

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE
UN SISTEMA DE TRANSPORTE Y DOSIFICACIÓN DE
ABSORBENTE PARA UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN DE
PAÑALES DE 800 UNDS. /MIN**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

DIANA DEL ROSARIO AVILA RIVERA

PROMOCIÓN 2008-I

LIMA – PERU

2013

ÍNDICE

PRÓLOGO	- 1 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
1.1. Situación problemática	- 3 -
1.2. Definición del problema	- 3 -
1.3. Objetivos.....	- 4 -
1.4. Justificación	- 5 -
1.5. Limitaciones.....	- 6 -
MARCO TEÓRICO.....	- 7 -
2.1. Generalidades del polímero superabsorbente (SAP).....	- 7 -
2.1.1. Poliacrilato de sodio	- 8 -
2.1.2. Aplicaciones.....	- 10 -
2.2. Sistemas de transporte neumático	- 10 -
2.2.1. Transporte neumático en fase diluida y fase densa	- 10 -
2.2.2. Transporte neumático por vacío y por presión	- 11 -
2.2.2.1. Comparación del transporte por vacío y por presión	- 12 -
2.2.3. Pérdidas de carga en el transporte neumático	- 13 -
2.2.3.1. Velocidades del gas y de los sólidos	- 13 -
2.2.3.2. Flujos máxicos.....	- 14 -
2.2.3.3. Caída de presión.....	- 14 -
2.2.4. Tipos de transporte neumático de sólidos	- 16 -
2.2.4.1. Transporte vertical	- 16 -
2.2.4.2. Transporte horizontal	- 18 -
2.2.5. Diseño del transporte en fase diluída	- 20 -
2.2.5.1. Velocidad del gas	- 20 -
2.2.5.2. Caída de presión.....	- 20 -
2.2.5.3. Codos.....	- 22 -
2.2.6. Diseño del transporte en fase densa	- 23 -
2.2.6.1. Patrones de flujo.....	- 23 -
2.3. Sistemas de dosificación de sólidos secos y sólidos en polvo.....	- 25 -
2.3.1. Dosificadores volumétricos	- 26 -
2.3.1.1. Dosificadores de tornillo	- 26 -
2.3.1.2. Dosificadores de compuerta rotativa.....	- 27 -

2.3.1.3.	Dosificadores de banda rodante.....	- 28 -
2.3.2.	Dosificadores gravimétricos	- 29 -
2.3.2.1.	Dosificadores de banda rodante.....	- 29 -
2.3.2.2.	Dosificador de pérdida de peso.....	- 30 -
2.3.3.	Criterios de selección.....	- 31 -
2.3.3.1.	Parámetros del sistema de diseño	- 31 -
2.3.3.2.	Parámetros de prueba.....	- 32 -
SELECCIÓN DE EQUIPOS.....		- 35 -
3.1.	Sistema de transporte	- 37 -
3.1.1.	Cálculo de volúmenes de las tolvas	- 39 -
3.1.2.	Cálculo del diámetro de la tubería de transporte	- 40 -
3.1.3.	Cálculo de la potencia del motor de la bomba de vacío	- 50 -
3.1.4.	Selección de los equipos	- 51 -
3.2.	Sistema de dosificación.....	- 54 -
3.2.1.	Cálculo de flujos mássicos y volumétricos	- 54 -
3.2.2.	Selección del dosificador	- 55 -
INSTALACIÓN.....		- 57 -
4.1.	Ambiente de trabajo	- 57 -
4.2.	Sistema mecánico.....	- 59 -
4.3.	Sistema de instrumentación y control	- 62 -
4.4.	Sistema eléctrico	- 73 -
4.5.	Sistema de comunicaciones	- 75 -
4.6.	Integración del sistema	- 77 -
PUESTA EN MARCHA Y PRODUCCIÓN DE LA LÍNEA INSTALADA		- 81 -
5.1.	Puesta en marcha.....	- 81 -
5.1.1.	Arranque	- 81 -
5.1.1.1.	Verificaciones y configuraciones previos al arranque.....	- 81 -
5.1.1.2.	Detección y solución de problemas	- 84 -
5.1.1.3.	Procedimiento	- 84 -
5.1.2.	Apagado	- 86 -
5.1.2.1.	Procedimiento	- 86 -
5.2.	Producción de la línea instalada.....	- 87 -
COSTOS DE INSTALACIÓN Y GANANCIAS.....		- 89 -
6.1.	Costos de instalación.....	- 89 -
6.1.1.	Costos directos	- 89 -
6.1.2.	Costos indirectos.....	- 90 -
6.1.3.	Costo total	- 90 -

III

6.2. Ganancias generadas según datos de producción	- 91 -
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 92 -
7.1. Conclusiones	- 92 -
7.2. Recomendaciones para trabajos futuros.....	- 93 -
BIBLIOGRAFÍA	- 94 -
ANEXOS	- 95 -

PRÓLOGO

El propósito del presente trabajo es describir el proceso de selección, instalación y puesta en marcha de un sistema de transporte y dosificación de absorbente para una línea de fabricación de pañales de 800 unds/min. La solución planteada presenta un sistema capaz de cumplir con los requerimientos, los mismos que están ligados a las condiciones y características dadas por el proceso.

