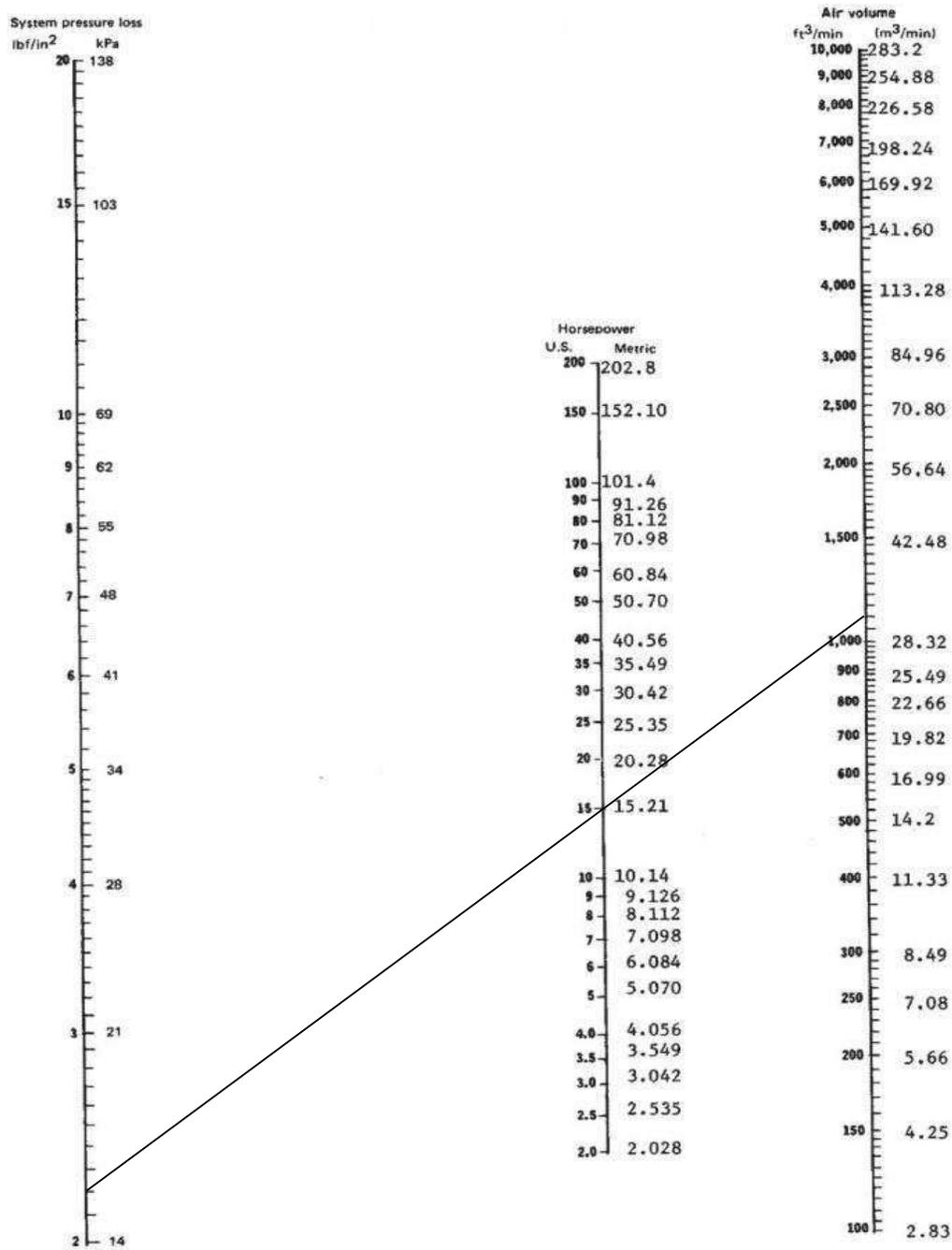
NOMOGRAPH 4



Nota: Gráfica tomada de Neumática Básica (2017).

