

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Rediseño de un sistema neumático para mejorar la eficiencia del sistema de traslado de harina de trigo en una empresa de industria alimentaria

Para obtener el título Profesional de: Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Alejandro Franc Chinguel Barrios

 [0009-0000-9580-1596](https://orcid.org/0009-0000-9580-1596)

Asesor

Dr. Francisco Ugarte Palacin

 [0000-0002-2129-9342](https://orcid.org/0000-0002-2129-9342)

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

A los números primos de mi vida, Dios trino, mi esposa, mi familia, amigos y seres queridos, cuyos valores son únicos e irreemplazables. A mis profesores y mentores, que me enseñaron las ecuaciones de la sabiduría. A las incógnitas resueltas y a las que aún quedan por descubrir, que han impulsado mi curiosidad y mi búsqueda de conocimiento.

A cada derivada que representó un cambio en mi trayectoria, y a cada integral que simboliza la suma de mis esfuerzos. Este trabajo es el resultado de la función de agradecimiento que siento hacia todos ustedes en este espacio vectorial de la vida.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las siguientes personas que han sido fundamentales en mi camino hacia la culminación de este trabajo: En primer lugar, agradezco a Papá Dios por brindarme la fuerza, la sabiduría y la inspiración necesarias para emprender este desafío académico.

A mi amada esposa, a quien le debo un profundo agradecimiento. Tu amor incondicional, paciencia y apoyo constante han sido mi roca a lo largo de este proceso. Tu sacrificio y comprensión han hecho posible que dedicara tiempo y energía a este trabajo.

A mis padres y hermana, quienes han sido mi fuente de inspiración desde el principio. Su apoyo inquebrantable y confianza en mis capacidades me han impulsado a superar obstáculos y alcanzar mis metas. Gracias por ser mis modelos de fe para seguir.

A toda mi familia en su totalidad, por su apoyo continuo y por comprender las demandas de este proyecto. Vuestra presencia en mi vida es un regalo invaluable.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado a lo largo de este viaje. Vuestra amistad, ánimo y apoyo han sido esenciales para mantenerme motivado y centrado en mi objetivo.

Resumen

El objetivo de este trabajo de suficiencia es diseñar un sistema neumático para el traslado de harina en una empresa de la industria alimentaria. El problema central reside en la importancia de la ruta crítica de abastecimiento de harina en la cadena de producción de alimentos, donde la harina representa aproximadamente el 50% al 60% de los ingredientes en la preparación de productos alimenticios (Cauvain, S.; Young, L., 2006). Interrupciones frecuentes en este proceso, causadas por diversos factores como problemas en la cadena de suministro, fallos en equipos y condiciones climáticas variables, tienen un impacto negativo en términos económicos y en la calidad del producto final.

La hipótesis plantea que la implementación de un sistema neumático mejorará la eficiencia en la producción, reduciendo las interrupciones en el proceso y, por ende, mitigando las consecuencias negativas en la economía de la empresa y en la calidad de los alimentos producidos

Palabras claves: Transporte neumático de sólidos, harina de trigo, planta de alimentos, parada de planta, rediseño de equipos.

Abstract

The objective of this sufficiency work is to design a pneumatic system for the transportation of flour in a company in the food industry. The central problem lies in the critical path of flour supply in the food production chain, where flour represents approximately 50% to 60% of the ingredients in the preparation of food products (Cauvain, S.; Young, L., 2006). Frequent interruptions in this process, caused by various factors such as supply chain issues, equipment failures, and variable weather conditions, have a negative impact in economic terms and on the quality of the final product.

The hypothesis suggests that the implementation of a pneumatic system will improve efficiency in production by reducing interruptions in the process, thereby mitigating the negative consequences on the company's economy and the quality of the produced food.

Keywords: Pneumatic transport of solids, wheat flour, food plant, plant shutdown, equipment design.

Prólogo

El presente trabajo de suficiencia profesional inicia con la finalidad de adentrarse en un campo de conocimiento intrínseco al ámbito de la ingeniería y la tecnología. Se erige como una investigación que persigue los aspectos relativos al transporte neumático de sólidos, una temática de creciente importancia que suscita un interés cada vez más notable en los círculos académicos y en la industria.

El Capítulo I, titulado "Introducción", se propone presentar de manera concisa y rigurosa las generalidades inherentes a la investigación, así como una descripción pormenorizada del problema de investigación. A su vez, se establecerán con precisión los objetivos del estudio, tanto el objetivo general como los objetivos específicos que servirán como directrices para el desarrollo de la investigación. En este capítulo se llevará a cabo un análisis de los antecedentes investigativos, tanto a nivel internacional como nacional, que fundamentan y contextualizan la presente labor académica.

El Capítulo II, bajo el título de "Marcos teórico y conceptual", abordará la base teórica y conceptual que subyace al transporte neumático de sólidos. Se explorarán aspectos esenciales, que comprenden desde el diseño mecánico hasta los componentes claves, tales como el soplador y el tamizador. Asimismo, se examinarán las diversas clasificaciones de los transportes neumáticos y se analizarán detenidamente los factores determinantes de su funcionamiento, como las pérdidas de carga, los flujos máscicos, la caída de presión y la velocidad del gas. Paralelamente, se esbozarán conceptos fundamentales relativos a la neumática, el flujo, el gas, y otros elementos de relevancia en este campo de estudio.

El Capítulo III versará sobre la formulación de hipótesis que se erigirán como guía fundamental en el curso de la investigación. En adición, se procederá a la operacionalización de variables, delineando con precisión las variables dependientes e independientes que orientarán la labor investigativa.

El Capítulo IV abordará la metodología de la investigación, comprendiendo tanto el tipo como el diseño de esta. Se detallarán aspectos relativos al enfoque, alcance y diseño de la investigación. La unidad de análisis será claramente especificada, y las etapas del proceso investigativo, desde la recolección de datos hasta el análisis de la información, se desarrollarán minuciosamente. La presentación de una matriz de consistencia proporcionará una visión integral de la estructura y organización de la investigación.

El Capítulo V se dedicará al desglose y exposición de los hallazgos y resultados obtenidos durante la ejecución de la investigación.

El Capítulo VI llevará a cabo un análisis exhaustivo y una discusión profunda de los resultados, evaluando su relevancia y significado en el contexto de la investigación.

Por último, se presentarán las conclusiones extraídas de la investigación y se propondrán recomendaciones que puedan ser de utilidad tanto para la comunidad académica como para la industria, en el contexto del transporte neumático de sólidos. Este trabajo de investigación representa un esfuerzo erudito con el propósito de enriquecer el conocimiento y la comprensión de una temática de gran envergadura en el ámbito de la ingeniería y la tecnología, proporcionando valiosas contribuciones a la comunidad académica y a la industria.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Prólogo.....	vii
1. Capítulo I. Introducción	4
1.1 Aspectos generales.....	4
1.2 Descripción del problema de investigación	6
1.3 Objetivo del estudio.....	10
1.3.1 Objetivo.....	10
1.4 Antecedentes investigativos	11
1.4.1 Internacionales	11
1.4.2 Nacionales.....	17
2. Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	19
2.1 Fundamento técnicos y de ingeniería.....	19
2.1.1 Diseño mecánico.....	19
2.1.2 La harina de trigo.....	19
2.1.3 Clasificación de los transportes neumáticos para sólidos.....	22
2.1.4 Aire de proceso	23
2.1.5 Soplador para transporte de solidos	24
2.1.6 Desplazamiento positivo de sólidos.....	24
2.1.7 Utilización del centrifugo	25

2.1.8	Utilización del tamizador	26
2.1.9	Transporte vertical de sólidos	28
2.1.10	Transporte horizontal de sólidos.....	30
2.1.11	Perdidas de carga en transporte neumático.....	31
2.1.12	Flujos máxicos en sólidos	32
2.1.13	Caída de presión	33
2.1.14	Velocidad del aire	34
2.2	Marco conceptual.....	35
2.2.1	Transporte neumático	35
2.2.2	Flujo de aire.....	35
2.2.3	Aire de proceso	35
2.2.4	Parada de planta	35
2.2.5	Silos de harina.....	36
2.2.6	Ciclón.....	36
2.2.7	Tamizador.....	36
3.	Capítulo III. Hipótesis y Operacionalización de variables	37
3.1	Hipótesis.....	37
3.2	Operacionalización de variables.....	37
3.2.1	Variable dependiente	37
3.2.2	Variable Independiente	37

4. Capítulo IV. Metodología de la investigación	38
4.1 Tipo y diseño de la investigación	38
4.1.1 Enfoque	38
4.1.2 Alcance	39
4.1.3 Diseño de la investigación	39
4.2 Unidad de Análisis.....	39
4.3 Etapas de la investigación	40
4.3.1 Recolección de datos	40
4.3.2 Procesamiento de la información.....	40
4.3.3 Análisis de la información	41
4.4 Matriz de consistencia.....	42
5. Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación.....	43
5.1 Condiciones iniciales de planta.....	43
5.1.1 Equipos y accesorios	44
5.1.2 Requerimientos y capacidades de operación.....	47
5.2 Condiciones actuales de planta	50
5.2.1 Equipos y accesorios	53
5.2.2 Requerimientos y capacidades	56
5.3 Cálculos y resultados	60
5.3.1 Datos de ingreso	60
5.3.2 Cálculos generales	61

5.3.3 Simulación de análisis de fluidos	69
6. Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados	73
6.1 Material de la Tubería (SS304, 2mm de espesor):	73
6.2 Soplador de Desplazamiento Positivo:	73
6.3 Parámetros de estado: Presión y Temperatura:	73
6.4 Presión de Descarga y Caudal:	74
6.5 Eficiencia de Producción:.....	74
Conclusiones	75
Recomendaciones.....	76
Referencias bibliográficas	77
Anexos	79

Índice de tablas

Tabla 4.1 Matriz de consistencia.....	42
Tabla 5.1 Requerimiento de harina de planta.....	47
Tabla 5.2 Recopilación de tiempos de descarga de bombonas	48
Tabla 5.3 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta. ..	49
Tabla 5.4 Requerimiento de harina de planta.....	56
Tabla 5.5 Recopilación de tiempos de descarga de bombonas	57
Tabla 5.6 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta ...	58
Tabla 5.7 Longitudes equivalentes de tubería	61
Tabla 5.8 Datos y resultados.....	61
Tabla 5.9 Límites de operación y utilización.....	62
Tabla 5.10 Presión de transporte vs presión diferencial GM 35S	63
Tabla 5.11 Caudal requerido vs Caudal máximo GM 35S	63
Tabla 5.12 Características de equipos tamizadores	64
Tabla 5.13 Comparativa de flujo de consumo de masa y llenado de silo en condiciones iniciales.....	65
Tabla 5.14 Comparativa de flujo de consumo de masa y llenado de silo en condiciones actuales	67

Lista de Figuras

Figura 1.1 Tipos de transporte neumático	4
Figura 1.2 Anatomía de un ciclón	5
Figura 1.3 Costo de importaciones de harina en Perú.....	7
Figura 1.4 Producción de harina de trigo del Perú.....	9
Figura 1.5 Indicador internacional (US\$/TM).....	10
Figura 2.1 Gradiente de presión en función de la velocidad superficial	28
Figura 2.2 Gradiente de presión en función de la velocidad superficial	30
Figura 4.1 Ubicación de planta Lima Mondelēz.....	39
Figura 5.1 Diagrama de flujo del anterior proceso.	43
Figura 5.2 Soplador del transporte neumático.....	44
Figura 5.3 Silos exteriores.....	45
Figura 5.4 Ciclón y tornillo sinfín	45
Figura 5.5 Tamizador y trampa magnética	46
Figura 5.6 Silos interiores.....	46
Figura 5.7 Diagrama de flujo en la actualidad	50
Figura 5.8 Distribución de equipos actualmente.....	51
Figura 5.9 Distribución de equipos actualmente en 3D.....	52
Figura 5.10 Distribución de equipos actualmente en 3D.....	53

Figura 5.11 Tamizador de harina.....	53
Figura 5.12 Válvula diverter.....	54
Figura 5.13 Parte superior del silo interno 1.....	54
Figura 5.14 Válvula antideflagrante.....	55
Figura 5.15 Tendido de tubería de acero inoxidable.....	55
Figura 5.16 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta.....	59
Figura 5.17 Flujo de consumo vs flujo de llenado en condiciones iniciales.....	66
Figura 5.18 Flujo de consumo vs flujo de llenado en condiciones actuales.....	68
Figura 5.19 Análisis de fluidos del tramo 1.....	69
Figura 5.20 Análisis de fluidos del tramo 1.....	69
Figura 5.21 Análisis de fluido en el tramo 2.....	70
Figura 5.22 Análisis estructural – silo 3.....	70
Figura 5.23 Análisis estructural – silo 1 y 2.....	71

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales

En este informe de suficiencia, se detalla el procedimiento de transferencia de harina de trigo desde el silo de recepción hacia el interior de la planta. Para lograrlo, se ha llevado a cabo un cálculo de rediseño de tuberías, equipos y tiempos de llenado. El objetivo principal de este análisis es minimizar las interrupciones en la operación de la planta debido a posibles fallos en los equipos o bloqueos en las tuberías, optimizando así el tiempo de traslado. Para ello, se han calculado y optimizado los parámetros relevantes. En la figura 1.1, se presenta el actual sistema de funcionamiento.

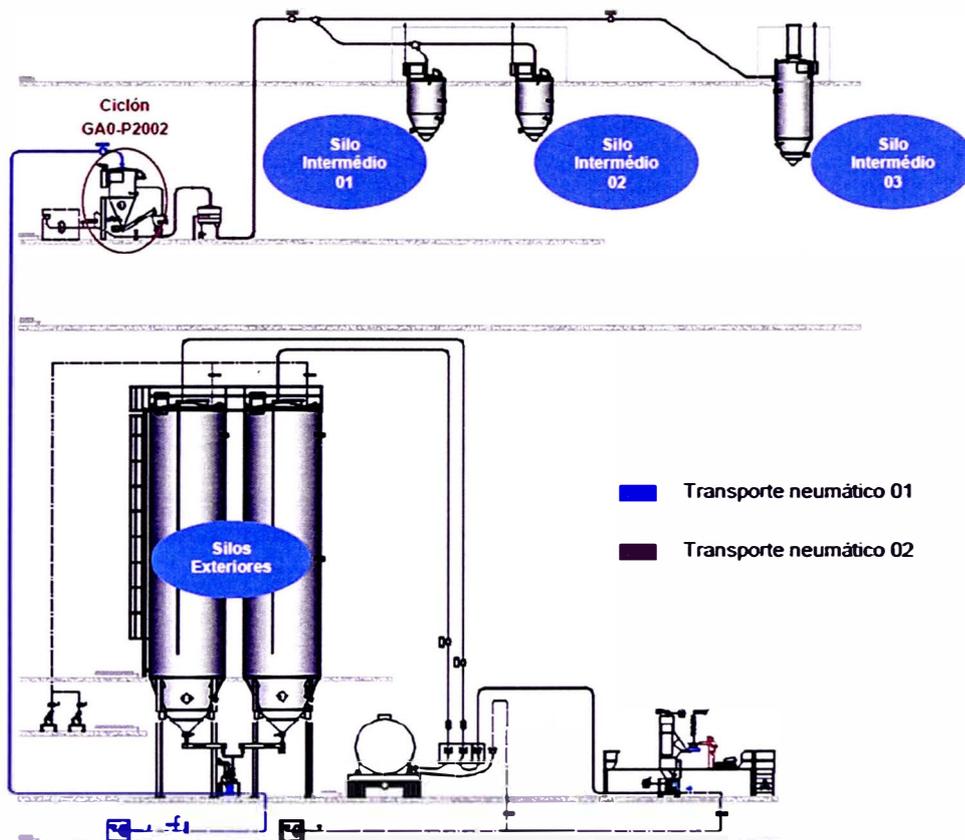


Figura 1.1 Tipos de transporte neumático

Fuente: RCT Solutions. (2023) , "Diagrama de flujo de recepción de harina"

El ciclón GA0-P2002 cumple la función de transición entre el primer y el segundo sistema de transporte neumático, ambos encargados de transferir harina desde los silos exteriores hasta los silos intermedios. Estos sistemas de transporte operan de manera continua y son sometidos a un alto nivel de exigencia, lo que dificulta las labores de mantenimiento y genera una presión interna en el ciclón que supera los 50 mbar, activando el presostato del sistema de protección contra explosiones.

Esta situación se agrava cuando no se lleva a cabo una limpieza manual frecuente de las mangas. Debido a la alta ocupación de estos sistemas, solo existen intervalos limitados en los que se realiza una limpieza automática eficiente, sin que esto tenga un efecto contrario en el rendimiento del sistema de transporte neumático. En la figura 1.2 se expone la anatomía del ciclón.