Para dicho efecto, el presente documento se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I. Contiene la parte introductoria que explica la situación problemática, definición del problema, objetivos, justificación y las limitaciones del trabajo.

Capítulo II. Se presenta la teoría para el desarrollo del tema, así como también los cálculos para la selección de los equipos involucrados en el sistema.

Capítulo III. Muestra la solución propuesta para el problema identificado, donde se incluyen los cálculos para el dimensionamiento y la selección de los equipos.

Capítulo IV. Describe la instalación del sistema especificando el espacio de trabajo y las consideraciones generales para la instalación.

Capítulo V. Se detalla las verificaciones previas al arranque y los procedimientos de arranque y apagado del sistema. Asimismo se presentan cuadros de producción de la línea instalada.

Capítulo VI. Se detallan los costos para la implementación del sistema y las ganancias de acuerdo a los datos de producción.

Capítulo VII. Contiene la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

Finalmente se indican la bibliografía consultada y los anexos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

En la actualidad existe una mayor demanda de pañales en el Perú, a diferencia de lo que ocurría décadas atrás, podría pensarse que se debe a una mayor tasa de natalidad, pero no es así. La gente está cambiando sus hábitos de consumo al tener mayor poder adquisitivo, con la inclusión de más mujeres al mercado de trabajo, los ingresos familiares comienzan a mejorar y se ha estado dejando de lado el consumo de pañales de tela por los desechables.

Es por ello que en los últimos diez años, el mercado de pañales desechables ha ido incrementando su participación en los hogares, llegando actualmente a cerca de 85% de inserción en el mercado, según estudios de mercado realizados por las empresas productoras, lo que ha creado la necesidad de incrementar la producción y de mejorar el proceso productivo haciendo uso de la tecnología.

1.2. Definición del problema

La producción de pañales es un proceso continuo y una de las tareas más críticas es la correcta e incluso uniforme distribución de SAP (Polímero Super Absorbente) sobre la banda en movimiento rápido de celulosa o fibras.

La precisión a corto plazo y la uniformidad del dispositivo de alimentación de SAP son la clave para la calidad del producto final; ante esta problemática de dosificación exacta y de distribución uniforme, así como de evitar los daños en las partículas de SAP al ser transportadas, y considerando el impacto ambiental de las

fugas en el transporte de SAP, se torna necesario contar con un sistema de transporte de productos sólidos que incluya pesaje automático para dosificación. Dicho sistema implementado debe ser capaz de enviar y recibir datos del sistema de control principal de la línea de producción, vía comunicación Ethernet IP (ver la Figura 1.1).