ANEXO 5

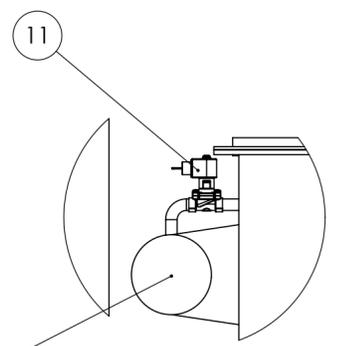
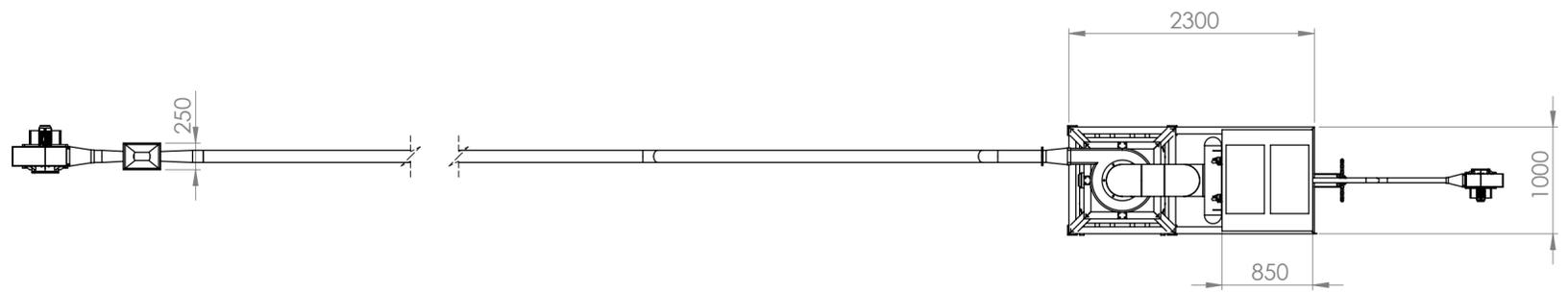