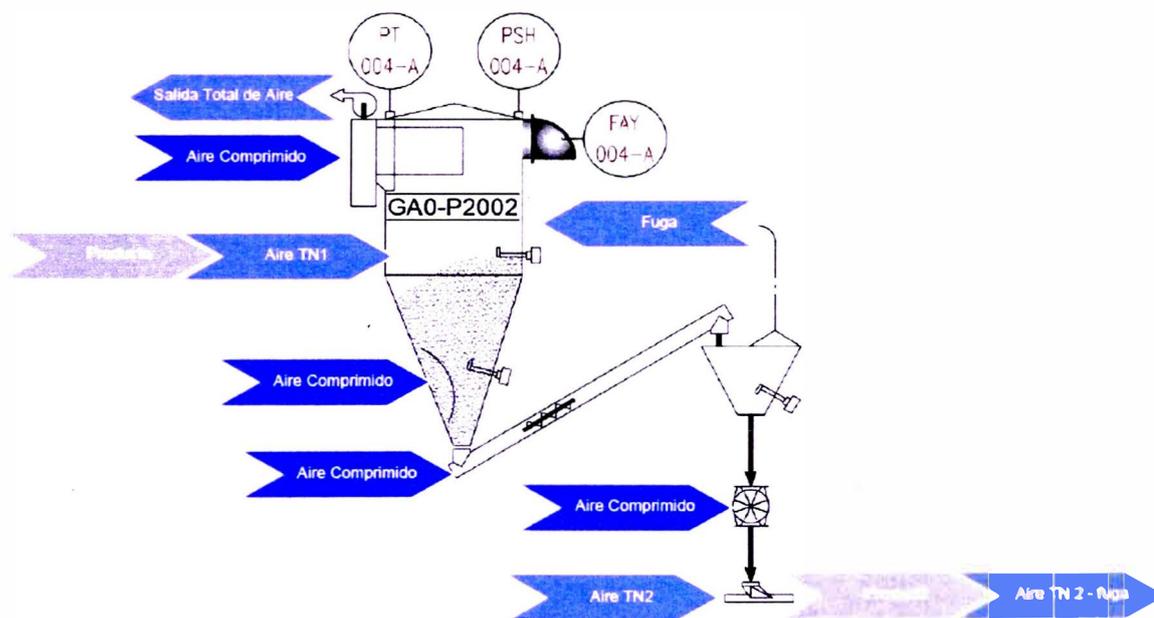


Figura 1.2 Anatomía de de un ciclón

Fuente: RCT Solutions. (2023) , "Ciclón de recepción"

La entrada de aire en un ciclón proviene de diversas fuentes, sin embargo, debido a su tamaño reducido, conlleva dificultades al intentar absorber picos de presión en períodos en los que las mangas de filtración se encuentran contaminadas.

1.2 Descripción del problema de investigación

La ruta de abastecimiento de harina es de carácter crucial en la cadena de producción de alimentos derivados de esta, debido a que la proporción de harina en la preparación oscila entre 50% a 60% (Cauvain, S.; Young, L., 2006), en consecuencia, las interrupciones en este proceso generan repercusiones económicas y en la calidad del producto. Estas interrupciones se originan a partir de múltiples factores, tales como problemas en la cadena de suministro, fallos en equipos, y variables climáticas, entre otros.

Causas de la parada de planta

Problemas en la cadena de suministro constituyen una de las principales causas de paradas de planta en el abastecimiento de harina. Este problema puede manifestarse como retrasos en la entrega de harina debido a dificultades logísticas, huelgas en el sector de transporte, escasez de materias primas e importaciones.

Entre los principales países proveedores de trigo a Perú, en el caso del trigo blando, se destacan Canadá (con una participación del 75% en 2021), Estados Unidos (con un 12%) y Argentina (con un 10%), que representan el 96,5% del suministro total. El restante 3,5% corresponde a Rusia, que participa de manera

ocasional. En cuanto al trigo duro, el 100% proviene de Canadá. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), 2022)

Recientemente, las estadísticas revelan un aumento constante en las importaciones de trigo en el Perú. Según los datos más recientes, en el año anterior, el volumen de importaciones de trigo ascendió a 1.5 millones de toneladas métricas. Estas importaciones desempeñan un rol fundamental al satisfacer la creciente demanda de trigo en el país, ya que la producción nacional no es suficiente para abastecer al mercado interno. (Banco Central de Reserva del Perú, 2023)

En la siguiente *Figura 1.3*, se muestra las importaciones de harina.

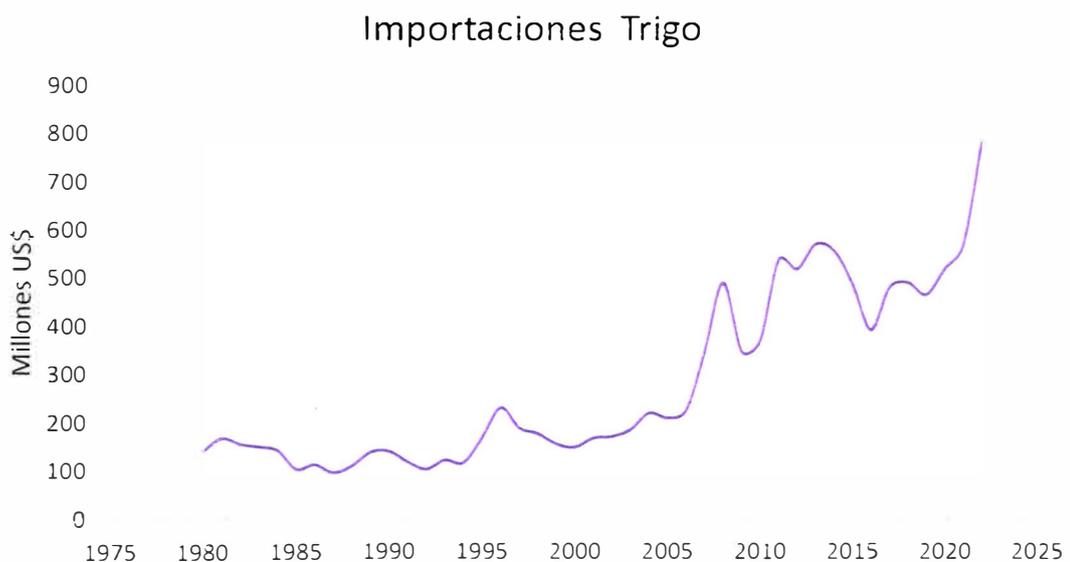


Figura 1.3 Costo de importaciones de harina en Perú

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú, (2023), "Tendencia de importaciones de trigo"

Desafíos climáticos y producción: Condiciones climáticas extremas, como el fenómeno del niño, inundaciones, sequías o fuertes nevadas, también influyen significativamente en la ruta de abastecimiento de harina. Estos eventos climáticos generaran interrupciones en la producción de harina y consecuentemente paradas en la planta de producción.

En el 2022, la producción de trigo en Perú supera las 200.000 toneladas anuales en promedio, cultivadas en 235.000 hectáreas, con un rendimiento promedio de 1,8 toneladas por hectárea. La mayoría de las áreas destinadas al cultivo de trigo en el país se ubica en la sierra. Sin embargo, estas 200.000 toneladas solo cubren el 9% de la demanda nacional. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), 2022)

Hasta el año 2015, la producción nacional de trigo se mantenía por encima de las 200.000 toneladas. Sin embargo, a partir de ese año, la producción ha disminuido gradualmente, alcanzando su punto más bajo en 2020 con 186.835 toneladas. Afortunadamente, en 2021 se registró una recuperación de la producción nacional, con un aumento del 8,3% (hasta llegar a las 203.124 toneladas). Además, en el período de enero a julio de 2022, se ha alcanzado una producción de 123.400 toneladas, un ligero incremento del 0,03% respecto al mismo período del año anterior. (Banco Central de Reserva del Perú, 2023)

En la siguiente *Figura 1.4* se muestra la producción nacional

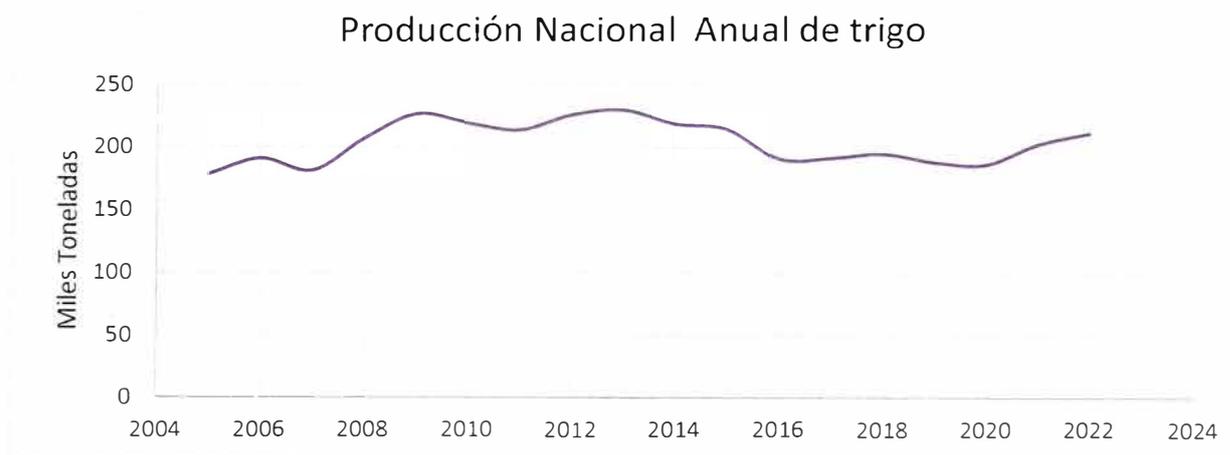


Figura 1.4 Producción de harina de trigo del Perú

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú, (2023) , "Producto nacional Anual de trigo"

Fallos en equipos de transporte y procesamiento de harina representan otra causa relevante de paradas de planta. Averías en cintas transportadoras, molinos, equipos críticos y otros dispositivos detienen completamente la producción, resultando en pérdidas económicas sustanciales.

Consecuencias de una parada de planta

Pérdidas económicas: Las interrupciones en la producción resultan en pérdidas económicas directas debido a la falta de productos terminados y la necesidad de descartar materias primas no utilizadas y merma.

Daño a la reputación: Las paradas de planta causan retrasos en la entrega de productos a los clientes, lo cual puede afectar la reputación de una empresa. El indicador internacional (dólares /Toneladas de producción) a lo largo del tiempo desde 1922 ha tenido altibajos con tendencia en los últimos años al alza como se muestra en la siguiente *Figura 1.5*

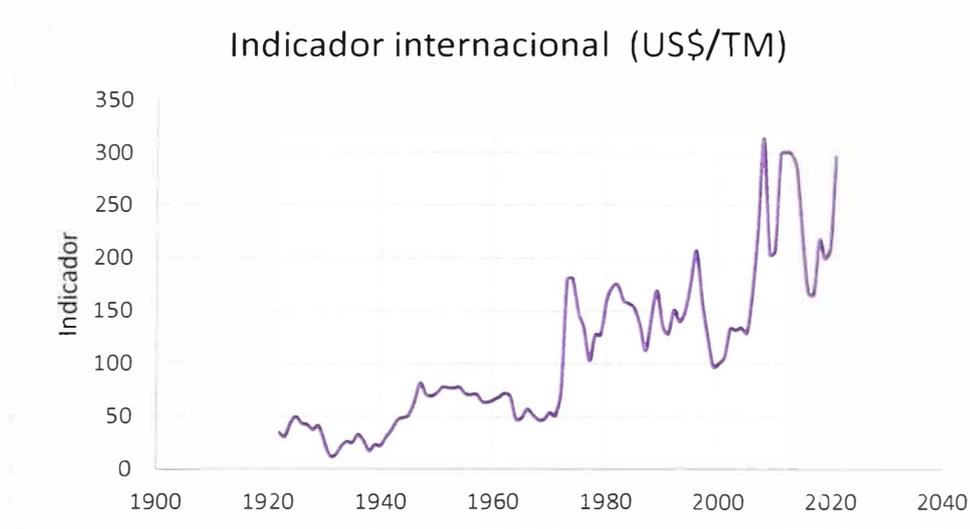


Figura 1.5 Indicador internacional (US\$/TM)

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú, (2023) , "Indicador Internacional"

Costos de mantenimiento, reparación y cambio de equipos: La reparación de equipos dañados y la implementación de medidas correctivas para prevenir paradas de planta conllevan costos adicionales.

¿En que medida la inadecuada subdimensión de capacidades afecta negativamente la producción por equipos de transporte de sólidos?

1.3 Objetivo del estudio

1.3.1 Objetivo

Diseñar un sistema neumático, para el traslado de harina en una empresa de industria alimentaria.

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 Internacionales

Perez Peralta, Antonio (2020). “Diseño de una instalación de transporte neumático para un proceso de molienda”

El proyecto consiste en diseñar y dimensionar una instalación neumática de transporte de sólidos. En esta instalación, varios separadores ciclónicos estarán conectados a un único ventilador y funcionan simultáneamente a través de un colector de aspiración. La alimentación de semillas de algarroba a la línea de producción es de 2.000 Kg/h, con una granulometría variable durante todo el proceso de molienda. Por lo tanto, se realiza cálculos para justificar todos los puntos de interés, como los caudales de aire y sólidos, la pérdida de carga de la instalación, la selección del ventilador de aspiración, la pérdida de carga y capacidad de filtrado, la selección de equipos de dosificación (válvulas rotativas) y la selección de las tomas de entrada a la línea de transporte neumático. Además, se lleva a cabo los diseños constructivos de los equipos no comerciales necesarios para el funcionamiento del sistema, como los ciclones, tuberías y bancadas de apoyo. Asimismo, la distribución de los equipos en la planta de producción se realiza mediante un Layout utilizando software de diseño 3D. Este diseño incluirá todos los elementos del proceso productivo, como el silo de alimentación, el sistema de humectación, los molinos, el equipo de tamizado, el transporte neumático y el silo de producto final. Como requisito esencial del sistema, se debe garantiza una eficiencia de recolección superior al 98% para partículas superiores a 50 μm . Por lo tanto, se realiza estimaciones para evaluar el cumplimiento de este requisito. En cuanto al control del sistema, se definirán diferentes puntos de seguimiento para mantener el sistema en un punto óptimo de funcionamiento y asegurar que el operador de producción tenga un control de la línea en todo momento. La eficiencia

de recogida superior al 98% para partículas superiores a 50 μm es un requisito fundamental que se evalúa mediante estimaciones. Además, se establece diferentes puntos de seguimiento que garantiza el óptimo funcionamiento del sistema y que el operador de producción mantenga el control de la línea en todo momento. (Pérez Peralta, 2020)

Sanchez Sornoza, Edwin (2017). “Diseño de un sistema de transporte neumático de dos etapas mixto para quinua con capacidad de 40 quintales hora”

La falta de automatización en los procesos posteriores a la cosecha y la problemática de la baja productividad de las plantas agroindustriales de quinua en la provincia de Chimborazo, debido a la falta de tecnologías para el transporte de granos, han motivado la realización de un estudio para diseñar un sistema de transporte que cumpla con características específicas de recolección del grano desde la secadora hasta un silo de almacenamiento. El objetivo principal de este proyecto es diseñar un sistema de transporte neumático mixto de dos etapas para la quinua, con una capacidad de 40 quintales por hora de trabajo. Para lograr esto, se ha llevado a cabo la recopilación de información necesaria para realizar un estudio de las alternativas tecnológicas existentes en el mercado y seleccionar la opción más viable que cumpla con los requisitos del usuario, así como los parámetros de calidad y producción. Posteriormente, se ha procedido al diseño mecánico de los elementos que conforman el sistema de transporte, realizando cálculos que proporcionan los parámetros necesarios para el dimensionamiento de las tuberías de succión y presión, la selección de la fuente de aire y el equipo separador de fases conocido como ciclón. Para validar los resultados obtenidos en los cálculos, se ha optado por realizar una simulación del sistema utilizando el

software Ansys y su módulo "fluent", que permite observar el fenómeno de transporte en fase diluida del grano durante las etapas de succión, separación de fases e impulsión. En conclusión, el sistema de transporte neumático mixto de dos etapas es adecuado para el transporte del grano de quinua, ya que permite la absorción desde lugares apilados y la impulsión hacia un lugar de almacenamiento. Esto se traduce en ahorro de mano de obra, optimización del tiempo de producción, aislamiento del producto de la manipulación humana para garantizar su inocuidad y un impacto positivo en la salud del operario. La implementación de accesorios como boquillas y ciclones de descarga en la recolección y deposición del grano facilitaría la operación de la maquinaria y protegería al grano de posibles golpes durante el almacenamiento. En resumen, este estudio ha permitido diseñar un sistema de transporte eficiente y seguro para la quinua en la provincia de Chimborazo, solucionando los problemas de automatización y baja productividad en las plantas agroindustriales. Gracias a la implementación de esta tecnología, se espera mejorar la calidad y cantidad de la producción de quinua, contribuyendo así al desarrollo de la industria agroalimentaria de la región. (Sanchez Sornoza, 2017)