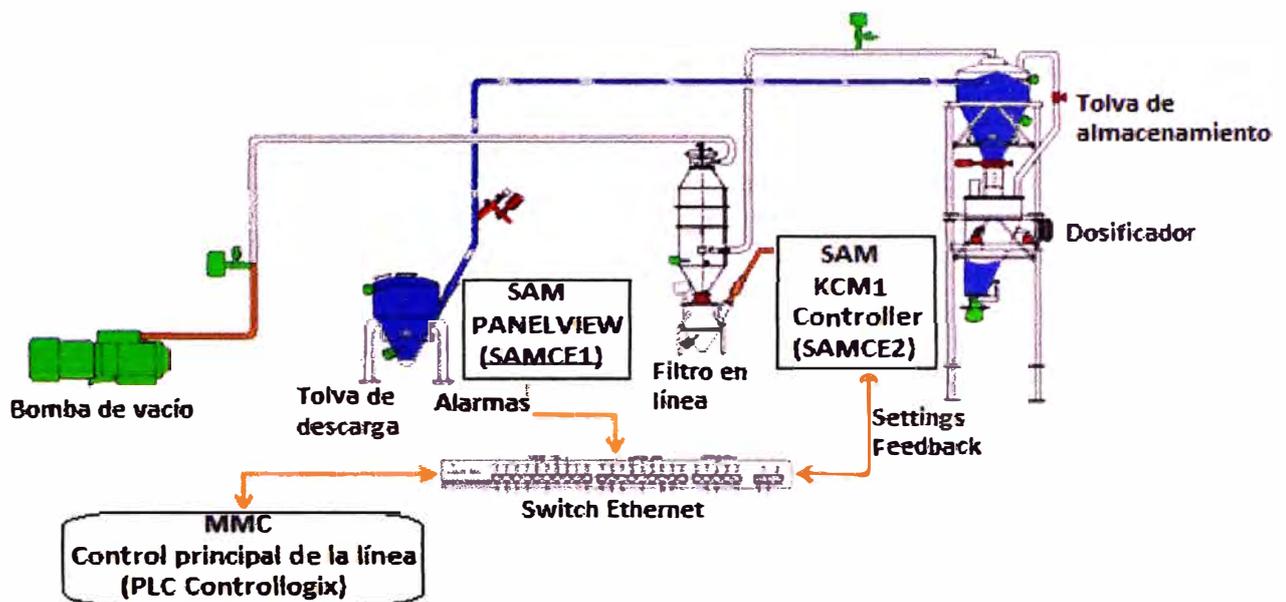


Figura 1.1 – Sistema de transporte y dosificación de productos sólidos

1.3. Objetivos

Objetivo general

- Seleccionar, instalar y poner en marcha un sistema de transporte y dosificación de partículas de SAP para una línea de fabricación de pañales con una capacidad instalada de 800 unds./min.

Objetivos específicos

- Recopilar información de sistemas de transporte y dosificación de partículas de SAP que son utilizados actualmente en la industria.
- Definir el tipo de sistema que se va a utilizar considerando las propiedades de las partículas de SAP.
- Dimensionar y seleccionar los equipos que integrarán el sistema de transporte y dosificación.
- Instalar e integrar los equipos seleccionados considerando las condiciones actuales de la planta.
- Poner en marcha el sistema, asegurando el arranque y apagado (en vacío)

1.4. Justificación

Existe la necesidad de dosificación de superabsorbente a granel para el proceso de fabricación de pañales. Con ello se persigue una dosificación en las cantidades exactas requeridas, a los ratios de velocidad que se establezcan en las máquinas y en las condiciones necesarias para obtener pañales de buena calidad.

Visto desde el punto de vista de salud ocupacional, un sistema automático de dosificación permitirá reducir el riesgo de que los operarios respiren superabsorbente en la manipulación del mismo, ya que este es un producto cancerígeno; y de que se expongan a atmósferas explosivas.

Otro beneficio de contar con un sistema de transporte y dosificación preciso radica en mayores ahorros durante la producción, puesto que se reducen las mermas del proceso.

1.5. Limitaciones

En este informe no se presentará la ingeniería de detalle, es decir, no se dará énfasis en el detalle de las instalaciones mecánicas, neumáticas, celdas de carga, de los cilindros neumáticos y sensores, ni cualquier otro trabajo mecánico para acondicionar el sistema de transporte y dosificación que se plantea. Asimismo no se presentará la configuración del controlador del dosificador.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del polímero superabsorbente (SAP)

Los polímeros superabsorbentes desde su introducción en el campo de los productos higiénicos descartables han sido considerados materiales prácticamente insustituibles, ya que poseen una capacidad de retención de la orina mucho mayor que su propio peso y, en relación con las fibras celulósicas, presentan un poder absorbente promedio de unas 70 veces superior.

Los polímeros superabsorbentes son materiales de difícil manipulación, ya que las partículas tienden a romperse en el transporte afectando de esta manera su capacidad de absorción, es por eso que los sistemas de transporte y dosificación de SAP deben garantizar el envío óptimo desde la recepción de la materia prima hasta la entrega final en el punto del usuario.

¿Cómo funciona un pañal?

Los pañales modernos pueden retener "kilos" de orina y seguir pareciendo perfectamente secos.

¿Cómo puede explicarse esto?

La presencia de sustancias químicas, casi todas sintéticas; y la forma en que se disponen en el pañal.

La capa interna de un pañal está hecha de polipropileno, un plástico de tacto suave que se mantiene seco. La parte central está hecha de un polvo "superabsorbente" (poliacrilato de sodio, un polímero hidrófilo) combinado con

celulosa "peluda", además de una capa de fibra que evita que el fluido se remanse en un punto y le obliga a distribuirse por toda la superficie. La capa externa es de polietileno microporoso, retiene el fluido y deja pasar el vapor. El conjunto se une con puños de polipropileno hidrófobo, con una banda elástica en torno a los muslos para impedir la salida del fluido. El pañal se sujeta al bebé mediante bandas adhesivas (ver la Figura 2.1).