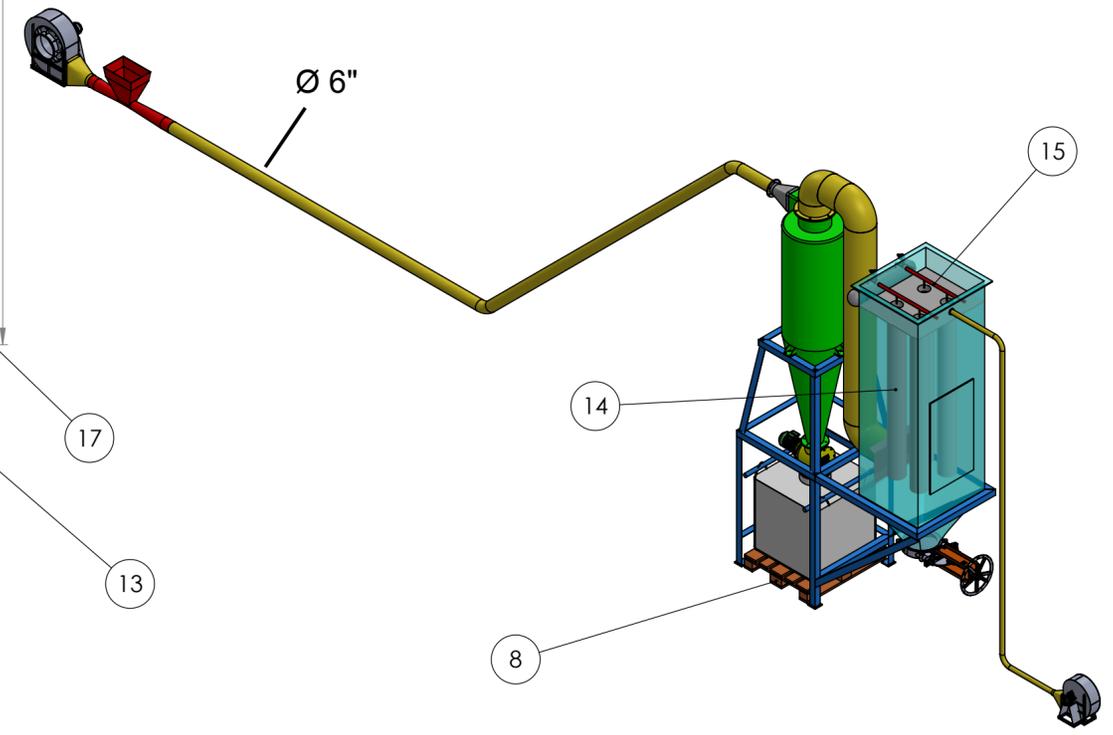
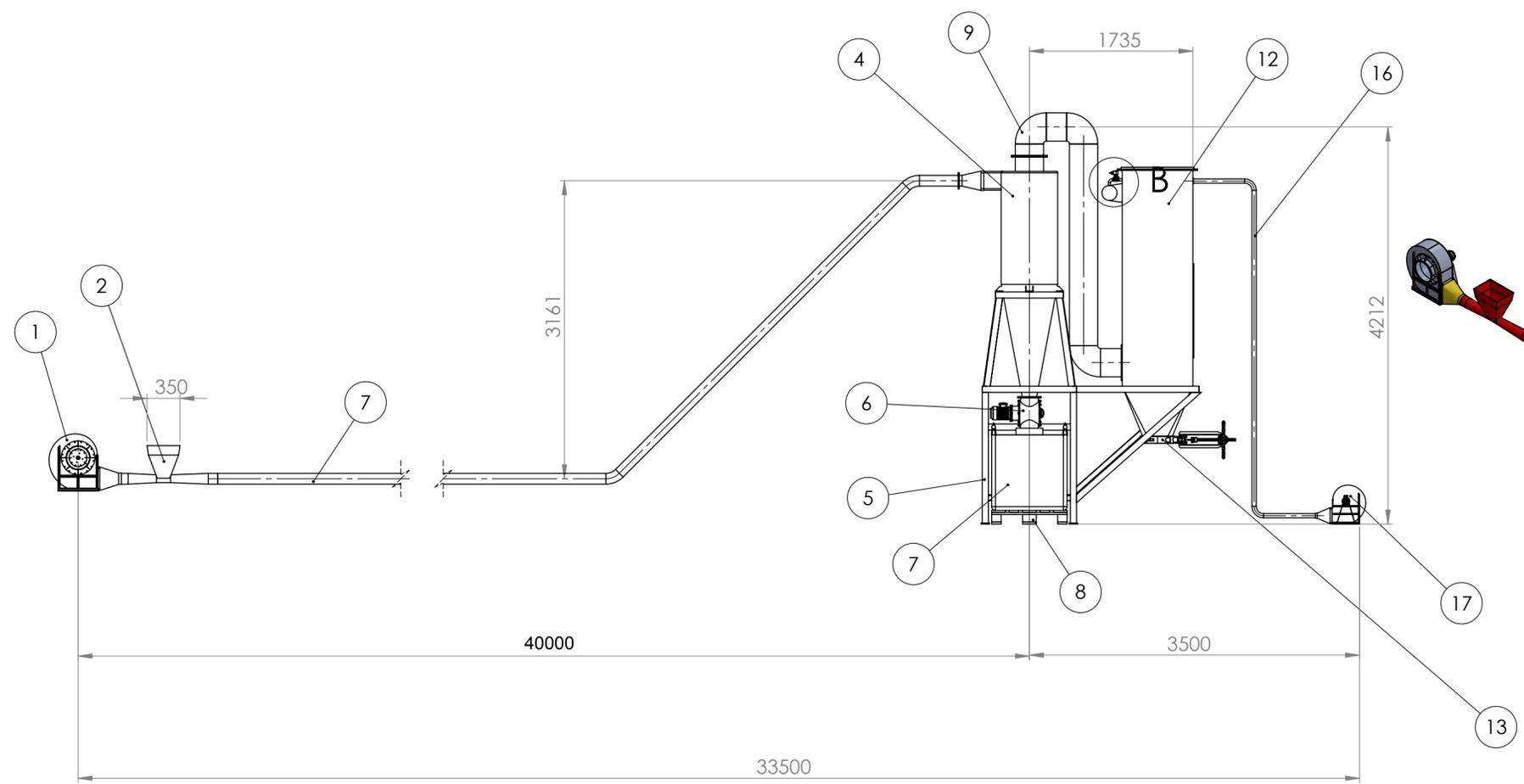
NOMOGRAPH 5