Bonilla Corrales, Jimmy (2018). "Diseño tecnológico de una planta de producción de harina de plátano verde"

Se ha llevado a cabo el diseño tecnológico de una planta de producción de harina de plátano verde, específicamente de la variedad *musa paradisiaca*. Para este diseño, se ha considerado un volumen de producción de 1 tonelada al mes

como base de cálculo. Al seleccionar y diseñar los equipos necesarios para la planta, como la banda transportadora, la rebanadora, el secador de bandejas y el molino de martillos, se han tenido en cuenta los procesos de elaboración de diferentes tipos de harinas que se encuentran en la literatura técnica. Esto se ha hecho con el objetivo de cumplir con las normas y estándares aplicables a la industria alimentaria en este tipo de producción. A partir de los resultados obtenidos en el diseño de los equipos, se ha determinado el costo total de la planta, tanto para su implementación como para su funcionamiento. Se ha llegado a la conclusión de que el diseño de la planta de producción de harina de plátano verde es rentable, ya que se estima una inversión inicial de \$11319, la cual se espera recuperar en su totalidad al cabo de tres años. Este proyecto ha sido desarrollado con un enfoque profesional, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos necesarios para asegurar la viabilidad y rentabilidad de la planta. Se ha buscado optimizar los procesos de producción y seleccionar los equipos más adecuados, todo ello con el objetivo de obtener una harina de plátano verde de alta calidad. Además, considera la importancia de cumplir con las normas y estándares aplicables a la industria alimentaria, que garantiza así la seguridad y calidad de los productos elaborados en la planta. Se ha realizado un exhaustivo análisis de la literatura técnica disponible, lo que ha permitido tomar decisiones fundamentadas y asegurar que la planta cumpla con los requisitos legales y de calidad exigidos. En resumen, el diseño tecnológico de la planta de producción de harina de plátano verde ha sido realizado de manera profesional y cuidadosa. Se ha considerado tanto la eficiencia de los procesos de producción como la calidad de los productos obtenidos. Con una inversión inicial de \$11319 y una estimación de recuperación del capital al tercer año, se espera que esta planta sea rentable y contribuya al desarrollo de la industria alimentaria. (Bonilla Corrales, 2018)

Alvarez Murillo, Stalin y Toasa Tenorio, Jhonatan (2021). “Diseño de un banco experimental para determinación de la velocidad de flotación de partículas sólidas con fines de transporte neumático”

El presente proyecto se centra en el diseño de un banco experimental para determinar la velocidad de flotación de partículas, teniendo en cuenta sus características aerodinámicas. Actualmente, este proceso se realiza de manera empírica debido a la falta de conocimiento sobre las propiedades de las partículas y cómo se comportan al ser transportadas a través de tuberías impulsadas por aire. Con el objetivo de resolver esta problemática, proponen el diseño de un banco experimental que permita medir la velocidad de flotación de manera más precisa. Este banco consiste en una tubería de diámetro constante, a través de la cual se transporta las partículas. De esta manera, es más fácil determinar las características necesarias de los objetos de estudio y, así, diseñar sistemas de transporte que cumplan con normas específicas de diseño y construcción. Para la implementación de este banco experimental, utilizan un Blower universal al cual se le añade un sistema de tuberías. Además, cuenta con una tolva para la alimentación de las partículas y un sistema de tuberías abiertas para la elevación de estas. De esta forma, se obtiene medidas precisas de acuerdo con el flujo de aire. Esta herramienta será de gran utilidad para las empresas que deseen implementar sistemas de transporte similares, ya que les permite reducir los tiempos de transporte. El objetivo principal es determinar las velocidades de flujo de aire necesarias para lograr la flotación de partículas sólidas. Estos resultados son fundamentales para un adecuado diseño de sistemas de transporte neumático. Como resultado de las investigaciones, se ha determinado que la velocidad de transporte neumático debe ser mayor dependiendo de las dimensiones de las partículas. Por ejemplo, la harina requiere un caudal de aire mucho menor, alrededor de 5 m/s, mientras que el maíz blanco se mueve a una velocidad de 15.73

m/s. En resumen, este proyecto mejora el diseño de sistemas de transporte de partículas, a través de la determinación precisa de la velocidad de flotación. Con ello, se espera contribuir al desarrollo de normas específicas de diseño y construcción, que permitan optimizar los tiempos de transporte y garantizar la eficiencia en los procesos industriales. (Álvarez Murillo & Toasa Tenorio, 2021)

Ferriz Navarro, Noel (2018). “Dimensionado y selección de los equipos de impulsión para el transporte de materias primas en el proceso de fabricación del PVC”

Este proyecto se centra en el dimensionamiento y la selección de los equipos de impulsión necesarios para el transporte de materias primas en el proceso de fabricación de PVC en una empresa. Los procesos utilizados en la empresa para la cual se está desarrollando el proyecto son la granulación y la extrusión de PVC.

Para iniciar el proceso de dimensionamiento, se realiza una programación lineal de la producción con el objetivo de optimizar y minimizar los costos. Una vez que se hayan determinado las cantidades de materiales a almacenar y transportar, se calculan las capacidades necesarias para los silos de almacenamiento de materias primas y gránulos de PVC, así como los métodos de transporte, que pueden incluir tanto el transporte neumático como el transporte mecánico mediante tornillos sin fin.

Por último, se lleva a cabo un análisis de amortización de la instalación.

1.4.2 Nacionales

González Seabra, Pedro Edgar (2021). “Sistema de transporte neumático para quinua con una capacidad de 1200 kg/h”

Este proyecto actual presenta una opción para resolver el desafío del transporte de quinua desde el sótano hasta el decimotercer piso del edificio de manipulación de una planta de procesamiento de alimentos en el distrito de Chaclacayo, con el propósito de dar inicio al proceso de limpieza. El sistema seleccionado para abordar esta tarea es un sistema de transporte neumático, que se emplea con frecuencia en la manipulación de materiales a granel. El proyecto se divide en seis capítulos esenciales que abordan la implementación de esta solución.

Rosa Elena Consuelo Ale Ruiz (2019). “Análisis de la industria de harina de trigo en el Perú”

El propósito de este estudio de investigación es analizar la industria de la harina de trigo, que ha experimentado un aumento del 4% en el último año en comparación con 2016, según informes de la revista Andina (2018). Asimismo, la industria de la panificación ha mostrado un crecimiento del 15% en relación con 2016. Estos datos han despertado el interés en investigar la industria y los procesos internos de la empresa, confirmando su posición como una de las principales empresas de molienda de trigo en el país, al mantener un crecimiento sostenido superior al 30% durante cinco años consecutivos.

La problemática identificada radica en que la compañía actualmente no puede satisfacer la demanda del mercado, lo que resulta en pérdidas de ventas debido a

la falta de disponibilidad de productos y crea oportunidades para la entrada de competidores.

En el desarrollo de este estudio, se aplicó una metodología no experimental de tipo transversal descriptiva. Se seleccionaron como muestra los subprocesos de producción, logística y comercial. Se observó que existe una capacidad instalada adecuada para atender la demanda, pero se identificaron deficiencias en el mantenimiento de equipos, la capacitación y la motivación del personal, además de oportunidades de mejora en los canales de distribución y la gestión de compras de insumos.

Como posibles mejoras, se sugieren algunas alternativas, como optimizar el mantenimiento de equipos de manera preventiva y predictiva. En cuanto a los canales de distribución, se propone evaluar la posibilidad de establecer almacenes y plantas regionales para atender la demanda local a precios más competitivos, sin arriesgarse a perder participación frente a la competencia. También se recomienda una gestión eficiente de las compras de insumos para mantener precios competitivos en el mercado. Finalmente, se aconseja realizar un diagnóstico del clima laboral y tomar medidas inmediatas para abordar la alta rotación de personal.

2. CAPÍTULO II. MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Fundamentos técnicos y de ingeniería

2.1.1 *Diseño mecánico*

El diseño es la creación de un plan estratégico que satisface una necesidad específica o resolver un problema concreto. Para lograrlo, se utilizan herramientas de ingeniería, como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje, que se combinan de manera inteligente y creativa. El objetivo final del diseño es desarrollar un producto funcional, seguro, confiable, competitivo y útil, que se fabrique y comercialice con éxito. Para ello, se lleva a cabo un minucioso proceso de investigación, análisis y desarrollo, en el que se considera las necesidades del usuario como las tendencias del mercado. El diseño no se limita únicamente a la apariencia estética del producto, sino que abarca todos los aspectos que influyen en su calidad y rendimiento. (Budynas, 2012)

En resumen, el diseño es un proceso estratégico y multidisciplinario que busca crear soluciones innovadoras y eficientes para satisfacer las necesidades de los usuarios y superar los retos del mercado.

2.1.2 *La harina de trigo*

El trigo es uno de los cereales más cultivados en todo el mundo, junto con el maíz y el arroz. Se utiliza para producir harinas y sémolas que son utilizadas en la elaboración de una amplia variedad de alimentos como pan, galletas, pastas, entre otros. Las panificadoras industriales requieren diferentes tipos de harina para

poder elaborar los distintos productos de forma altamente automatizada. (Otamendi, 2004).

Además, en este sector existe una constante innovación, con la creación de harinas diferenciadas conocidas como especiales y pre-mezclas, que permiten obtener masas con características reológicas y propiedades viscoelásticas específicas. (Cauvain, S.; Young, L., 2006)

Calidad Física: El productor y el comerciante de granos suelen hablar principalmente sobre la calidad física del grano. Este aspecto es de suma importancia, ya que cuanto más saludable sea el grano (sin enfermedades, picaduras, roturas, impurezas, etc.), mejor será el proceso industrial desde dos puntos de vista. En primer lugar, una mejor calidad física del grano permitirá una separación más eficiente del endosperma amiláceo del resto del grano, lo que dará lugar a una extracción de harina mayor. En segundo lugar, al tener un grano sano, no existirán interferencias durante el proceso industrial, lo que contribuirá a una mayor homogeneidad del producto final. El peso hectolítrico es un parámetro que resume los diferentes componentes de la calidad física. Aunque existen diferencias entre los genotipos, las influencias ambientales, como el manejo, el clima y las enfermedades, son los factores más determinantes para la calidad física del grano.

Calidad Panadera: Durante mucho tiempo, ha existido un consenso general de que el principal factor para evaluar la calidad de la harina panadera es la proteína (Barmore, 1985). Por lo tanto, el contenido de proteínas, expresado en porcentaje, es el parámetro de calidad panadera más utilizado a nivel internacional. Sin embargo, cabe destacar que, a pesar de su amplia aplicación, en general este valor no se utiliza de forma aislada de otros factores (como la calidad física, el tipo de trigo, el nombre de la variedad, etc.).

El porcentaje de proteína suele oscilar entre el 9% y el 15%, y a medida que aumenta este porcentaje, se obtiene una mejor calidad del pan. La proteína es un componente esencial para lograr la textura y estructura adecuadas en la miga del pan. Además, es responsable de la formación y estabilidad de la red de gluten, que contribuye a la capacidad de retener gas durante el proceso de fermentación. Esto se traduce en una mayor esponjosidad y volumen del pan. (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2023)

Calidad Molinera: Para obtener la máxima cantidad de harina posible, además de tener una calidad física impecable, el grano debe tener una textura específica. Si el grano es de trigo "duro", la extracción del endosperma será mucho más efectiva que si el grano es "blando". Esta clasificación basada en la textura está determinada por la genética del trigo. Para determinar la dureza se utiliza un test llamado PSI (Particle Size Index), que otorga un valor bajo a los trigos duros y uno alto a los trigos blandos. En resumen, para que el trigo sea de buena calidad para la molienda, debe ser duro y estar en buen estado.

2.1.3 Clasificación de los transportes neumáticos para sólidos

La clasificación según (Mills, 2004) se observa en la Figura 2.1.

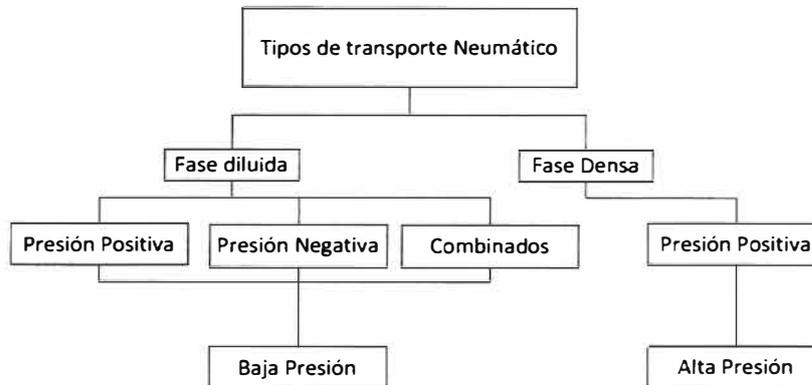


Figura 2.1 Tipos de transporte neumático

Fuente: Mills, (2004), "Tipos de transporte neumático"

Transporte neumático en fase diluida por presión positiva. Optimiza el transporte del material al permitir su distribución en uno o varios puntos de descarga. Gracias a la utilización de la presión positiva generada por el ventilador, se logra un eficiente arrastre del material, evitando cualquier tipo de obstrucción o interrupción en el proceso. Además, se emplea una dosificación precisa y controlada del material mediante la utilización de una válvula dosificadora acoplada a un sistema de alimentación tipo Venturi, se logra una entrada suave y gradual del material a la tubería, evitando así cualquier impacto brusco que pueda afectar su integridad.

Este sistema, que se visualiza en la *Figura 2.2* permite un manejo óptimo del material, garantizando su correcta distribución y minimizando cualquier riesgo de desperdicio o daño.

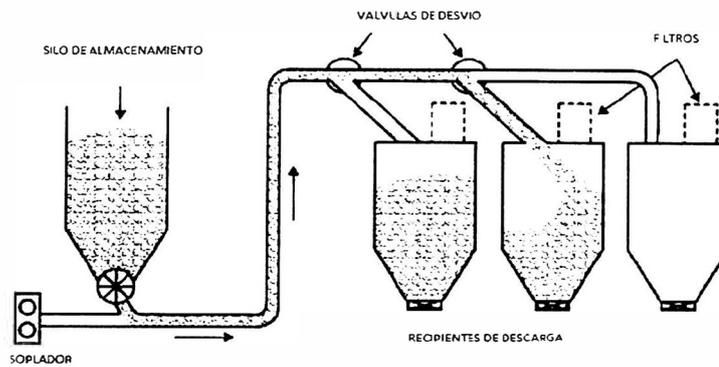


Figura 2.2 Sistema de transporte neumático

Fuente: Mills, (2004), "Transporte de sólidos"

2.1.4 Aire de proceso

La fuente de aire es un componente crucial en un sistema de transporte neumático, ya que es el que impulsa todo el sistema. En el caso de largas distancias, es común utilizar varias unidades de fuente de aire ubicadas a intervalos en la tubería. Esto permite evitar la necesidad de contar con un solo equipo voluminoso y poco rentable, especialmente cuando se busca reducir la cantidad de material transportado. La elección de la fuente de aire adecuada implica evaluar cuidadosamente las necesidades específicas del sistema de transporte neumático. Es importante considerar factores como la capacidad de flujo de aire, la presión requerida y la eficiencia energética. Además, es fundamental contar con un sistema de filtración adecuado para evitar la entrada de partículas o impurezas que puedan dañar el sistema.

Las necesidades del flujo de aire están estrechamente ligadas con la cantidad de material que se debe transportar, el diámetro de la tubería seleccionada

y la relación másica entre el material y el fluido. Si aumentamos estos parámetros, el flujo de aire también se incrementará, por lo que la unidad encargada debe ser capaz de suministrar el volumen de aire necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

2.1.5 *Soplador para transporte de sólidos*

Los sopladores son dispositivos de aire comprimido diseñados específicamente para satisfacer las necesidades de aplicaciones que requieren una presión baja, que oscila entre 0.3 y 4 bar (g). Al seleccionar cuidadosamente el tamaño y la aplicación adecuados de estos equipos, se logran ahorros considerables en términos de consumo de energía. (Atlas Copco, 2023)

El funcionamiento de los sopladores inicia con la succión por el lado de entrada del dispositivo, donde los rotores y los impulsores se ponen en movimiento, haciendo que el aire se comprima y se expulse. Según la forma en que se maneja el aire, los sopladores se clasifican en desplazamiento positivo o centrífugos.