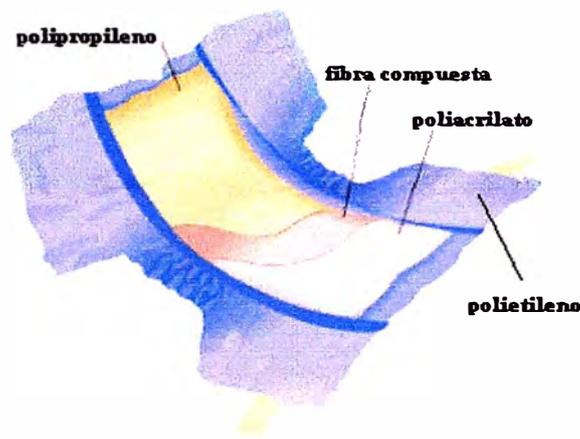


Figura 2.1 – Capas del pañal

2.1.1. Poliacrilato de sodio

El poliacrilato de sodio es un polímero formado por monómeros de acrilato de sodio. Es conocido como un polímero súper absorbente ya que es capaz de absorber grandes cantidades de agua, prueba de ello es que puede aumentar su volumen hasta mil veces al entrar en contacto con agua destilada.

La capacidad que tiene el poliacrilato de sodio para absorber grandes cantidades de agua se debe a que en su estructura molecular se encuentran grupos de carboxilatos de sodio que, al entrar en contacto con el agua, desprenden sodio. Al desprenderse el sodio se liberan iones negativos de carboxilo que se repelen. El

efecto que esto tiene es que se estira la cadena principal y se aumenta el volumen del poliacrilato de sodio.

Para volver a estabilizar el compuesto los iones tienen que captar las moléculas de agua, este proceso se llama ósmosis, para que el poliacrilato de sodio aumente su tamaño es necesario que entre en contacto con agua. Sin embargo, aumentará más su tamaño si el agua que se le agrega es agua destilada que no contiene iones. Cuando se le agrega agua que no es destilada aumenta su tamaño, pero en menor proporción.

El poliacrilato de sodio es un polvo blanco sin olor. Al momento de agregarle agua, destilada o no, se puede notar a simple vista cómo los granitos del polvo comienzan a absorber el agua. Cuando los granos absorbieron el agua se reúne y forman una especie de gel cristalino, es decir, se gelifica.

Si se le agrega sal a la masa de gel que se forma tras la absorción de agua se aumenta la concentración de moléculas de sodio. Para nivelar los niveles de sodio, el poliacrilato de sodio libera agua aunque nunca se convierte en líquido. Debido a su alta capacidad absorbente, el poliacrilato de sodio es utilizado en pañales absorbentes o desechables.

La función que tiene el poliacrilato de sodio en los pañales es la de recibir y absorber la orina. Cuando la orina entra en contacto con el poliacrilato de sodio sucede lo mismo que con el agua, el poliacrilato forma pequeñas esferas que se unen para volverse un gel que impide que la orina regrese. Esto se hace tanto en los pañales absorbentes para bebé como en los pañales para adulto.

A continuación la Tabla 2.1, muestra las principales características:

Tabla 2.1 – Propiedades del SAP

Propiedades del SAP				
Característica	Ideal	Min	Max	Unidades
Tamaño de partículas % 710 micrones	0.3	0	1.5	%
Tamaño de partículas % 500 micrones	20	10	30	%
Tamaño de partículas % 150 micrones	77.4	65	90	%
Tamaño de partículas % 100 micrones	2	0	3	%
Tamaño de partículas % <100 micrones	0.3	0	1	%
Densidad aparente	0.6	0.57	0.63	g/cm ³

2.1.2. Aplicaciones

Entre las aplicaciones más comunes del poliacrilato de sodio se encuentran:

- Pañales absorbentes.
- Toallas sanitarias.
- Limpieza de residuos médicos de los hospitales.
- Eliminación de agua en algunos combustibles como los utilizados en aviación
- Absorción de agua en fugas.
- Aislamiento de centrales eléctricas y cables ópticos que pudieran entrar en contacto con agua.
- Diversos procesos químicos que requieren que se absorba agua.
- Producción de nieve artificial.
- Acondicionamiento de tierra en jardines para que retenga una mayor cantidad de agua.

2.2. Sistemas de transporte neumático

2.2.1. Transporte neumático en fase diluida y fase densa

El transporte neumático se usa con éxito en la industria desde hace muchos años, puede transportarse desde harina a granos, desde pellets plásticos hasta carbón. Al comienzo se utilizaba aire a alta velocidad para transportar pocos sólidos que quedan suspendidos por el aire (transporte en fase diluida), sin embargo este método requiere altos caudales de aire. Desde los años 1960 se presta atención al transporte en fase densa donde los sólidos no están totalmente suspendidos, pero los requerimientos de aire se reducen drásticamente. Si bien se utiliza un menor caudal de aire se requiere una mayor presión para impulsar los sólidos. Al trabajar con menores caudales, la atrición de las partículas provocada por el choque entre sí mismas y con las paredes de los ductos de transporte también disminuye.