Nota: Gráfica tomada de Neumática Básica (2017).

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

H
G
F
E
D
C
B
A



DETALLE B
ESCALA 1 : 10

ITEM	DENOMINACION	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	SOPLADOR CENTRIFUGO		1
2	TOLVA		1
3	TUBERIA 6"		1
4	CICLON		1
5	ESTRUCTURA		1
6	VALVULA ROTATORIA		1
7	BIG BAG		1
8	PARIHUELA		1
9	TUBERIA 12"		1
10	PULMON		1
11	VALVULA SOLENOIDE		2
12	CUERPO FILTRO		1
13	VALVULA DE CUCHILLA		1
14	FILTRO DE MANGAS		4
15	FLAUTA		2
16	TUBERIA 3/4"		1
17	SOPLADOR CENTRIFUGO		1



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

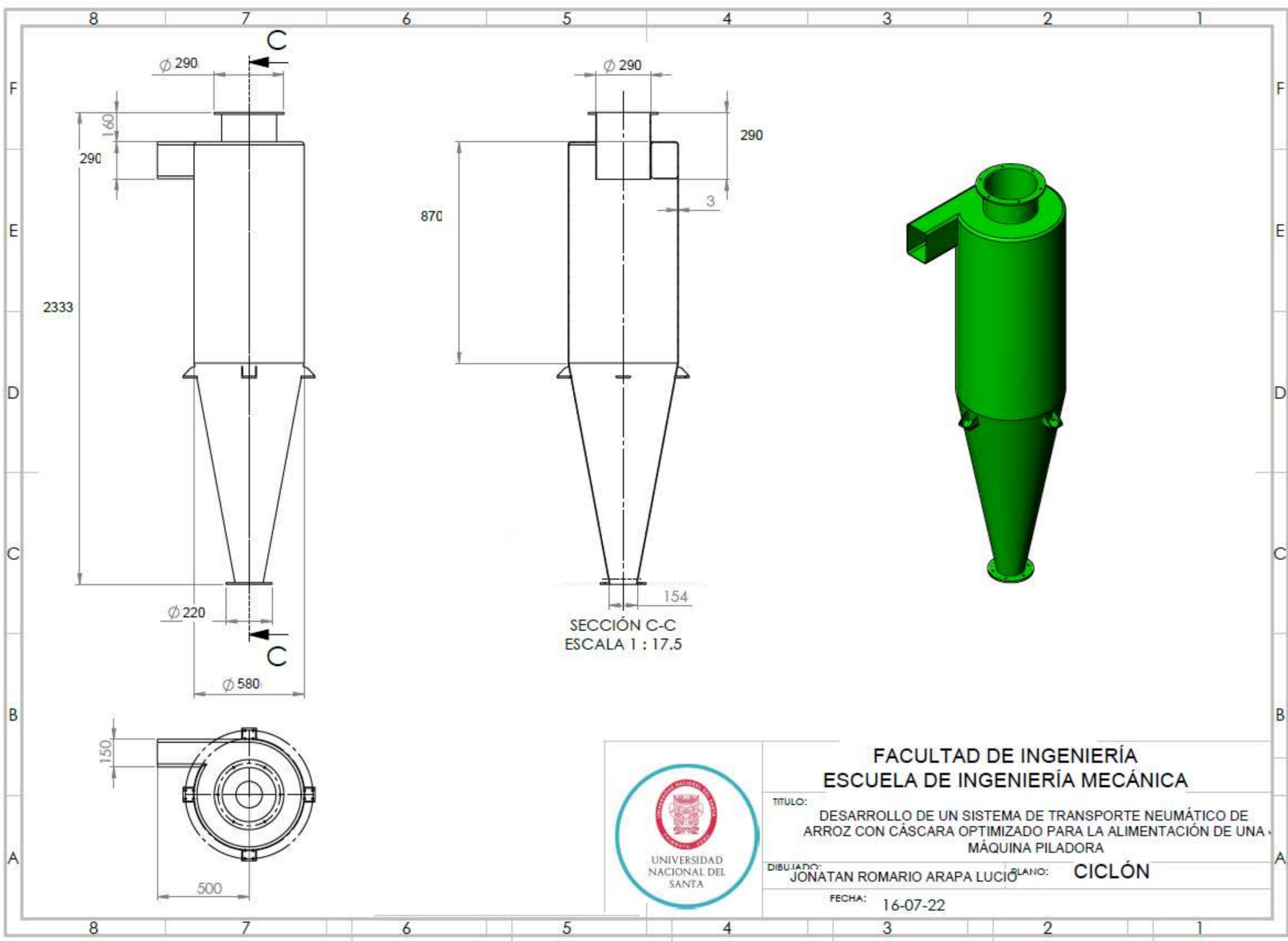
TITULO: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PILADORA