2.1.6 *Desplazamiento positivo de sólidos*

El desplazamiento positivo se refiere a un fenómeno en los sopladores que utilizan dos rotores para atrapar y expulsar aire contra la presión del sistema. Estos sopladores operan girando a la misma velocidad, pero en direcciones opuestas, lo que permite la entrada de aire al elemento soplador. A medida que los rotores giran, el aire es arrastrado hacia el lado de entrada del soplador y se mueve hacia las áreas estrechas entre los rotores y la carcasa. Posteriormente, este aire se

desplaza alrededor de los rotores y la carcasa hacia el lado de salida. Al abrirse los rotores hacia el lado de salida, se iguala la presión del aire en la línea de descarga.

Es importante destacar que, dentro del soplador, el volumen de aire no se modifica. En su lugar, se desplaza de un extremo de la máquina hasta el otro. Este proceso de desplazamiento positivo permite la generación de presión y caudal en el sistema, proporcionando un funcionamiento eficiente y confiable.

Los sopladores de desplazamiento positivo son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones industriales, como sistemas de ventilación, sistemas de aire acondicionado, transporte neumático y procesos de fluidos. (Atlas Copco, 2023)

2.1.7 Utilización del centrífugo

El flujo de aire es impulsado por la fuerza centrífuga generada por un impulsor giratorio. Este impulsor posee palas que dividen el aire que entra por el centro y lo aceleran mientras gira. A medida que el aire se acelera hacia afuera, se genera una alta velocidad que luego se difunde en el alojamiento del soplador circundante.

El objetivo de este proceso es disminuir la velocidad del aire para crear presión. Al crear presión, el soplador centrífugo puede ser utilizado en diferentes aplicaciones donde la presión constante es necesaria. Además, su diseño lo hace ideal para funcionar como una máquina de carga base.

Una de las características principales de los sopladores centrífugos es su capacidad para operar con presión y caudal como variables dependientes. Esto significa que su funcionamiento depende tanto de la presión como del flujo de aire, lo que los convierte en una opción eficiente en aplicaciones que requieren un control preciso de estas variables. (Atlas Copco, 2023)

2.1.8 Utilización del tamizador

Los tamizadores de harina son equipos industriales utilizados para asegurar la calidad de la harina y eliminar impurezas antes de que se mezcle con otros ingredientes en el proceso de producción. Estos tamizadores desempeñan un rol esencial en garantizar que la harina utilizada en la producción de galletas esté limpia, uniforme y libre de contaminantes que puedan afectar la calidad del producto final. (Great Western Manufacturing, 2023)

A continuación, se presentan algunas características y aspectos importantes sobre los tamizadores de harina en el contexto del transporte neumático en una planta industrial de galletas:

- **Eliminación de impurezas:** Los tamizadores de harina se encargan de eliminar impurezas como fragmentos de cáscara, piedras, fibras y otros contaminantes que puedan estar presentes en la harina. Esto es crucial para mantener la calidad y seguridad de los productos finales.

- Uniformidad de la harina: Los tamizadores contribuyen a garantizar que la harina esté uniformemente tamizada, lo cual facilita una mezcla homogénea con otros ingredientes en el proceso de producción.
- Malla o tamices intercambiables: Estos tamizadores suelen contar con mallas o tamices intercambiables que permiten ajustar el tamaño de las partículas que se retiran, según las necesidades de la receta y la calidad de la harina.
- Eficiencia en el transporte neumático: La harina tamizada se transporta a través de sistemas neumáticos hacia las áreas de mezcla o producción de galletas. Esto facilita la automatización del proceso y evita la manipulación manual de grandes cantidades de harina.
- Control de polvo: Los tamizadores de harina también incluyen sistemas de control de polvo para minimizar la dispersión de partículas en el aire, lo cual es importante en términos de seguridad y limpieza en una planta industrial.
- Mantenimiento regular: Estos equipos requieren un mantenimiento regular para garantizar su eficiencia. Esto implica la limpieza de los tamices y la inspección de las partes móviles.
- Integración en línea de producción: Los tamizadores de harina suelen estar integrados en línea en el proceso de producción, permitiendo un flujo continuo y eficiente de harina tamizada según sea necesario.
- En resumen, los tamizadores de harina desempeñan un papel fundamental en la producción de galletas y otros productos de panadería al garantizar la calidad y limpieza de la harina utilizada en el proceso. Esto contribuye a la consistencia y calidad de los productos finales en una planta industrial

2.1.9 Transporte vertical de sólidos

En la siguiente *Figura 5.3* se muestra la pérdida de carga para distintos flujos másicos de sólidos por unidad de área de la línea de transporte (Budynas, 2012).

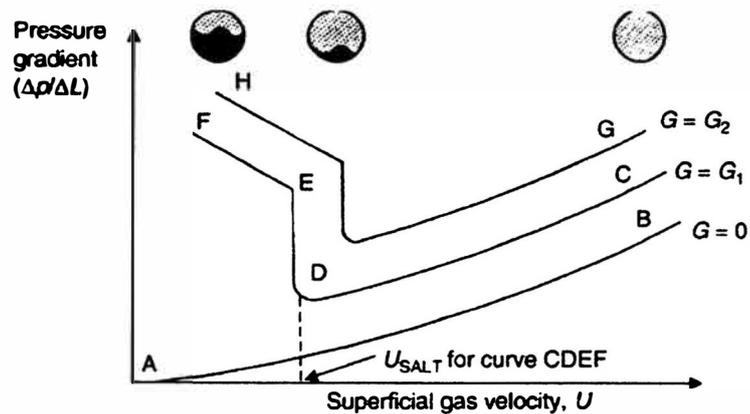


Figura 2.1 Gradiente de presión en función de la velocidad superficial

Fuente: Rhodes, (2008), "fases en un transporte vertical."

Para un flujo másico por unidad de área igual a cero ($G=0$), es decir, que la cantidad de sólidos en la mezcla es despreciable o nula, podríamos decir que se trata de un transporte en el que únicamente se está moviendo el gas por lo que la ecuación de la pérdida de carga sería la utilizada convencionalmente para flujos monofásicos:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2 \times f \times \rho_g u^2}{D}$$

Donde f es el factor de fricción y D el diámetro de la conducción de transporte. Para el cálculo del factor de fricción, se utilizarán las siguientes ecuaciones en función del número de Reynolds (Re):

- Si $Re \leq 2 \cdot 10^3$ donde $f = 16/Re$
- Si $2 \cdot 10^3 \leq Re \leq 2 \cdot 10^4$ donde $f = 0.079 \cdot Re^{-1/4}$
- Si $Re > 2 \cdot 10^4$ donde $f = 0.046 \cdot Re^{-1/5}$
- Donde el número de Reynolds es

$$Re = \frac{\rho_g \cdot u \cdot D}{\mu}$$

Velocidad de ahogo U_{CH} es el punto de transición entre el transporte en fase diluida y en fase densa, Se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{U_{CH}}{\varepsilon_{CH}} - \mu_t = \frac{G}{\rho_p \cdot (1 - \varepsilon_{CH})}$$

Además, la densidad de gas se muestra en la siguiente ecuación.

$$\rho_g^{0.77} = \frac{2250 \cdot D \cdot (\varepsilon_{CH}^{-4.7} - 1)}{\left(\frac{U_{CH}}{\varepsilon_{CH}} - \mu_t\right)^2} \quad (1)$$

Y el flujo másico se puede determinar como se muestra en la siguiente ecuación.

$$G = \frac{m_p}{A}$$

Donde:

- ε_{CH} es la porosidad del medio en condiciones de velocidad de ahogo
- U_{CH} es la velocidad de ahogo

- μ_t es la velocidad terminal
- ρ_p es la densidad de la partícula sólida
- ρ_g es la densidad del gas
- G es el flujo másico de sólidos por unidad de área
- m_p es el flujo másico de sólidos
- A es el área de la tubería

Consideraciones: Las unidades utilizadas son las del sistema internacional con lo que determina U_{CH}

2.1.10 Transporte horizontal de sólidos

En la siguiente *Figura 5.4.* se muestra la pérdida de carga para distintos flujos másicos de sólidos por unidad de área de la línea de transporte horizontal.

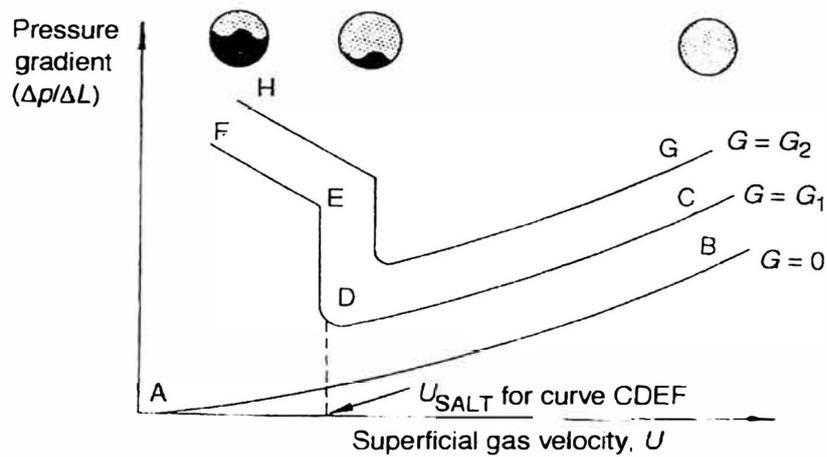


Figura 2.2 Gradiente de presión en función de la velocidad superficial

Fuente: Rhodes, (2008), "fases en un transporte vertical."

Se desarrolla la siguiente ecuación para el cálculo de la velocidad de ahogo.

$$\frac{m_p}{\rho_g \cdot U_{salt} \cdot A} = \left(\frac{1}{10^{(1440 \cdot x + 1.96)}} \right) \cdot \left(\frac{U_{salt}}{\sqrt{g \cdot D}} \right)^{(1100 \cdot x + 2.5)}$$

Donde:

- m_p es el flujo másico de sólidos
- U_{salt} es la velocidad de saltación
- X es el tamaño de la partícula
- A es el área transversal de la tubería de transporte
- g es la aceleración de la gravedad

Consideraciones: Las unidades utilizadas son las del sistema internacional

2.1.11 Perdidas de carga en transporte neumático

Cálculo de las velocidades superficiales de gas según la siguiente ecuación.

$$u_g = \frac{Q_g}{A}$$

Donde Q_g es caudal volumétrico del gas

Cálculo de las velocidades superficiales de partículas según la siguiente ecuación.

$$u_p = \frac{Q_p}{A}$$

Donde Q_p es caudal volumétrico de las partículas.

En este medio bifásico, ambas fases son dinámicas. Por lo que es posible calcular la velocidad intersticial para ambas. Se utilizarán las siguientes expresiones para el cálculo del gas y las partículas respectivamente.

$$u_{gi} = \frac{Q_g}{A \cdot \varepsilon} = \frac{u_g}{\varepsilon}$$

$$u_{pi} = \frac{Q_p}{A \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{u_p}{1 - \varepsilon}$$

Donde ε es la porosidad en la tubería.

La velocidad relativa es la diferencia entre las velocidades intersticiales del gas y las partículas. Se obtiene con la siguiente fórmula.

$$u_{rel} = u_{gi} - u_{pi}$$

En el transporte vertical en fase diluida, se asume que la velocidad relativa se aproxima a la velocidad terminal.

2.1.12 Flujos máscicos en sólidos

Para el cálculo de los flujos máscicos de partículas se utilizan las siguientes expresiones respectivamente.

$$m_p = A \cdot u_{pi} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p = A \cdot u_p \cdot \rho_p$$

Para el cálculo de los flujos máxicos de gas se utilizan las siguientes expresiones respectivamente.

$$m_g = A \cdot u_{gi} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g = A \cdot u_g \cdot \rho_g$$

Con la relación de las dos ecuaciones anteriores, es posible conseguir la proporción de sólidos en el gas, la ecuación es la fórmula.

$$\frac{m_p}{m_g} = \frac{u_{pi} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p}{u_{gi} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g} = \frac{u_p \cdot \rho_p}{u_g \cdot \rho_g}$$

2.1.13 Caída de presión

Para la obtención de la caída de presión en toda la tubería de transporte neumático, es necesario realizar el balance de energía mecánica. Si integramos el balance de energía mecánica en estado estacionario, asumiendo densidad y porosidad constantes, obtenemos la siguiente ecuación.

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_g \cdot u_{gi}^2 + \frac{1}{2} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p \cdot u_{pi}^2 + F_{gw} \cdot L + F_{pw} \cdot L + \varepsilon \cdot L \cdot \rho_g \cdot g \cdot \sin(\theta) + (1 - \varepsilon) \cdot L \cdot \rho_p \cdot g \cdot \sin(\theta) = 0$$

En esta ecuación generalizada de la pérdida de carga en un tramo recto de una tubería de transporte neumático, cada uno de los sumandos es un término determinado de caída de presión. Teniendo estos la siguiente justificación.

- 1^{er} Sumando: Pérdida de carga por aceleración del gas.
- 2^{do} Sumando: Pérdida de carga por aceleración de los sólidos.
- 3^{er} Sumando: Pérdida de carga por la fricción del gas con la pared del tubo.
- 4^{to} Sumando: Pérdida de carga por la fricción de sólidos con la pared del tubo.
- 5^{to} Sumando: Pérdida de carga por energía potencial del gas.
- 6^{to} Sumando: Pérdida de carga por la energía potencia de los sólidos.

En el caso de las tuberías de transporte neumático horizontal, se desprecian los términos de energía potencial dado que se pueden considerar despreciables. Por lo que los términos 5^{to} y 6^{to} están omitidos.

2.1.14 Velocidad del aire

Es importante seleccionar una velocidad de gas óptima para el arrastre de partículas, teniendo en cuenta que sea lo más baja posible para evitar aumentos en la perdida de carga. De esta forma se optimizará mejor el coste de operación, ya que el ventilador no estará excesivamente sobredimensionado.

En caso de que la instalación este formada por tramos verticales y horizontales, se ha de tener en cuenta que la velocidad de saltación (U_{salt}) es mayor que la velocidad de ahogo (U_{CH}). Por lo tanto, es indispensable que la velocidad de transporte sea mayor que la velocidad de saltación. Teniendo en cuenta que las ecuaciones de correlación de las velocidades críticas tienen un error alto, es recomendable dimensionar la velocidad del gas en la instalación con un factor de seguridad del 50%.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Transporte neumático

Sistema para mover materiales sólidos a granel, como polvos, gránulos o partículas, a través de tuberías o conductos utilizando un flujo de aire comprimido o gas.

2.2.2 Flujo de aire

Se describe a la cantidad de material o sustancia que se mueve a través de un sistema de transporte en un período de tiempo dado. Este concepto es relevante en una variedad de contextos, desde el transporte de mercancías y materiales en la industria hasta el flujo de tráfico en carreteras y calles.

2.2.3 Aire de proceso

Es un término que se utiliza en la industria y la ingeniería para referirse a un medio gaseoso, generalmente aire o algún otro gas, que se utiliza para transportar sólidos a granel de un lugar a otro. Este proceso se conoce como transporte neumático de sólidos.

2.2.4 Parada de planta

Esta actividad implica detener temporalmente una planta industrial o una parte específica de la misma para llevar a cabo una serie de tareas de mantenimiento, reparación, inspección, limpieza, modificación o actualización.

2.2.5 Silos de harina

Son estructuras diseñadas para almacenar una variedad de materiales a granel, como granos, alimentos, productos químicos, minerales, cemento, pellets, y otros materiales sólidos o pulverulentos.

2.2.6 Ciclón

Es un dispositivo de separación utilizado en la industria para eliminar partículas sólidas o gotas líquidas de un flujo de gas. Su funcionamiento se basa en la fuerza centrífuga y la gravedad, que actúan para separar las partículas del flujo de gas.

2.2.7 Tamizador

Es un dispositivo utilizado en la industria para separar, clasificar o tamizar materiales sólidos a granel, como polvos, partículas secas o líquidos con sólidos suspendidos. El tamizador mecánico utiliza un movimiento vibratorio o giratorio para hacer pasar los materiales a través de una malla o tamiz, lo que permite separar partículas de diferentes tamaños.

3. CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1 Hipótesis

El diseño de un sistema neumático, para el traslado de harina mejorará la eficiencia en una empresa de industria alimentaria

3.2 Operacionalización de variables

3.2.1 *Variable dependiente*

- Eficiencia en el traslado de harina

3.2.2 *Variable Independiente*

- Diseño del sistema neumático
 - Flujo masico (m^3/h)
 - Tiempo de llenado de silos (h)

4. CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 *Enfoque*

La presente investigación con respecto al enfoque es de tipo **cuantitativa** porque desde el punto de vista de la percepción de la realidad es objetiva siendo la cuantificación y medición de datos e indicadores numéricos como caudal y tiempo de llenado de silos

Desde el punto de vista del razonamiento es tipo deductivo porque se desarrolla principios matemáticos para llegar a encontrar el objetivo.

Desde el punto de vista de la finalidad de la investigación, se comprueba la hipótesis en base a los resultados obtenidos, y el tipo es particular al objeto de investigación.

Desde la perspectiva del investigador se trabaja los datos desde dentro, pues se tiene proximidad a los datos.

Desde el punto de vista de la causalidad, el efecto en la variable dependiente presenta como antecedente directo las condiciones de la variable independiente

4.1.2 Alcance

El alcance de la presente investigación es de tipo correlacional, porque las variables se relacionan entre sí.

4.1.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental solo se analiza la dependencia de las variables.

4.2 Unidad de Análisis

El desarrollo de esta investigación se sitúa en la empresa Mondelēz Planta Lima ubicada en el mercado de Lima en la Av. Venezuela 2410. Sus principales productos son: Oreo, Ritz, Club Social, Chips Ahoy!, Vainilla, Soda, Cream Kracker. En la siguiente *Figura 4.1* se muestra la ubicación geográfica.



Figura 4.1 Ubicación de planta Lima Mondelēz

Fuente: Google. (s.f.). [Mapa de Google Maps del Cercado de Lima]

4.3 Etapas de la investigación

4.3.1 *Recolección de datos*

Con el fin de recopilar los datos necesarios, se llevan a cabo mediciones de tiempos de operación Anexo 3 y llenado en todos los equipos utilizados en el proceso, desde el soplador y el tamizador hasta los silos internos. Como complemento a esta recopilación de datos, se realiza una comparativa con la información técnica de los equipos, la cual se obtiene en el Anexo 2. Esto permitirá obtener una medida de la desviación con respecto a los parámetros teóricos establecidos. Esta recopilación y análisis de datos permite evaluar la eficiencia y la efectividad de cada uno de los equipos, detectando posibles desviaciones y desajustes que afectan en el rendimiento global del proceso. Además, contribuye a establecer los parámetros de referencia y a definir acciones correctivas o preventivas que permitan maximizar el rendimiento del sistema.

4.3.2 *Procesamiento de la información*

Involucra el desarrollo de cálculos matemáticos usando el software Excel y de manera paralela se recopilará los parámetros de ingreso para el análisis con software Ansys permitiendo corroborar los cálculos.

De esta manera se validará los datos de ingreso y salida como el diámetro de tubería, selección del equipo, capacidad de silos de harina, esfuerzos máximos en los silos y estructuras, selección de equipos.

Y finalmente se comparará entre las condiciones iniciales y las propuestas.

4.3.3 Análisis de la información

Como conclusión se demostrará la capacidad de los equipos para suministrar harinas con una mejor característica de los equipos y accesorios con el menor impacto a la planta por paradas.

4.4 Matriz de consistencia

Título: Diseño de un sistema neumático para mejorar la eficiencia del sistema de traslado de harina de trigo en una empresa de industria alimentaria

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿En que medida la inadecuada subdimensión de capacidades afecta negativamente la producción por equipos de transporte de sólidos?	El rediseño de un sistema neumático, para el traslado de harina mejorará la eficiencia en una empresa de industria alimentaria.	¿El rediseño de un sistema neumático, para el traslado de harina mejorará la eficiencia en una empresa de industria alimentaria?	Eficiencia en el traslado de harina	Rediseño del sistema neumático	Flujo masico (m ³ /h) Tiempo de llenado de silos (h)	Toma de datos del tiempo de llenado y capacidad de los equipos del sistema de traslado de harina.

Tabla 4.1 Matriz de consistencia

Fuente: Propia

5. CAPÍTULO V. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1 Condiciones iniciales de planta

En una instancia anterior, se disponía del siguiente diagrama de flujo que se muestra en la Figura 5.1

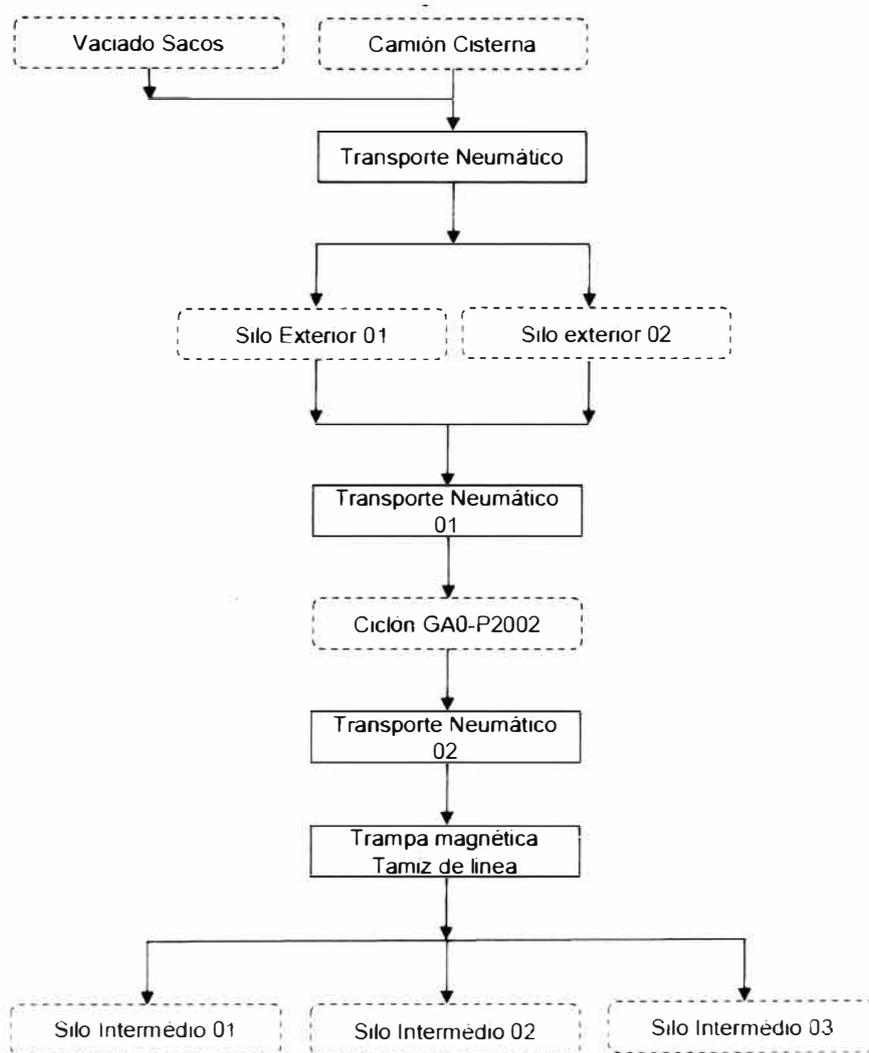


Figura 5.1 Diagrama de flujo del anterior proceso.

Fuente: RCT Solutions, (2023), "Diagrama de bloques del actual sistema de manejo automático de harinas"

El proceso se inicia con la recepción de harina mediante camiones cisterna que descargan el material en la planta. De manera simultánea, se implementa un sistema alternativo que consiste en el vaciado manual de sacos, concebido para asegurar la continuidad operativa de las líneas principales. Mediante el uso del transporte neumático, la harina se transfiere a los silos exteriores y posteriormente se dirige al ciclón GA0 – P2002, un tamizador equipado con trampa magnética, antes de ser almacenada temporalmente en los silos intermedios.

5.1.1 Equipos y accesorios

A continuación, se muestra los principales equipos que utilizó el sistema, con una tubería de acero inoxidable 4" de diámetro.

En la siguiente figura 5.2 se muestra el soplador de desplazamiento positivo Aerzen tipo Delta, para el transporte neumático.



Figura 5.2 Soplador del transporte neumático
Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.3 se muestra los dos silos de harina de 150 m^3 , para el transporte neumático, donde descargan las bombonas y es trasladado hacia los silos internos : Silo interno 1,2 y 3.



Figura 5.3 Silos exteriores

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.4 se muestra el ciclón de unido al tornillo sin fin, en este equipo finaliza el primer tramo e inicia el segundo.



Figura 5.4 Ciclón y tornillo sinfín

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.5 se muestra equipo tamizador y trampa magnética



Figura 5.5 Tamizador y trampa magnética

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.3 se muestra la parte superior del silo interno, punto donde finaliza el transporte de solidos de este plan de trabajo.

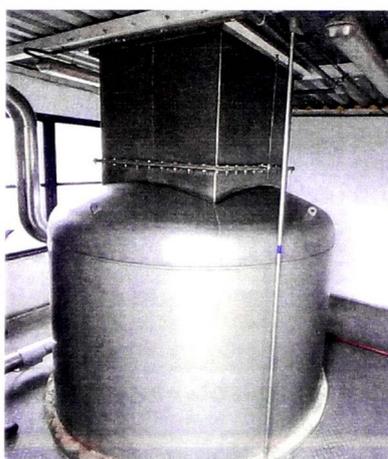


Figura 5.6 Silos interiores
Fuente: Propia

5.1.2 Requerimientos y capacidades de operación.

Se llevó a cabo la recopilación de datos técnicos del consumo de harina en planta clasificados por los silos de alimentación, líneas de producción y producto. Donde se determinó el consumo máximo a través de la combinación de consumos máximos de línea como se muestra en la tabla 5.1.

Harina					
Silos Internos	Línea de producción	Producto	kg x turno	Max. kg x turno	Max. Kg/h
Silo Interno 1	Línea A	Producto 1	12,608.00	12,608.00	1,576.00
		Producto 2	11,700.00		-
	Línea B	Producto 3	2,750.00		-
		Producto 4	6,660.00		-
		Producto 5	7,410.00	7,410.00	926.25
Silo Interno 2	Línea C	Producto 6	11,475.00	11,475.00	1,434.38
Silos Interno 3	Línea D	Producto 7	14,212.00	14,212.00	1,776.50
		Producto 8	13,500.00		-
	Línea E	Producto 9	24,890.00	24,890.00	3,111.25
		Producto 10	20,430.00		-
		Producto 11	18,624.00		-
		Producto 12	19,200.00		-
		Producto 13	12,325.00		-
Sumatoria				70,595.00	8,824.38

Tabla 5.1 Requerimiento de harina de planta

Fuente: Propia

En la siguiente tabla 5.2 se realizó una recolección de datos, tiempos de descarga, frecuencia, cantidades para finalmente obtener el flujo de descarga de harina.

Recopilación de tiempos de descarga						
Parámetros	bombona 1		bombona 2		bombona 3	
	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales
Ingreso de bombona a planta	07:05:00		08:34:00		09:52:00	
Inicio de descarga	07:20:00		08:45:00		10:04:00	
Fin de descarga	08:24:00		09:41:00		11:01:00	
Salida de bombona de planta	08:33:00		09:51:00		11:15:00	
Masa	22,590		22,580		22,990	
Tiempo de descarga	01:04:00	1.067	00:56:00	0.933	00:57:00	0.950
Tiempo desde ingreso a salida de la bombona	01:28:00	1.467	01:17:00	1.283	01:23:00	1.383
Tiempo desde ingreso a inicio de descarga	00:15:00		00:11:00		00:12:00	
Flujo de descarga	21,178	Tn/h	24,193	Tn/h	24,200	Tn/h

Tabla 5.2 Recopilación de tiempos de descarga de bombonas

Fuente: Propia

En la siguiente tabla 5.3 se realizó una recolección de datos, tiempos de descarga, frecuencia, cantidades para finalmente obtener el flujo neto de alimentación de harina a planta.

Resumen de capacidades		
Ítems	Cantidades	Und
Capacidad efectiva de silos externos	90,000.00	Tn
Capacidad bombonas	22,590.00	Tn
Tiempo de descarga de bombonas	1.47	h
Frecuencia promedio de bombonas	8.00	bobonas /dia
Caudal BCP	4,000.00	kg/h
Capacidad silos internos N° 1 y N° 2	3,000.00	kg
Capacidad silos internos N° 3	4,000.00	kg
Flujo de descarga de harina desde bombonas a silos externos	15,402.27	kg/h

Tabla 5.3 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta.
Fuente: Propia

5.2 Condiciones actuales de planta

En la actualidad, se dispone del siguiente diagrama de flujo, el cual está ilustrado en la Figura adjunta 5.7. Se mantiene el sistema de recepción de harina, y se da la recepción en los silos externos de 150 m^3 cada uno. Los principales equipos modificados son el soplador de desplazamiento positivo, el diámetro de tubería de 4" a 6", el tamizador y trampas magnéticas, además de modificaciones mecánicas en los ingresos de los silos internos 1, 2 y 3.

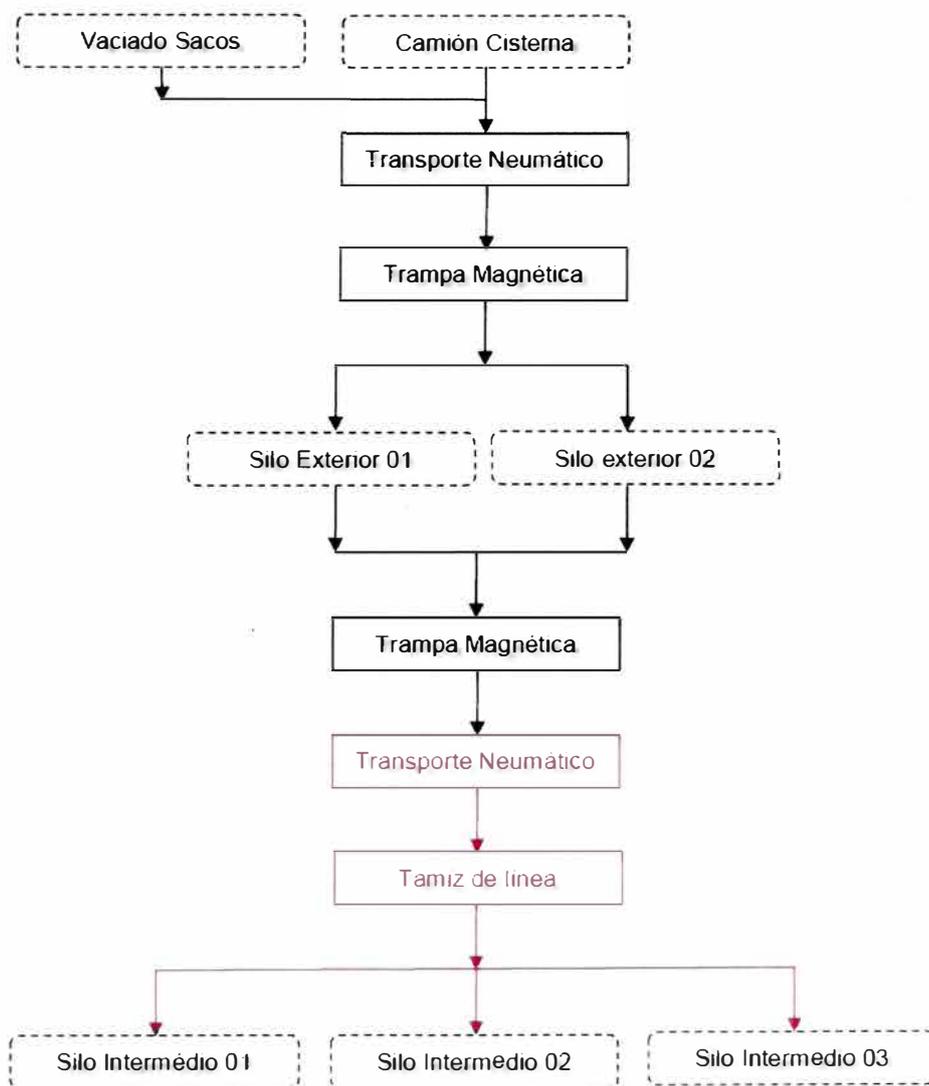


Figura 5.7 Diagrama de flujo en la actualidad

Fuente: RCT Solutions, (2023), "Diagrama de bloques del actual sistema de manejo automático de harinas"

La distribución de los equipos distribuye un nuevo plano que visualiza en la figura 5.8, donde la ubicación del tamizador esta fuera de planta, cercana a los silos externos entre los ejes "I" y "H".