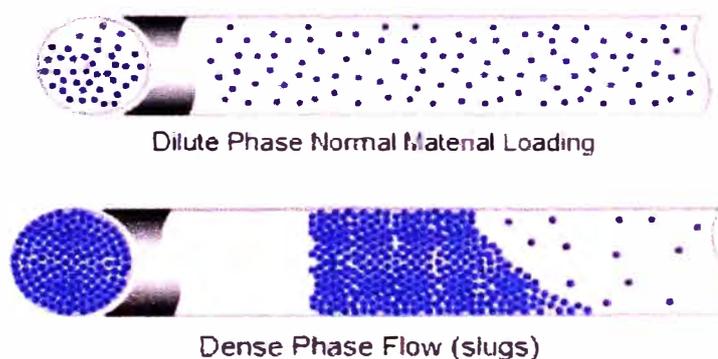


Figura 2.2 – Flujo de material en fase diluida y fase densa. Fuente: K-tron

2.2.2. Transporte neumático por vacío y por presión

El transporte neumático es una tecnología fundamental para el desarrollo de sistemas de manipulación de materiales a granel para las industrias de proceso. Las tecnologías de transporte neumático se dividen en transporte por vacío y transporte por presión.

2.2.2.1. Comparación del transporte por vacío y por presión

Tanto los sistemas de transporte por vacío como los de transporte por presión pueden emplear el principio de funcionamiento de fase diluida o fase densa. Ambos presentan ciertas ventajas, por lo que la elección del método de transporte más adecuado dependerá realmente de los requisitos de la aplicación. Para tomar la decisión correcta, puede ser necesario realizar una prueba de materiales en un laboratorio correctamente equipado o tomar como referencia un sistema existente.

A menudo, los sistemas de transporte por presión se combinan con otros de transporte por vacío en una única aplicación.

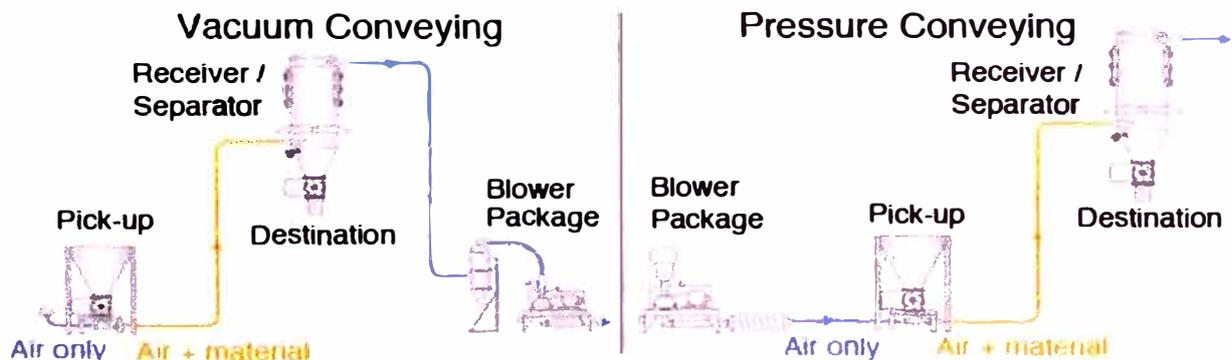


Figura 2.3—Elementos del sistema de transporte por vacío y presión. Fuente: K-tron

Ventajas del transporte por vacío

- Suelen ser sistemas de menor coste.
- Presentan más sencillez (y un menor tamaño) en la recogida.
- Menos polvo (mejor contención).
- Poca tendencia a provocar problemas relacionados con la temperatura.

Ventajas del transporte por presión

- Mayor velocidad y rendimiento.
- Presentan más sencillez cuando hay varios puntos de destino.
- Receptor/separador de menor tamaño.
- Ideales para el transporte a larga distancia.

2.2.3. Pérdidas de carga en el transporte neumático

2.2.3.1. Velocidades del gas y de los sólidos

Las velocidades superficiales del gas y del sólido se calculan como sigue:

$$u_f = \frac{Q_f}{A} , \quad (2.1)$$

$$u_p = \frac{Q_p}{A} , \quad (2.2)$$

donde Q_f y Q_p son los flujos volumétricos del fluido y de los sólidos respectivamente, u_f es la velocidad del gas y u_p es la velocidad de los sólidos y A representa el área transversal total del ducto.

En este medio bifásico se mueven ambas fases, por lo tanto es posible calcular la velocidad intersticial tanto para el gas como para el sólido. Se utilizará el subíndice i para indicar que se trata de velocidades intersticiales:

$$u_{fi} = \frac{Q_f}{A\varepsilon} = \frac{u_f}{\varepsilon} , \quad (2.3)$$

$$u_{pi} = \frac{Q_p}{A(1-\varepsilon)} = \frac{u_p}{(1-\varepsilon)} , \quad (2.4)$$

donde ε es la porosidad en la tubería.