DIBUJADO: JONATAN ROMARIO ARAPA LUCIO

PLANO: ENSAMBLE GENERAL

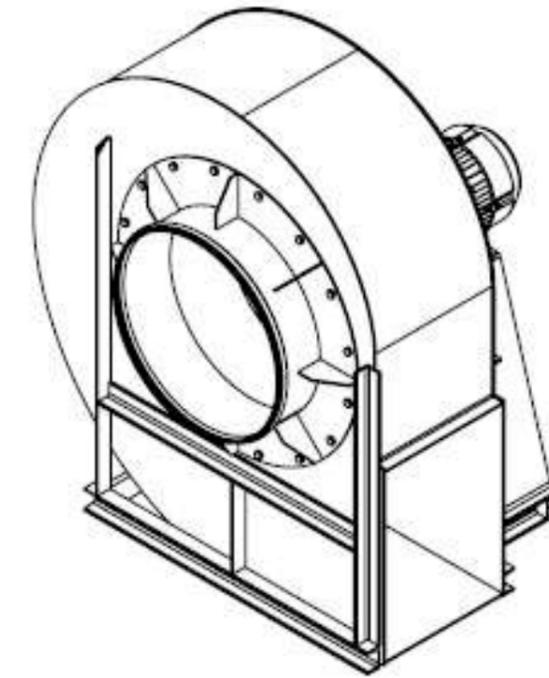
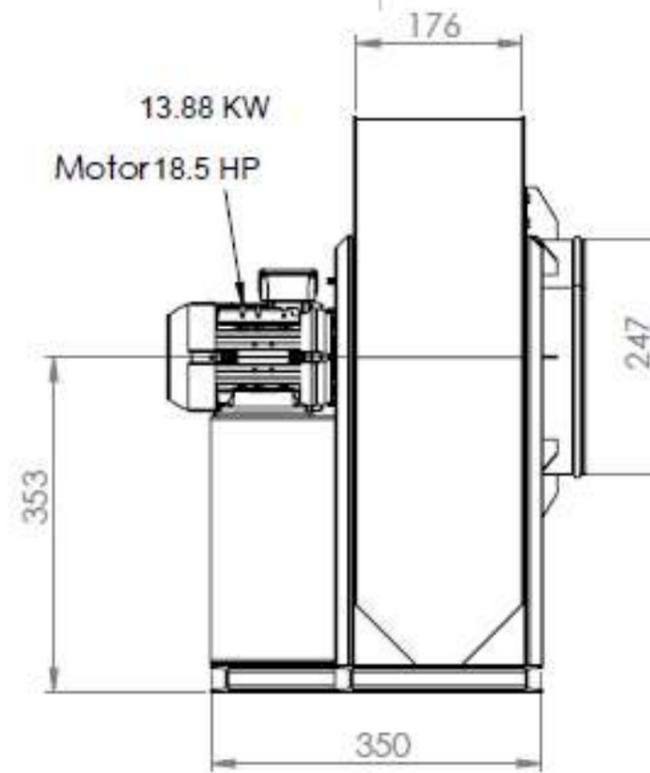
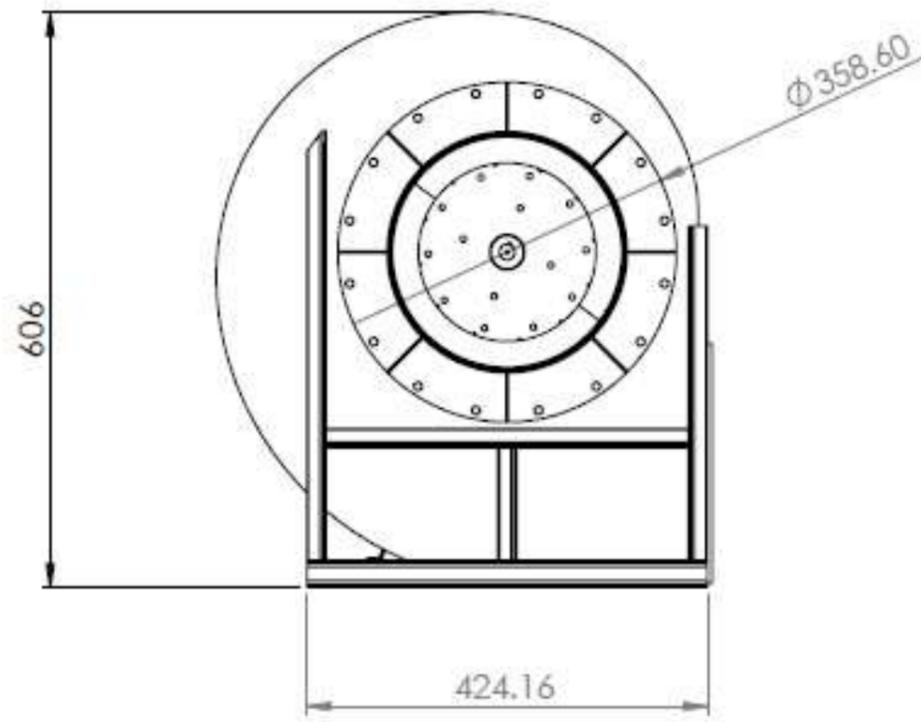
FECHA: 16-07-22