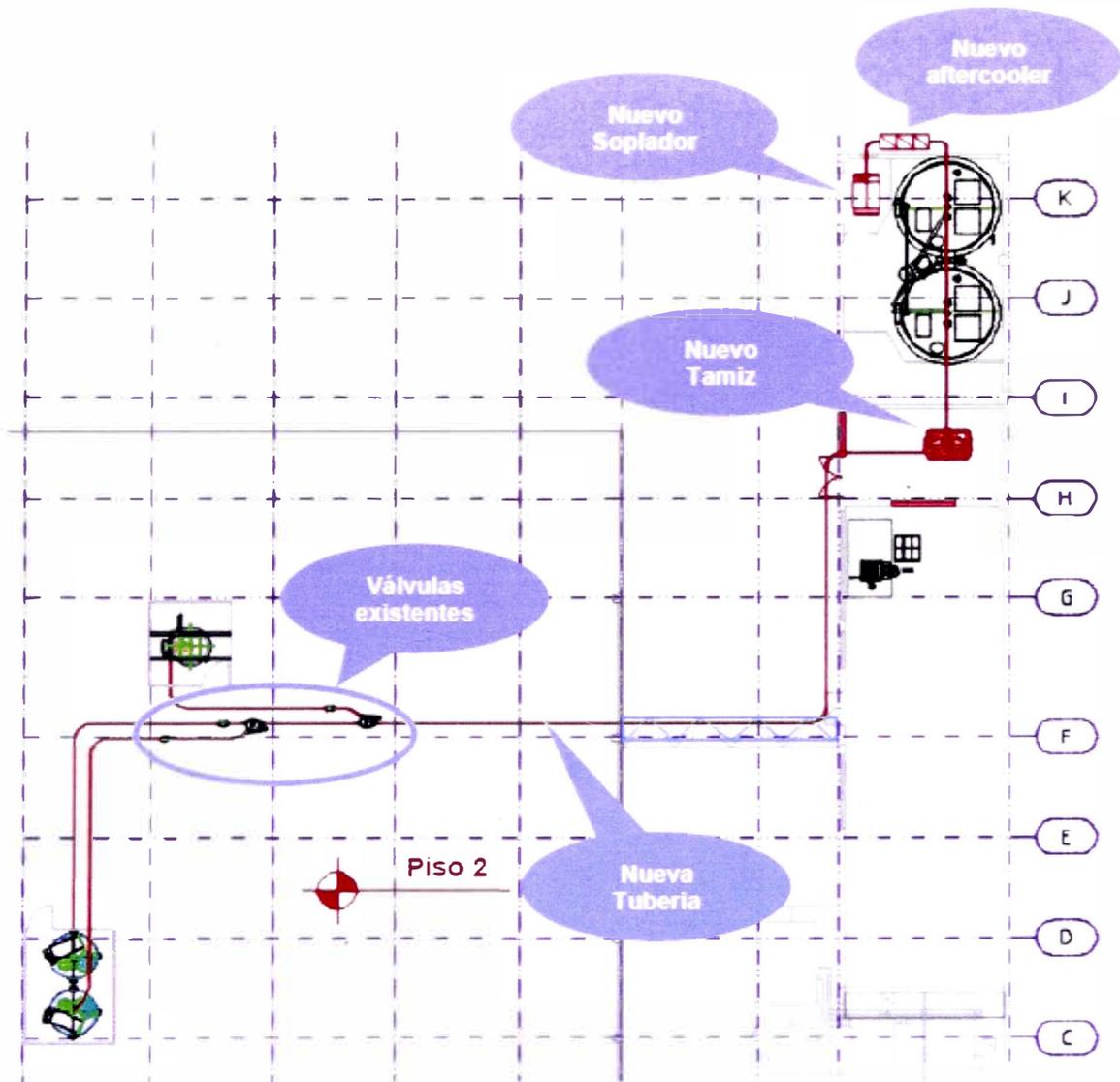


Figura 5.8 Distribución de equipos actualmente

Fuente: RCT Solutions, (2023), "Diagrama de bloques del actual sistema de manejo automático de harinas"

La representación gráfica en la Figura 5.9 exhibe la reconfiguración actual de la disposición de los equipos y la trayectoria de la tubería del sistema de transporte neumático de harina. En contraste con la disposición previa, donde la tubería ingresaba a la planta para ejecutar el recorrido del ciclón y tamizador, para luego retornar a los silos internos en la azotea, la nueva configuración presenta una menor extensión de tubería entre los silos externos e internos.

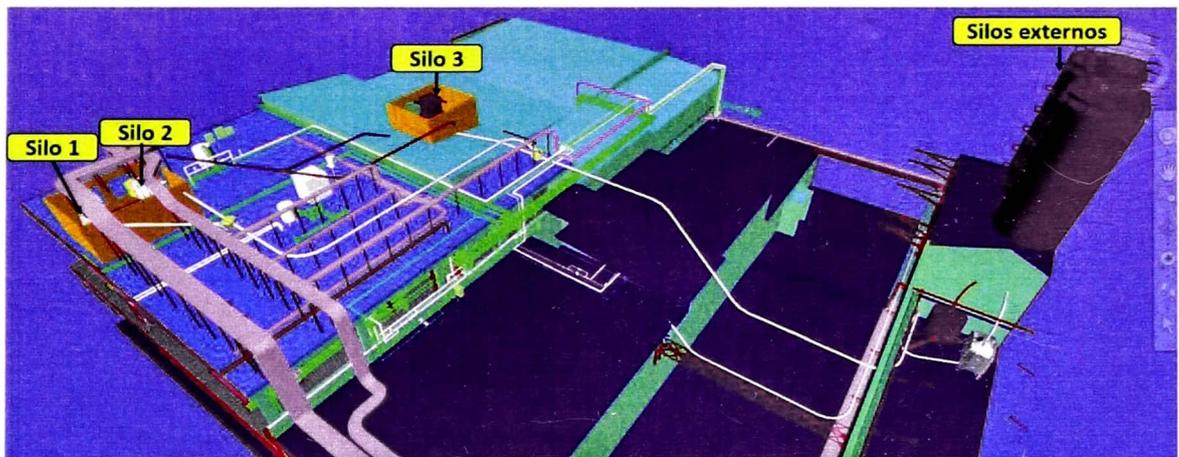


Figura 5.9 Distribución de equipos actualmente en 3D.
Fuente: Propia

5.2.1 Equipos y accesorios

A continuación, se muestra los principales equipos que utiliza el sistema, con una red de tuberías de acero inoxidable de diámetro nominal de 6”.

En la siguiente figura 5.10 se muestra el soplador de desplazamiento positivo Aerzen tipo Delta modelo GM 35S, para el transporte neumático.



Figura 5.10 Distribución de equipos actualmente en 3D
Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.11 se muestra el nuevo tamizador de mayor capacidad, su principal función es tamizar el flujo harina de manera eficiente.



Figura 5.11 Tamizador de harina.
Fuente: Propia

En la Figura 5.12, se presenta una válvula diverter que divide el sistema proveniente de los silos externos en dos ramales, y a lo largo de todo el sistema existen dos de estas válvulas. La primera realiza la bifurcación entre el silo 3 y los silos 1 y 2, mientras que la segunda divide entre los silos 1 y 2.

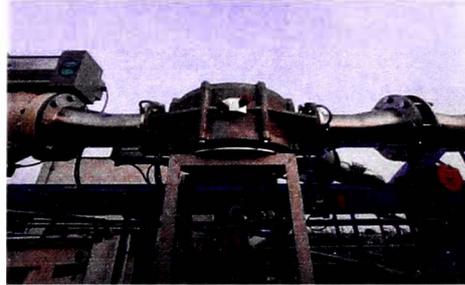


Figura 5.12 Válvula diverter.
Fuente: Propia

La Figura 5.13. Ilustra la parte superior del silo interno 1, donde se observa la antigua ruta de la tubería de entrada de harina, con un diámetro de 4", así como la nueva entrada con un diámetro de 6".



Figura 5.13 Parte superior del silo interno 1
Fuente: Propia

La Figura 5.14. Se presenta una válvula antideflagrante de la marca Rembe. A lo largo de todo el sistema, se encuentran dos de estas válvulas posicionadas antes de las válvulas diverter, proporcionando seguridad frente a posibles sobrepresiones en el sistema.



Figura 5.14 Válvula antideflagrante
Fuente: Propia

En la Figura 5.15, se presenta el trazado tanto de la tubería antigua como de la nueva, ambas fabricadas en acero inoxidable, utilizadas para el transporte de harina desde los silos externos hacia los silos internos.



Figura 5.15 Tendido de tubería de acero inoxidable
Fuente: Propia

5.2.2 Requerimientos y capacidades

Actualmente se mantienen los parámetros de consumo, se llevó a cabo la recopilación de datos técnicos del consumo de harina, clasificados por los silos de alimentación, líneas de producción y producto. Donde se determinó el consumo máximo a través de la combinación de consumos máximos de línea como se muestra en la tabla 5.4

Harina					
Silos Internos	Línea de producción	Producto	kg x turno	Max. kg x turno	Max. Kg/h
Silo Interno 1	Línea A	Producto 1	12,608.00	12,608.00	1,576.00
		Producto 2	11,700.00		-
	Línea B	Producto 3	2,750.00		-
		Producto 4	6,660.00		-
		Producto 5	7,410.00	7,410.00	926.25
Silo Interno 2	Línea C	Producto 6	11,475.00	11,475.00	1,434.38
Silos Interno 3	Línea D	Producto 7	14,212.00	14,212.00	1,776.50
		Producto 8	13,500.00		-
	Línea E	Producto 9	24,890.00	24,890.00	3,111.25
		Producto 10	20,430.00		-
		Producto 11	18,624.00		-
		Producto 12	19,200.00		-
		Producto 13	12,325.00		-
Sumatoria				70,595.00	8,824.38

Tabla 5.4 Requerimiento de harina de planta
Fuente: Propia

En la siguiente tabla 5.5, se realizó una recolección de datos, tiempos de descarga, frecuencia, cantidades para finalmente obtener el flujo de descarga de harina, para las condiciones actuales.

Recopilación de tiempos de descarga						
Parámetros	bombona 1		bombona 2		bombona 3	
	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales
Ingreso de bombona a planta	07:05:00		08:34:00		09:52:00	
Inicio de descarga	07:20:00		08:45:00		10:04:00	
Fin de descarga	08:24:00		09:41:00		11:01:00	
Salida de bombona de planta	08:33:00		09:51:00		11:15:00	
Masa	22,590		22,580		22,990	
Tiempo de descarga	01:04:00	1.067	00:56:00	0.933	00:57:00	0.950
Tiempo desde ingreso a salida de la bombona	01:28:00	1.467	01:17:00	1.283	01:23:00	1.383
Tiempo desde ingreso a inicio de descarga	00:15:00		00:11:00		00:12:00	
Flujo de descarga	21,178	Tn/h	24,193	Tn/h	24,200	Tn/h

Tabla 5.5 Recopilación de tiempos de descarga de bombonas

Fuente Propia

En la siguiente tabla 5.6, Se realizó una recolección de datos, tiempos de descarga, frecuencia, cantidades para finalmente obtener el flujo neto de alimentación de harina a planta de las condiciones actuales.

Resumen de capacidades		
Ítems	Cantidades	Und
Capacidad efectiva de silos externos	90,000.00	Tn
Capacidad bombonas	22,590.00	Tn
Tiempo de descarga de bombonas	1.47	h
Frecuencia promedio de bombonas	8.00	bobonas /día
Caudal BCP	4,000.00	kg/h
Capacidad silos internos N° 1 y N° 2	3,000.00	kg
Capacidad silos internos N° 3	4,000.00	kg
Flujo de descarga de harina desde bombonas a silos externos	15,402.27	kg/h

Tabla 5.6 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta
Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.16, Se resume los flujos de recepción y consumo de harina de planta, en el diagrama de procesos del nuevo sistema de transporte de harina.

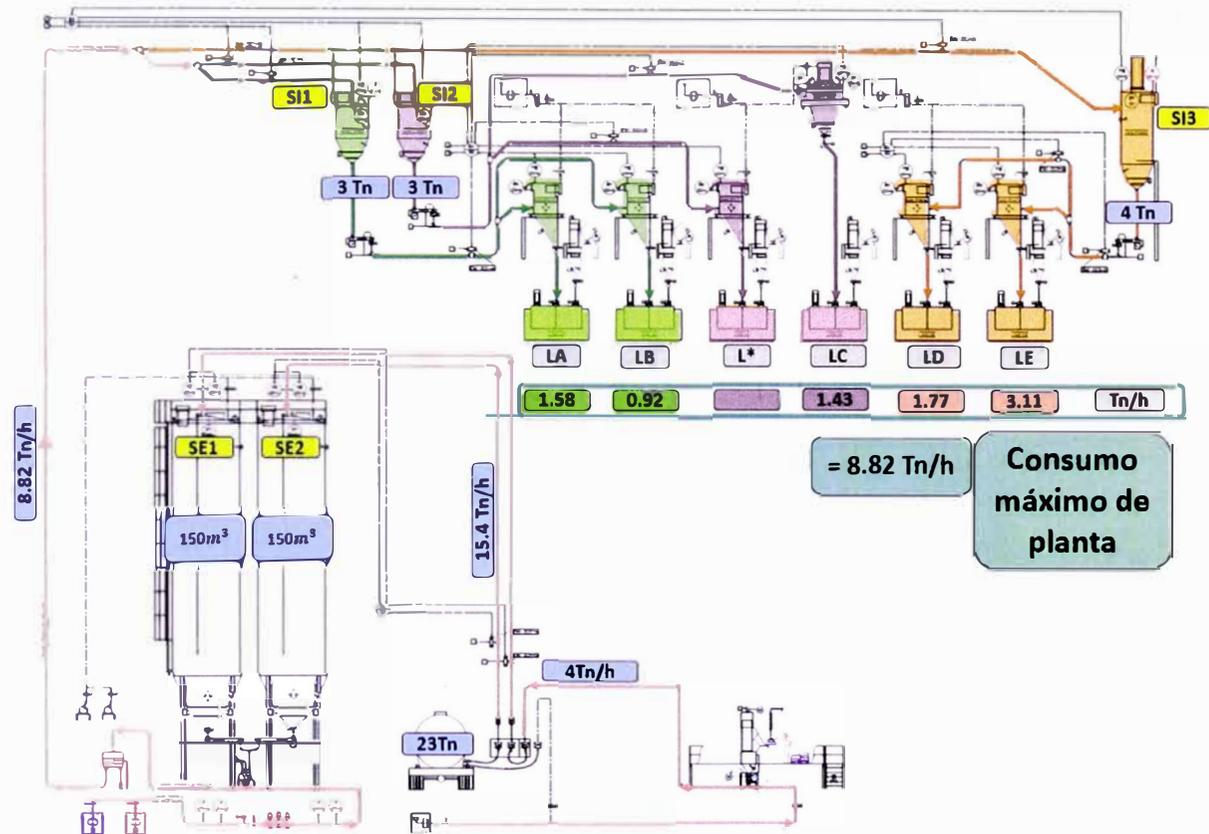


Figura 5.16 Resumen de capacidades y flujo neto de ingreso de harina a planta.
Fuente: Propia

5.3 Cálculos y resultados

5.3.1 Datos de ingreso

Suministro a planta

- Capacidad Nominal: 15 Tn/h
- Capacidad Máxima: 12 Tn/h
- Capacidad Consumo: 8.81 Tn/h

Suministro bombona

- Tiempo descarga 1.467 h
- Caudal de consumo= 15.4 Tn/h
- Masa harina descargada 22 590 kg
- Densidad de harina 550 kg/m³
- Material SS304

5.3.2 Cálculos generales

En la siguiente Tabla 5.7 se muestra las longitudes equivalentes para los distintos tramos del sistema de tuberías

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	
Tuberías	Longitud Horizontal (m)	5.00	54.00	17.00
	Longitud Vertical (m)	0	11.50	1.00
	Codos	0	7.50	2.50
	Desviaciones	0	1.00	0
	Diámetro externo	114.30	127.00	141.30
	Espesores	2.11	2.00	2.77

Tabla 5.7 Longitudes equivalentes de tubería
Fuente: Propia

En la siguiente Tabla 5.8 se muestra los datos y resultados

Hoja de datos y resultados			
Producto	Producto	Harina de trigo	
	Densidad	550	Kg/m ³
	Flujo de harina requerido	12000	Kg/h
	Altitud	100	msnm
Equipos	Tamizador	1	Unid.
	Intercambiador de calor	1	Unid.
	Válvula Dosificadora	1	Unid.
	Válvula Dosificadora en movimiento	1	Unid.
Datos	Volumen/N	10.5	
	N/min	22	
	LD (Ventilador de válvula dosificadora)	45	m
	∅ Externo tubería aire	152.4	mm
	Espesor de tubería de aire	2	mm
	Material	SS304	
Resultados	Total del flujo de aire	1166	m ³ /h
	Presión de transporte neumático	680	mbar
	Fuga de aire (Válvula Dosificadora)	176	m ³ /h
	Caudal (Diseño del filtro)	990	m ³ /h
	Área de filtrado (Calculado)	8	m ²
	Área de filtrado (Asumido)	10	m ²

Tabla 5.8 Datos y resultados
Fuente: Propia

En la siguiente Tabla 5.9 se muestra la selección del equipo soplador Aerzen considerando los parámetros requeridos para la producción de planta y basados en los resultados de la tabla 5.8, donde el total del flujo es 1166 m³/h.