La diferencia de las velocidades intersticiales del fluido y de los sólidos se denomina velocidad relativa (en inglés “slip velocity”):

$$u_{rel} = u_{fi} - u_{pi} . \quad (2.5)$$

Suele asumirse en transporte vertical en fase diluida que la velocidad relativa se aproxima a la velocidad terminal.

2.2.3.2. Flujos máxicos

Los flujos máxicos de los sólidos y fluidos se calculan como sigue:

$$\dot{m}_p = A u_{pi} (1 - \varepsilon) \rho_p = A u_p \rho_p , \quad (2.6)$$

$$\dot{m}_f = A u_{fi} \varepsilon \rho_f = A u_f \rho_f , \quad (2.7)$$

donde \dot{m}_p es el flujo máxico de los sólidos, \dot{m}_f es el flujo máxico del fluido, ρ_p es la densidad de los sólidos y ρ_f es la densidad del fluido.

En función de los flujos máxicos antes definidos es posible establecer la carga de sólidos en la línea:

$$\frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f} = \frac{u_{pi}(1-\varepsilon)\rho_p}{u_{fi}\varepsilon\rho_f} = \frac{u_p\rho_p}{u_f\rho_f} . \quad (2.8)$$

La porosidad en la línea varía a lo largo de la línea dependiendo de la relación de sólidos a gas y de las velocidades de cada medio.

Recordemos que el flujo máxico de sólidos por unidad de área se define como:

$$G = \frac{\dot{m}_p}{A} . \quad (2.9)$$

2.2.3.3. Caída de presión

Para obtener la caída de presión a lo largo de la línea de transporte, es necesario plantear el balance de energía mecánica para el sistema. Considere la

sección diferencial de la tubería descrita en la Figura 2.4, para este sistema el balance de cantidad de movimiento conduce a:

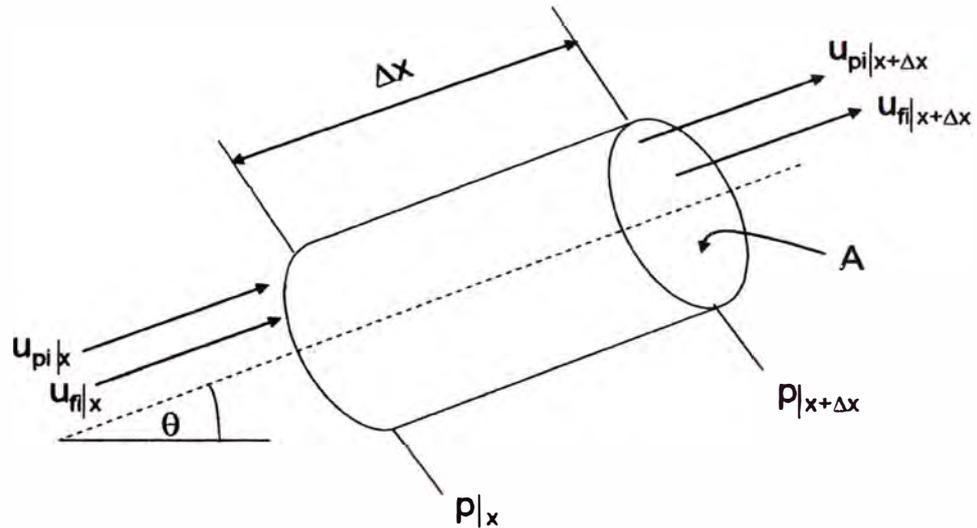


Figura 2.4 – Sección de una línea de transporte. Adaptado de Rhodes.

Haciendo un balance de energía mecánica en estado estacionario (asumiendo densidad y porosidad constantes) e integrando resulta:

$$p_1 - p_2 = \underbrace{\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p u_{pi}^2}_{(2)} + \underbrace{F_{fw} L}_{(3)} + \underbrace{F_{pw} L}_{(4)} + \underbrace{(1 - \varepsilon) L \rho_p g \sin \theta}_{(5)} +$$

$$\underbrace{\varepsilon L \rho_f g \sin \theta}_{(6)} = 0 \quad (2.10)$$

La ecuación (2.10) indica que la caída de presión en un tramo de línea recta que transporta sólidos está dada por los siguientes componentes:

1. Pérdida de carga por aceleración del gas.
2. Pérdida de carga por aceleración de los sólidos.
3. Pérdida de carga debido a la fricción del gas con la pared.
4. Pérdida de carga debido a la fricción de los sólidos con la pared.
5. Pérdida de carga por la energía potencial de los sólidos.

6. Pérdida de carga por la energía potencial del gas.

Algunos términos de la ecuación generalizada (2.10) pueden omitirse, por ejemplo cuando la línea de transporte es horizontal los términos (5) y (6) se desprecian.