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

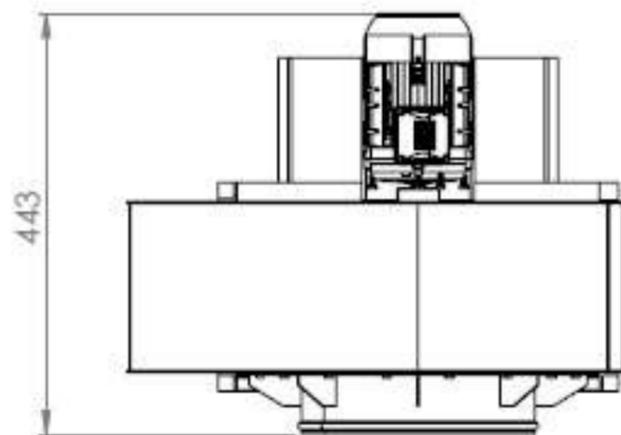


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PILADORA
 DIBUJADO: JONATAN ROMARIO ARAPA LUCIO PLANO: CICLÓN
 FECHA: 16-07-22



SOPLADOR CENTRÍFUGO EVEREST 615

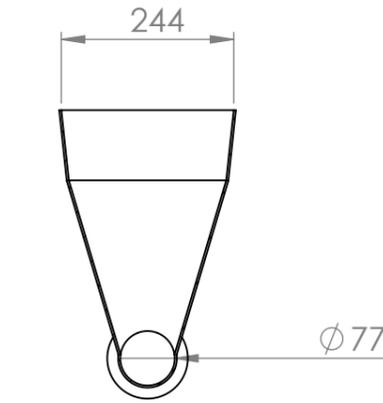
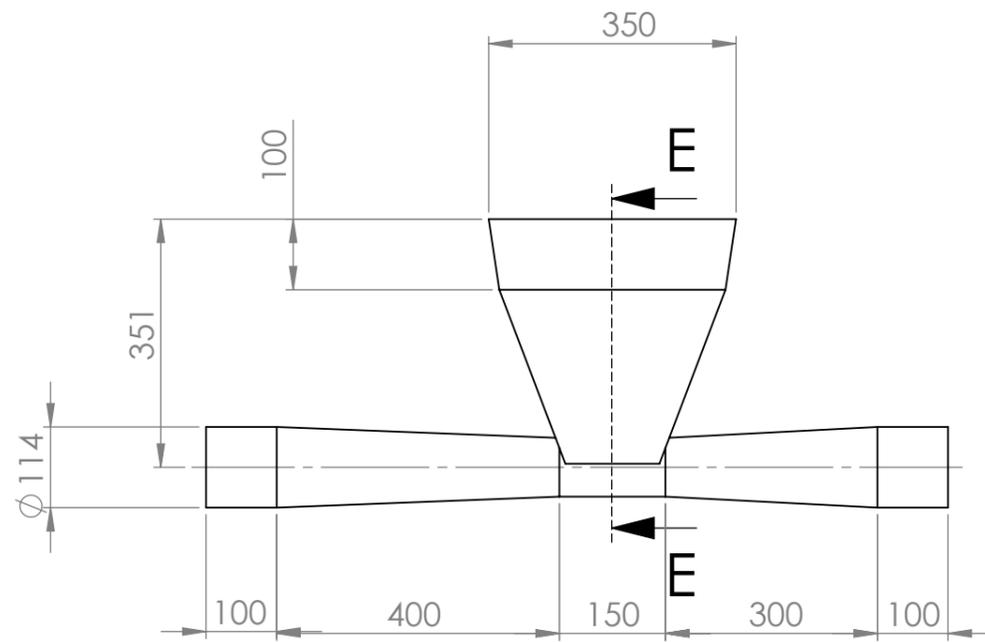


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

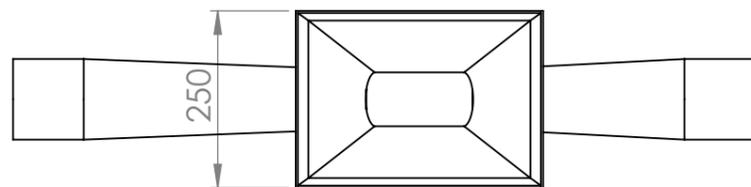
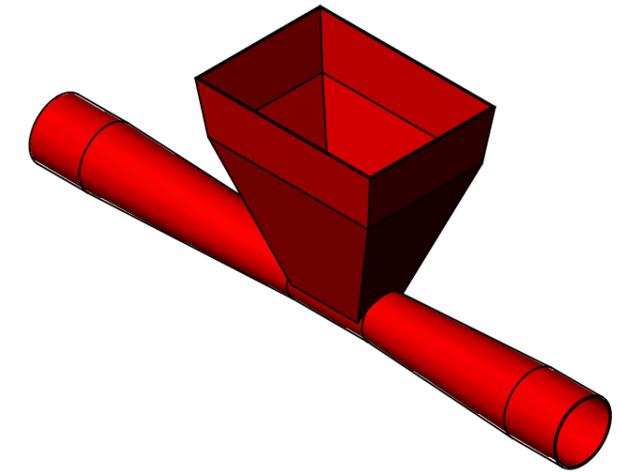
TÍTULO: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PILADORA