Funcionamiento con sobrepresión			
Tamaño	Presión diferencial máx. mbar	Caudal máx. m³/h	Potencia del motor máx. kW
GM 3 S	1000	247	7,5
GM 4 S	1000	282	15
GM 7 L	700	493	15
GM 10 S / DN80	1000	542	22
GM 10 S / DN100	1000	696	30
GM 15 L	700	1038	30
GM 25 S	1000	1452	55
GM 30 L	700	2082	75
GM 35 S	1000	2418	90
GM 50 L / DN150	700	2610	75
GM 50 L / DN200	700	3306	90
GM 60 S	1000	3540	132
GM 80 L	700	5034	160
GM 90 S	1000	5418	200
GM 130 L	700	8040	200
GM 150 S	1000	9120	355

Tabla 5.9 Límites de operación y utilización
Fuente: Manual de equipos Aerzen 3PE_

Por lo tanto, se puede para el caudal requerido de 1166 m³/h se cubre con la capacidad del soplador GM 35S que tiene un caudal máximo de 2418 m³/h. Para la presión de transporte requerido de 680 mbar se tiene una presión diferencial máxima de 1000 mbar. En la siguiente tabla 5.10, se muestra la comparación de presiones y concluyendo con el factor de trabajo.

Presión de transporte neumático	Presión diferencial GM 35S	Factor de trabajo
m ³ /h	m ³ /h	np
680	1000	68.0%

Tabla 5.10 Presión de transporte vs presión diferencial GM 35S
Fuente: Manual de equipos Aerzen 3PE_008_Es

En la siguiente tabla 5.11, se muestra la comparación de caudal requerido y caudal máximo concluyendo con el factor de trabajo.

Caudal requerido	Caudal max. GM 35S	Factor de trabajo
m ³ /h	m ³ /h	nc
1166	2418	48.2%

Tabla 5.11 Caudal requerido vs Caudal máximo GM 35S
Fuente: Manual de equipos Aerzen 3PE_008_Es

En la siguiente tabla 5.12, se muestra las características de las serie de tamizadores Great Western Manufacturing. Para el requerimiento de producción se tiene un consumo de 15 000 kg/h, según la tabla 5.14 y de traslado de harina hacia los silos internos se tiene un flujo máximo de 23 000 kg/h, por lo tanto el modelo que satisface el requerimiento es el QA46 con una capacidad de 33 000kg/h

Característica	und	QA24	QA30	QA36	QA46
Capacidad Máxima	t/h	9.6	10.8	19.2	33
Número de Cubiertas	und	2	2	3	6
Dimensiones	m	< 1.5m de altura, 1.5m x 1m	< 1.8m de altura, 1.8m x 1.2m	< 2m de altura, 2m x 1.5m	> 2.5m de altura, 3m x 2m
Aplicaciones	-	Pequeñas operaciones o laboratorio	Pequeñas a medianas operaciones	Medianas operaciones	Grandes operaciones
Costo	-	Menor	Moderado	Moderado a alto	Mayor
Consumo Energético	-	Menor	Menor a moderado	Moderado	Mayor
Facilidad de Mantenimiento	-	Alta	Alta	Relativamente alta	Moderada debido al mayor tamaño

Tabla 5.12 Características de equipos tamizadores
Fuente: Manual de equipos Great Western Manufacturing

En la siguiente tabla 5.13, se basa en la toma de datos del flujo de consumo de harina desde el silo interno de capacidad de 4000 kg comparado con el llenado del mismo en las condiciones iniciales del sistema.

Fecha	Flujo de consumo de masa	Tiempo de paradas	Tiempo de llenado de los silos	Flujo de llenado Silo 4000Kg
	kg/h	h/día	h	Kg/h
7/08/2023	8700	0.61	0.39	9628.9
8/08/2023	8600	0.41	0.4	9590.4
9/08/2023	9300	0.26	0.35	11085.5
10/08/2023	9700	0.65	0.33	11201.9
11/08/2023	9100	0.68	0.34	10859.7
12/08/2023	9600	0.47	0.36	10537.9
13/08/2023	8800	1.5	0.42	8290.2
14/08/2023	8900	0.32	0.41	9448.8
15/08/2023	10000	0.71	0.31	11779.1
16/08/2023	10000	0.71	0.31	11779.1
17/08/2023	9400	0.53	0.36	10468.9
18/08/2023	9800	0.71	0.32	11442.2
19/08/2023	10000	0.71	0.31	11779.1
20/08/2023	9500	0.59	0.35	10678.5
21/08/2023	9200	0.44	0.38	10041.8
22/08/2023	9900	0.38	0.31	12276.2
23/08/2023	8500	0.56	0.45	8450.7
24/08/2023	10000	0.71	0.31	11779.1
25/08/2023	8900	0.35	0.41	9421.0
26/08/2023	9000	0.62	0.4	9393.3
27/08/2023	8700	0.68	0.39	9561.8
28/08/2023	9400	0.41	0.36	10607.7
29/08/2023	9300	0.29	0.35	11047.2
30/08/2023	10000	0.71	0.31	11779.1
31/08/2023	9900	0.71	0.38	9766.0
1/09/2023	9200	0.65	0.34	10896.7
2/09/2023	9800	0.71	0.32	11442.2
3/09/2023	8600	0.56	0.4	9448.8
4/09/2023	9500	0.47	0.35	10823.0

Tabla 5.13 Comparativa de flujo de consumo de masa y llenado de silo en condiciones iniciales

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.17, Se visualiza la tendencia de ambos flujos, señalados en la tabla 5.13, donde se verifica que en el periodo cercano a 1 mes se tiene 3 paros por falta de capacidad en traslado y además de tener un margen muy corto entre ambos flujos.

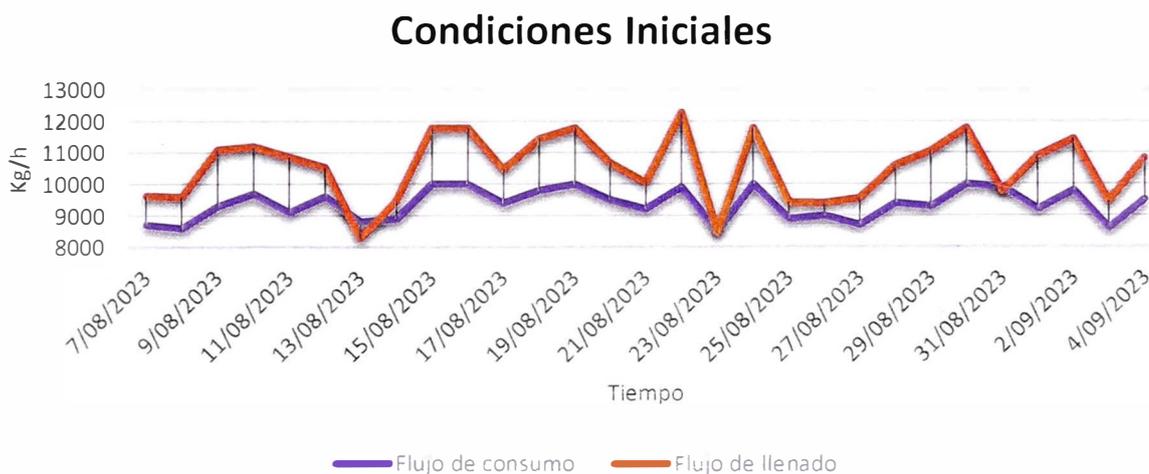


Figura 5.17 Flujo de consumo vs flujo de llenado en condiciones iniciales
Fuente: Propia

En la siguiente tabla 5.14, se basa en la toma de datos del flujo de consumo de harina desde el silo interno de capacidad de 4000 kg comparado con el llenado del mismo en las condiciones actuales del sistema.

Fecha	Flujo de masa	Tiempo de paradas	Tiempo de llenado de los silos	Flujo de llenado
	kg/h	h/día	h	Kg/h
6/11/2023	13600	0.17	0.2	19315.9
7/11/2023	13500	0.09	0.21	18713.5
8/11/2023	14500	0.06	0.18	21917.8
9/11/2023	14000	0	0.21	19047.6
10/11/2023	12500	0.21	0.18	21192.1
11/11/2023	13000	0.19	0.19	20210.5
12/11/2023	13000	0.21	0.2	19161.7
13/11/2023	14800	0.16	0.17	22641.5
14/11/2023	13000	0.12	0.18	21621.6
15/11/2023	14700	0.13	0.18	21573.0
16/11/2023	14600	0.17	0.21	18426.1
17/11/2023	13500	0.23	0.19	20041.8
18/11/2023	14000	0.03	0.17	23357.7
19/11/2023	14800	0.18	0.2	19277.1
20/11/2023	14500	0.1	0.17	22966.5
21/11/2023	13300	0.16	0.18	21428.6
22/11/2023	13700	0.22	0.2	19123.5
23/11/2023	13200	0.15	0.19	20382.2
24/11/2023	12500	0.07	0.21	18786.7
25/11/2023	13000	0.24	0.17	22222.2
26/11/2023	12500	0.25	0.2	19009.9
27/11/2023	13800	0.08	0.17	23076.9
28/11/2023	14500	0.14	0.2	19433.2
29/11/2023	12600	0.2	0.21	18320.6
30/11/2023	14000	0.11	0.18	21670.4
1/12/2023	14300	0.05	0.19	20824.3
2/12/2023	14000	0.04	0.21	18897.6
3/12/2023	14700	0.02	0.2	19917.0
4/12/2023	13000	0.24	0.2	19047.6
5/12/2023	12800	0.01	0.18	22170.9

Tabla 5.14 Comparativa de flujo de consumo de masa y llenado de silo en condiciones actuales

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.18, Se visualiza la tendencia de ambos flujos, señalados en la tabla 5.14, donde se verifica que en el periodo cercano a 1 mes se tiene 0 paros por falta de capacidad en traslado y además de tener un margen considerable con respecto al inicial entre ambos flujos.

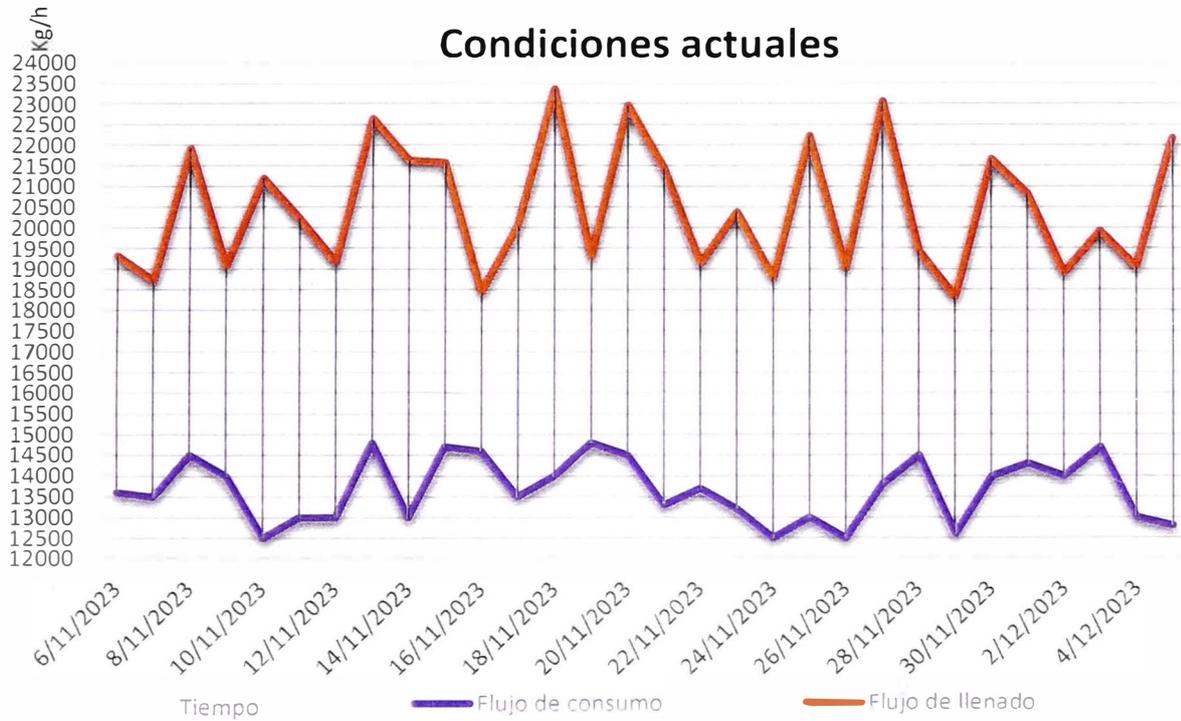


Figura 5.18 Flujo de consumo vs flujo de llenado en condiciones actuales
Fuente: Propia

5.3.3 Simulación de análisis de fluidos

En la siguiente figura 5.19, Se realiza el análisis usando CDF-SolidWorks, para el tramo 1.

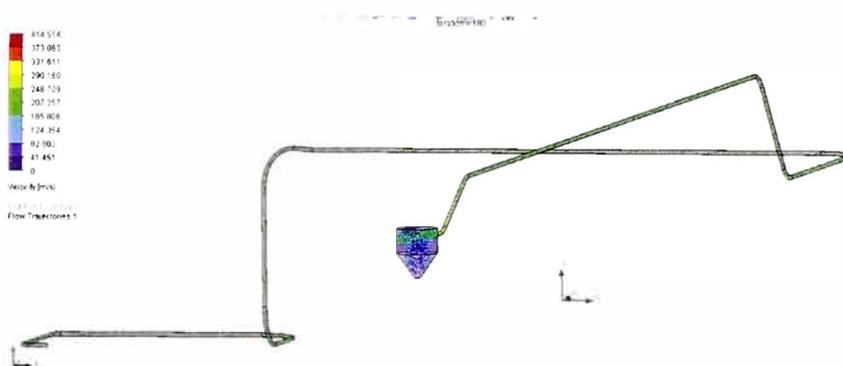


Figura 5.19 Análisis de fluidos del tramo 1
Fuente:

En la siguiente figura 5.20, Se muestra el efecto del gas en el interior del ciclón de separación.

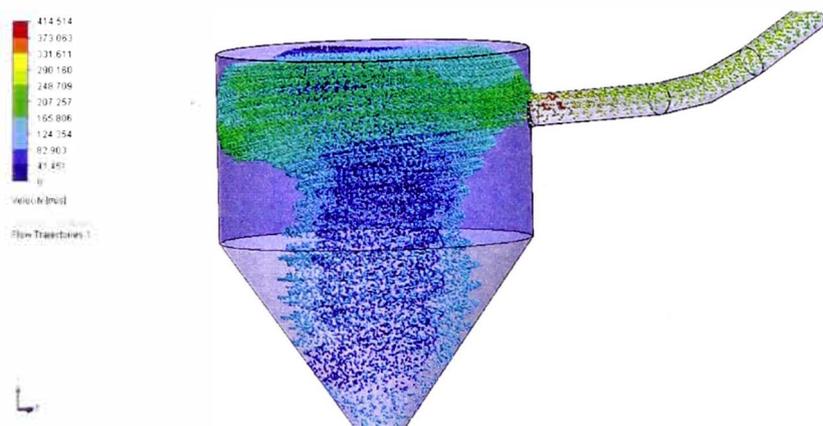


Figura 5.20 Análisis de fluidos del tramo 1
Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.21, La evaluación se lleva a cabo empleando CDF-SolidWorks, para el tramo 2.