2.2.4. Tipos de transporte neumático de sólidos

2.2.4.1. Transporte vertical

La Figura 2.5 muestra la relación de la caída de presión por unidad de longitud en una línea de transporte vertical en función de la velocidad superficial del gas utilizado para el transporte, asimismo grafica la perdida de carga para distintos flujos máxicos de sólidos por unidad de área de la línea de transporte (G ; kg/h m²).

La pérdida de carga total está dada, como se verá más adelante, en función de la energía cinética de las partículas y del gas, de la energía potencial de ambas fases y de la fricción de los sólidos y el gas con el ducto de transporte.

Cuando $G=0$ estamos en el caso que sólo se transporta gas, de manera que la pérdida de carga (ΔP) en el tubo es la calculada convencionalmente para un flujo monofásico, es decir:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2f\rho_f u^2}{D}, \quad (2.11)$$

donde f es el factor de fricción y D el diámetro del ducto. El factor de fricción puede definirse en función del Reynolds como sigue:

$$f = \frac{16}{Re_D} \quad \text{para } Re_D \leq 2 \times 10^3, \quad (2.12)$$

$$f = 0.079 Re_D^{-0.25} \quad \text{para } 2 \times 10^3 < Re_D \leq 2 \times 10^4, \quad (2.13)$$

$$f = 0.046 Re_D^{-1/5} \quad \text{para } Re_D > 2 \times 10^4, \quad (2.14)$$

donde el número de Reynolds se define como:

$$Re_D = \frac{\rho_f u D}{\mu} \quad (2.15)$$

Cuando se aumenta el flujo de sólidos, las curvas de pérdida de carga cambian significativamente (ver curvas para $G = G_1$ y G_2 , donde $G_2 > G_1$). En el punto C la velocidad del gas es alta, la concentración de sólidos es baja; por lo tanto la pérdida de carga se aproxima a la caída de presión por la fricción del gas con las paredes de la línea de transporte. A medida que la velocidad del gas disminuye, la pérdida de carga cae hasta una dada velocidad donde la presión estática aumenta debido al aumento de la concentración de sólidos. En este punto el gas no puede fluidizar el medio, y comienzan a formarse tapones de gas (slugs) en la línea de transporte. La velocidad para la cual se produce este fenómeno se denomina “velocidad de ahogo” (en inglés “choking velocity” u_{CH}), y es la transición del transporte neumático en fase diluida a fase densa. Cuando se transporta un caudal másico por unidad de área mayor (G_2) la velocidad de ahogo es mayor.

Por el momento no es posible determinar teóricamente la velocidad de ahogo, sin embargo existen varias correlaciones empíricas que permiten estimar dicha velocidad. Rhodes sugiere el uso de las siguientes expresiones:

$$\frac{u_{CH}}{\varepsilon_{CH}} - u_t = \frac{G}{\rho_p(1-\varepsilon_{CH})} \quad (2.16)$$

$$\rho_f^{0.77} = \frac{2250D(\varepsilon_{CH}^{-4.7}-1)}{\left(\frac{u_{CH}}{\varepsilon_{CH}}-u_t\right)} \quad (2.17)$$

donde ε_{CH} es la porosidad del medio en condiciones de la velocidad de ahogo u_{CH} , u_t es la velocidad terminal. En (2.17) debe utilizarse unidades SI. Las ecuaciones (2.16) y (2.17) deben resolverse en simultáneo para calcular ε_{CH} y u_{CH} .

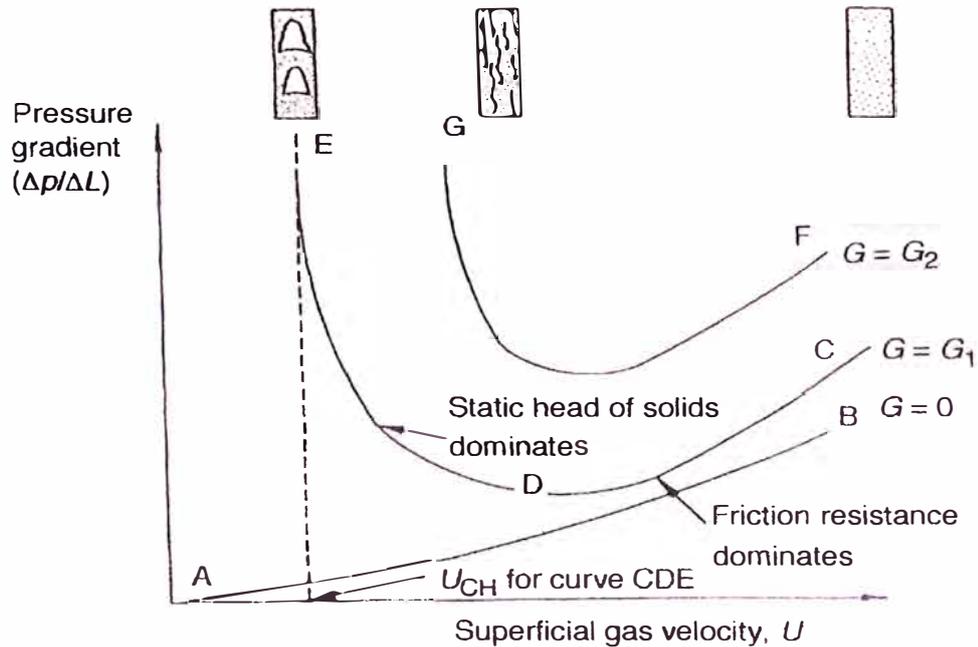


Figura 2.5 – Diagrama de fases en transporte neumático vertical. Fuente: Rhodes.