DIBUJADO: JONATAN ROMARIO ARAPA LUCIO PLANO: SOPLADORA

FECHA: 16-07-22



SECCIÓN E-E

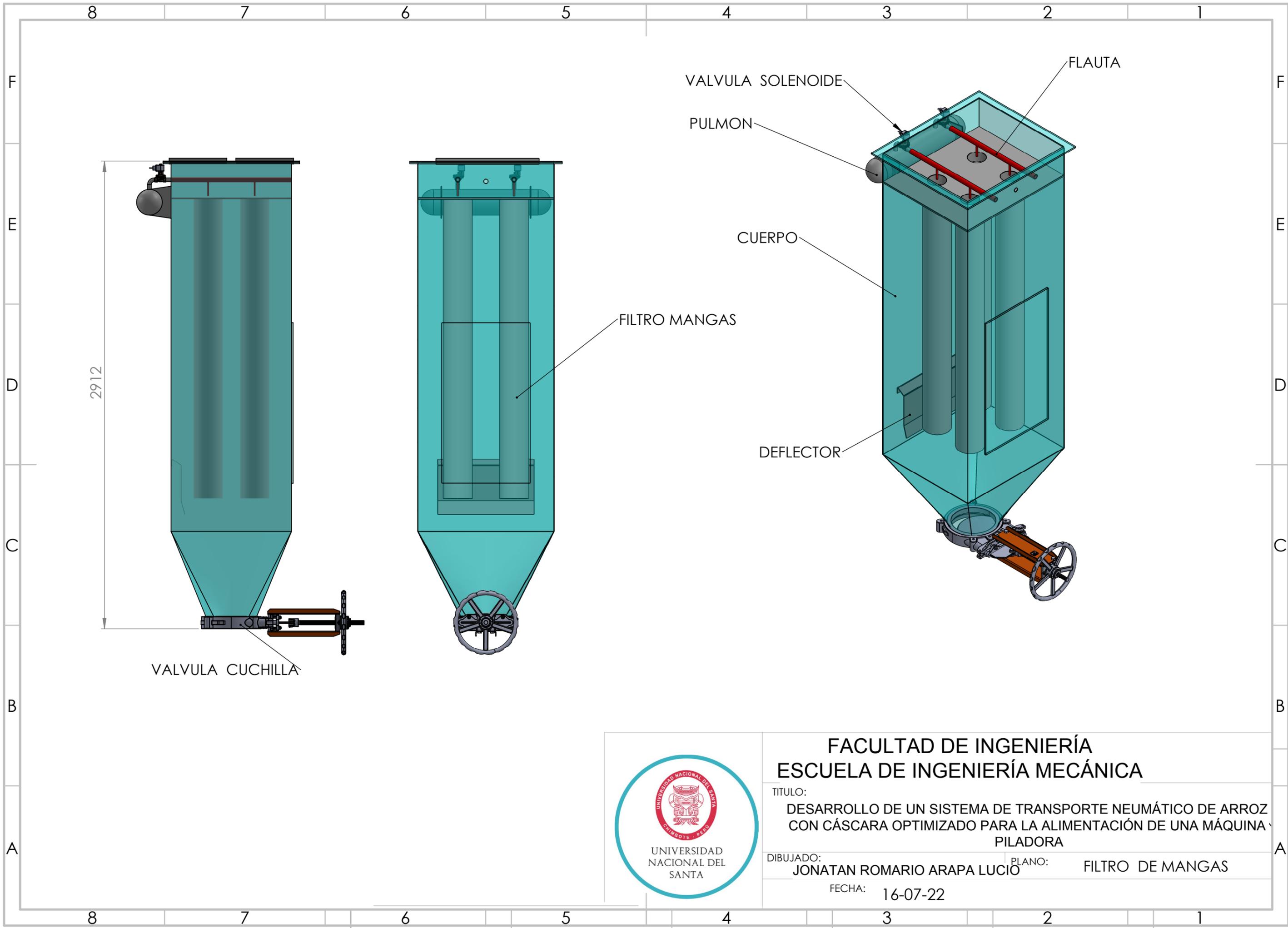


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO:
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ
CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA
PILADORA

DIBUJADO: JONATAN ROMARIO ARAPA LUCIO PLANO: TOLVA

FECHA: 16-07-22



VALVULA CUCHILLA

VALVULA SOLENOIDE

PULMON

FLAUTA

CUERPO

FILTRO MANGAS

DEFLECTOR



FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TITULO:
 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE ARROZ
 CON CÁSCARA OPTIMIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA
 PILADORA

DIBUJADO: JONATAN ROMARIO ARAPA LUCIO PLANO: FILTRO DE MANGAS

FECHA: 16-07-22



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Jonatan Romano Arapa Lucio

Facultad:	Ciencias	Educación	Ingeniería	X
-----------	----------	-----------	------------	---

Escuela Profesional: Ingeniería Mecánica

Departamento Académico: De Energía, física y Mecánica

Escuela de Posgrado	Maestría	Doctorado
---------------------	----------	-----------

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

Desarrollo de un sistema de transporte neumático de arroz con cáscara optimizado para la alimentación de una máquina piladora.

presentado en folios, para la obtención del Grado académico: ()

Título profesional: (X) Investigación anual: ()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 20 de Abril de 2023.

Firma: Jonatan A.

Nombres y Apellidos: Jonatan Romano Arapa Lucio

DNI: 48278259

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.