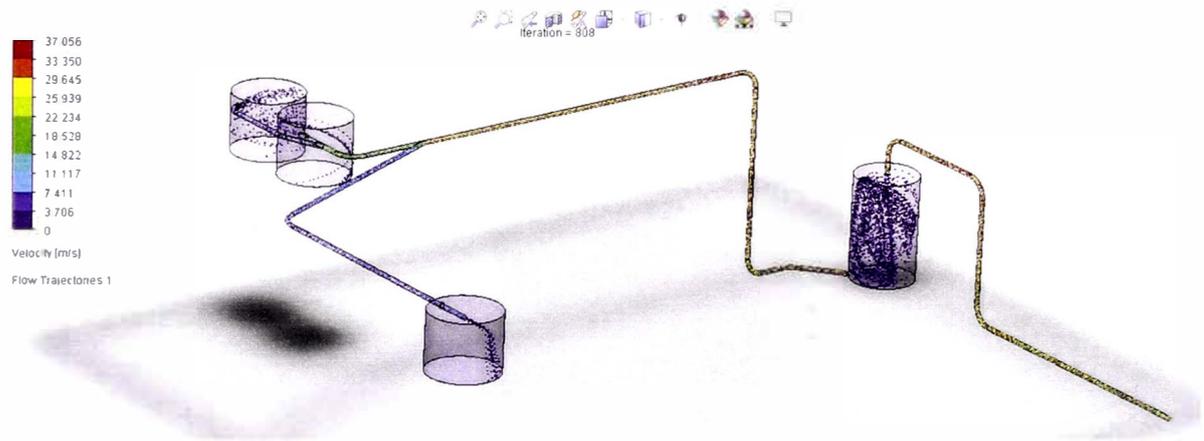


Figura 5.21 Análisis de fluido en el tramo 2

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.22, Se realiza el análisis estructural del silo 3

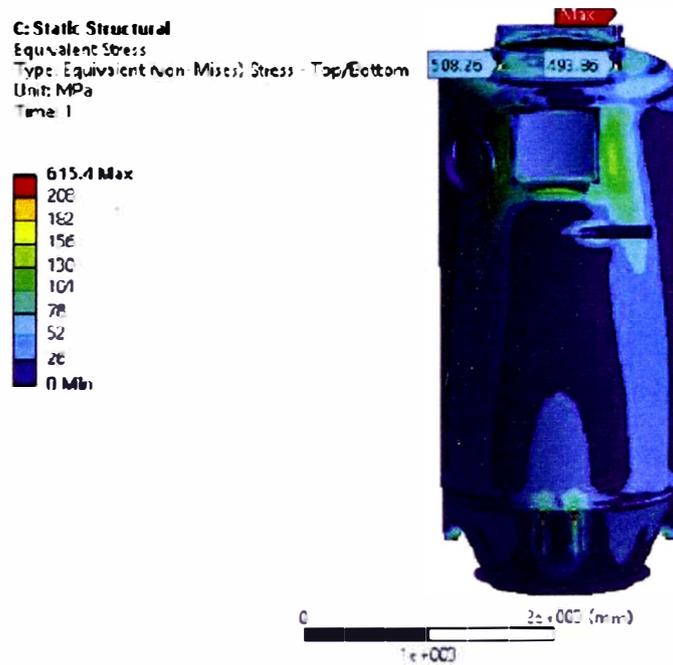


Figura 5.22 Análisis estructural – silo 3

Fuente: Propia

En la siguiente figura 5.23, Se realiza el análisis estructural del silo 3

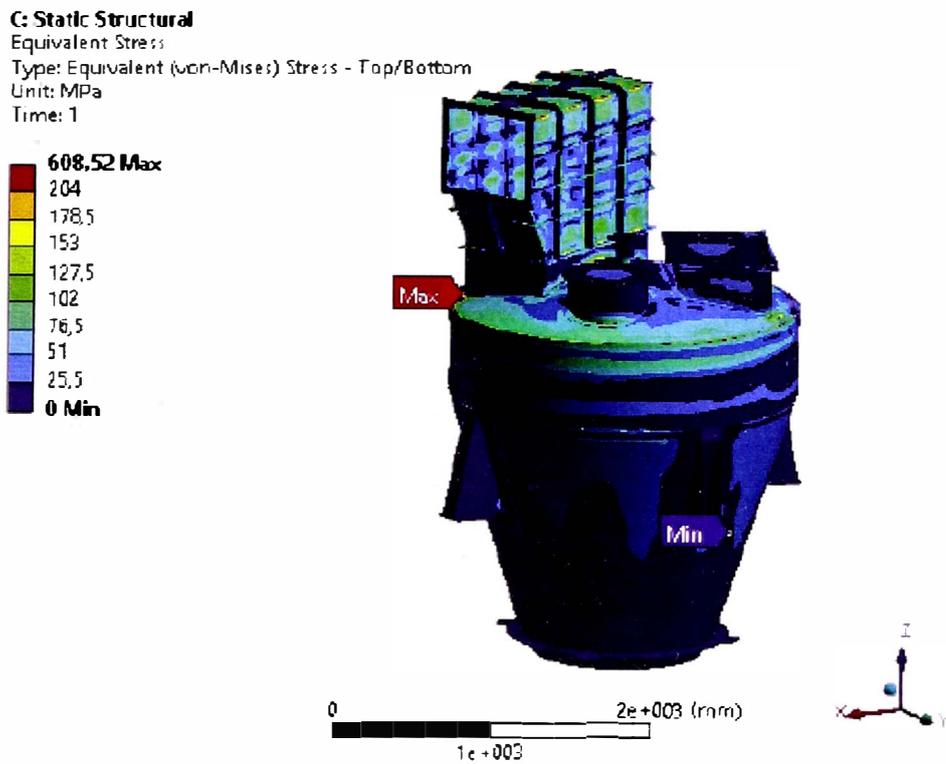


Figura 5.23 Análisis estructural – silo 1 y 2
 Fuente: Propia

Hoja de resultados			
Producto	Producto	Harina de trigo	
	Densidad	550.00	Kg/m ³
	Flujo de harina requerido	12,000.00	Kg/h

	Altitud	100.00	msnm
Equipos	Tamizador en línea	1.00	und
	Intercambiador de calor	1.00	und
	Válvula Dosificadora	1.00	und
	Válvula Dosificadora en movimiento	1.00	und
Datos	Volúmen/N	10.50	
	N/min	22.00	
	LD (Ventilador de válvula dosificadora)	45.00	m
	∅ Externo tubería aire	203.20	mm
	Espesor de tubería de aire	2.00	mm
	Material	SS304	
Resultados	Total del flujo de aire	1,166.00	m3/h
	Presión de transporte neumático	680.00	mbar
	Fuga de aire (Válvula Dosificadora)	176.00	m3/h
	Caudal (Diseño del filtro)	990.00	m3/h
	Área de filtrado (Calculado)	8.00	m2
	Área de filtrado (Asumido)	10.00	m2

6. CAPÍTULO VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Material de la Tubería (SS304, 2mm de espesor):

El acero inoxidable tipo SS304 con un espesor de 2 mm es una elección adecuada para el transporte de harina. El SS304 es conocido por su resistencia a la corrosión, lo cual es esencial al manejar alimentos. El espesor de 2 mm proporciona la resistencia mecánica necesaria para soportar la presión y carga de trabajo.

6.2 Soplador de Desplazamiento Positivo:

La elección de un soplador de desplazamiento positivo es acertada, ya que estos dispositivos son eficientes para el transporte de materiales a granel como la harina. La presión de trabajo de 650 mbar es suficiente para impulsar el material a través de la tubería hacia los silos internos.

6.3 Parámetros de estado: Presión y Temperatura:

La presión de trabajo de 650 mbar es adecuada para el transporte eficiente de harina, y la temperatura de 60 °C es aceptable para este tipo de aplicación. Se debe tener en cuenta que la temperatura puede afectar la densidad del producto, y en este caso, parece estar dentro de los límites operativos seguros.

6.4 Presión de Descarga y Caudal:

Mantener la presión de descarga por debajo de 40 mbar es crucial para evitar problemas como la formación de polvo y la pérdida del material durante el transporte. Un caudal de traslado de 12,000 kg/h es más que suficiente para cubrir la demanda de 8,820 kg/h, lo que indica un margen de capacidad adicional que puede ser beneficioso para hacer frente a posibles aumentos en la producción.

6.5 Eficiencia de Producción:

La mejora considerable en la eficiencia de producción, mencionada en los resultados, se debe principalmente a la capacidad adecuada de la tubería y del soplador. Esto reduce las paradas de planta debido a la falta de capacidad de los equipos, lo que lleva a una producción más continua y consistente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la tabla 5.14 proporcionan una visión sobre la relación entre el rediseño del sistema neumático y la eficiencia en el traslado de harina según pudiéndose visualizar en la figura 5.18 que muestra una tendencia de ambos flujos sin intercepciones lo que demuestra las mejoras en los tiempos de sistema de traslado

Reducción del Tiempo de Paradas:

Antes de la implementación del sistema neumático, el tiempo de paradas variaba entre 0.26 y 1.5 horas por día, con un promedio aproximado de 0.55 horas por día. Después de la implementación, el tiempo de paradas se redujo significativamente, oscilando entre 0 y 0.25 horas por día, con un promedio de 0.14 horas por día. Esta reducción indica una mejora en la continuidad operativa y en la disponibilidad de los equipos.

Mejora en el Tiempo de Llenado de los Silos:

El tiempo de llenado de los silos antes de la implementación del sistema neumático variaba entre 0.31 y 0.45 horas, con un promedio de aproximadamente 0.35 horas. Después de la implementación, este tiempo varía entre 0.17 y 0.21 horas, con un promedio de 0.19 horas. Esta mejora representa una reducción significativa en el tiempo requerido para llenar los silos, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el manejo de la harina.

Aumento del Flujo de Llenado de los Silos:

El flujo de llenado de los silos antes de la implementación del sistema neumático estaba entre 8290.2 y 12276.2 kg/h, con un promedio de aproximadamente 10422.2 kg/h. Después de la implementación, el flujo de llenado aumentó considerablemente, oscilando entre 18320.6 y 23357.7 kg/h, con un promedio de aproximadamente 20312.5 kg/h. Este aumento significativo en el flujo de llenado confirma la mejora en la eficiencia del proceso de traslado de harina.

Incremento del Flujo de Consumo de Masa:

El flujo de consumo de masa antes de la implementación variaba entre 8500 y 10000 kg/h. Después de la implementación, el flujo de masa ha aumentado, variando entre 12500 y 14800 kg/h. Este incremento en el flujo de masa refleja una mayor capacidad de procesamiento y una optimización del sistema de traslado.

Impacto General en la Eficiencia Operativa:

La implementación del sistema neumático ha logrado mejorar la eficiencia operativa de manera significativa. La reducción en el tiempo de paradas y en el tiempo de llenado de los silos, junto con el aumento en el flujo de llenado y en el flujo de consumo de masa, demuestra que el nuevo sistema es mucho más eficiente y eficaz.

Recomendaciones

En general, según los resultados presentados se recomienda que la implementación de estos parámetros en el sistema de transporte de harina ha sido exitosa y beneficia significativamente la eficiencia de producción de la planta. Además de la mejora y actualización tecnología en el traslado y seguridad anti explosivos.

Referencias bibliográficas

Álvarez Murillo , S., & Toasa Tenorio, J. (2021). *Diseño de un banco experimental para determinación de la velocidad de flotación de partículas sólidas con fines de transporte neumático.*

Atlas Copco. (2023). *Pneumatic conveying guide for the food and beverage industry.*

Banco Central de Reserva del Perú. (24 de Septiembre de 2023). *BCRPData*. Obtenido de <https://acortar.link/rMpSB2>

Barmore, F. y. (1985). *Theory and Application to Wheat Flour Dough*. St Paul.

Bonilla Corrales, J. (2018). *Diseño tecnológico de una planta de producción de harina de plátano verde.*

Budynas, R. G. (2012). *Ingeniería Mecánica Diseño de Máquinas*. McGraw Hill.

Cauvain, S.; Young, L. (2006). *Science, technology and Practice, Oxford*. Baked Products.

Great Western Manufacturing. (24 de Septiembre de 2023). *Gwmfg*. Obtenido de <https://gwmfg.com/>

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). *Style IEEE. Journal*, 1(1), 1-33.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (24 de Septiembre de 2023). *INIA*. Obtenido de <http://www.inia.uy/>

Mills, D. (2004). *Pneumatic Conveying Design Guide*. Elsevier.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri). (2022). *Nota técnica conyuntura económica agraria N° 011-2022 - MIDAGRI*.

Otamendi, M. A. (2004). *Demandas de calidad de trigo a nivel mundial*. IDIA.

Pérez Peralta, A. (2020). *Diseño de una instalación de transporte neumático para un proceso de molienda*.

Sanchez Sornoza, E. (2017). *Diseño de un sistema de transporte neumático de dos etapas mixto para quinua con capacidad de 40 quintales hora*.

Solutions, R. (2023). *Diagrama de flujo de recepción de silos*.

Anexos

Anexo 1 Consumo del insumo de harina por Linea	80
Anexo 2 Cantidad de equipos y resultados	81
Anexo 3 Tiempos de descarga de bombonas de harina	82
Anexo 4 Principales capacidades de equipos de recepción	83
Anexo 5 Capacidad de equipos de almacenaje	84

Anexo 1: Consumo del insumo de harina por Linea

Anexo 1 Consumo del insumo de harina por Linea

Harina					
Silos Internos	Linea de producción	Producto	kg x turno	Max. kg x turno	Max. Kg/h
Silos Internos 1	Línea A	Producto 1	12,608.00	12,608.00	1,576.00
		Producto 2	11,700.00		-
	Línea B	Producto 3	2,750.00		-
		Producto 4	6,660.00		-
		Producto 5	7,410.00	7,410.00	926.25
Silos Internos 2	Línea C	Producto 6	11,475.00	11,475.00	1,434.38
Silos Internos 3	Línea D	Producto 7	14,212.00	14,212.00	1,776.50
		Producto 8	13,500.00		-
	Línea E	Producto 9	24,890.00	24,890.00	3,111.25
		Producto 10	20,430.00		-
		Producto 11	18,624.00		-
		Producto 12	19,200.00		-
		Producto 13	12,325.00		-
Sumatoria				70,595.00	8,824.38

Anexo 2 Cantidad de equipos y resultados

Hoja de resultados			
Producto	Producto	Harina de trigo	
	Densidad	550.00	Kg/m ³
	Flujo de harina requerido	12,000.00	Kg/h
	Altitud	100.00	msnm
Equipos	Tamizador en línea	1.00	und
	Intercambiador de calor	1.00	und
	Válvula Dosificadora	1.00	und
	Válvula Dosificadora en movimiento	1.00	und
Datos	Volúmen/N	10.50	
	N/min	22.00	
	LD (Ventilador de válvula dosificadora)	45.00	m
	∅ Externo tubería aire	203.20	mm
	Espesor de tubería de aire	2.00	mm
	Material	SS304	
Resultados	Total del flujo de aire	1,166.00	m ³ /h
	Presión de transporte neumático	680.00	mbar
	Fuga de aire (Válvula Dosificadora)	176.00	m ³ /h
	Caudal (Diseño del filtro)	990.00	m ³ /h
	Área de filtrado (Calculado)	8.00	m ²
	Área de filtrado (Asumido)	10.00	m ²

Anexo 3 Tiempos de descarga de bombonas de harina

Recopilación de tiempos de descarga						
Parámetros	bombona 1		bombona 2		bombona 3	
	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales	Tiempo	Decimales
Ingreso de bombona a planta	07:05:00		08:34:00		09:52:00	
Inicio de descarga	07:20:00		08:45:00		10:04:00	
Fin de descarga	08:24:00		09:41:00		11:01:00	
Salida de bombona de planta	08:33:00		09:51:00		11:15:00	
Masa	22,590		22,580		22,990	
Tiempo de descarga	01:04:00	1.067	00:56:00	0.933	00:57:00	0.950
Tiempo desde ingreso a salida de la bombona	01:28:00	1.467	01:17:00	1.283	01:23:00	1.383
Tiempo desde ingreso a inicio de descarga	00:15:00		00:11:00		00:12:00	
Flujo de descarga	21,178	Tn/h	24,193	Tn/h	24,200	Tn/h

Anexo 4 Principales capacidades de equipos de recepción

Resumen de capacidades		
Capacidad efectiva de silos externos (tn)	90,000.00	Tn
Capacidad bobonas (tn)	22,590.00	Tn
Descarga de bobonas (h)	1.47	h
Frecuencia de bombonas (bobonas / dia)	8.00	bobonas /dia
Capacidad silos internos N° 1 y N° 2 (kg)	3,000.00	kg
Capacidad silos internos N° 3 (kg)	4,000.00	kg
Flujo de descarga de harina desde bombonas a silos externos	15,402.27	kg/h

Anexo 5 Capacidad de equipos de almacenaje

Ítem	Datos importantes	Cantidades	Und
1	Capacidad Silo 01	82,500.00	kg
2	Capacidad Silo 02	82,500.00	kg
3	Densidad harina	550.00	kg/m ³
4	Capacidad total	165,000.00	kg
5	Flujo de descarga (bombonas)	15,402.27	Kg/h