2.2.4.2. Transporte horizontal

La Figura 2.6 muestra el diagrama de fases para el transporte neumático para líneas de transporte horizontal. La línea AB representa la pérdida de carga que se manifiesta cuando sólo gas se transporta en tuberías horizontales. Cuando se alimentan sólidos a G_1 , si la velocidad superficial del gas es alta (punto C) los sólidos se encuentran en suspensión, no sedimentan. Cuando la velocidad se disminuye para un mismo caudal de sólidos, la caída de de presión baja; esto ocurre hasta una velocidad para la cual los sólidos sedimentan en el fondo de la línea de transporte. A dicha velocidad (punto D) se la denomina “velocidad de sedimentación” (en inglés saltation velocity, u_{SALT}). A partir de esta velocidad, descensos de la velocidad ocasionan una mayor pérdida de carga debido a la disminución de área para el pasaje para el gas.

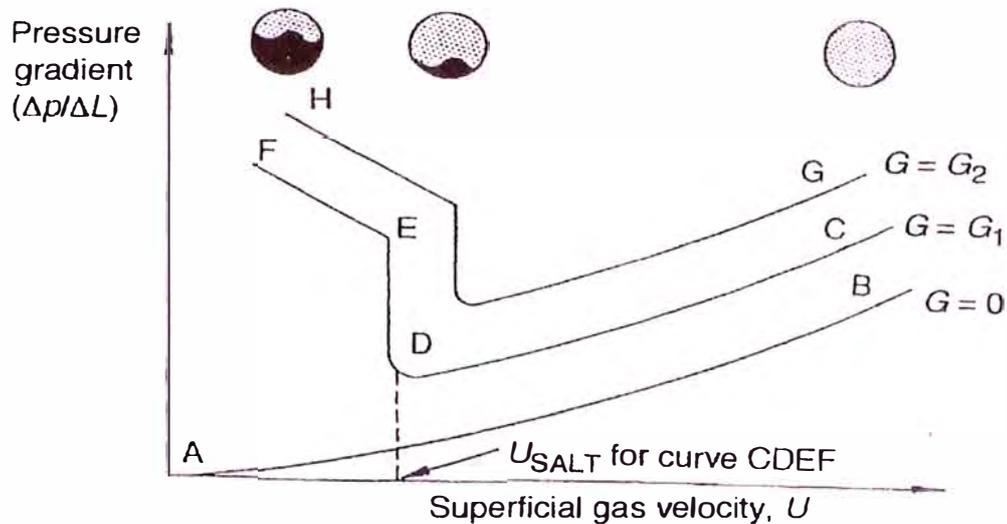


Figura 2.6- Diagrama de fases en transporte neumático horizontal. Fuente: Rhodes

En el tramo EF algunos sólidos se mueven en fase densa por el fondo de la tubería, mientras que otros viajan en fase diluida en la parte superior de la línea de transporte.

La velocidad de cambio de fase diluida a densa tampoco puede obtenerse de manera teórica, por lo tanto se utilizan correlaciones. Rhodes sugiere la siguiente ecuación:

$$\frac{\dot{m}_p}{\rho_f u_{SALT} A} = \left[\frac{1}{10^{(1440x+1.96)}} \right] \left(\frac{u_{SALT}}{\sqrt{gD}} \right)^{(1100x+2.5)}, \quad (2.18)$$

donde \dot{m}_p es el flujo másico de sólidos, u_{SALT} es la velocidad de sedimentación, x el tamaño de la partícula. Para distribuciones de partículas se utiliza como diámetro promedio, la mediana de la población (Yang). A es el área transversal del tubo. En (2.18) debe utilizarse unidades SI.

2.2.5. Diseño del transporte en fase diluída

El diseño de un sistema de transporte de sólidos en fase diluída involucra las siguientes tareas:

- Selección de la combinación del tamaño de la línea y de la velocidad del gas que aseguren transporte en fase diluída.
- Cálculo de la caída de presión en la línea.
- Selección del equipamiento para mover los sólidos.
- Selección de las unidades para separar los sólidos al final de la línea.

2.2.5.1. Velocidad del gas

Tanto para el transporte vertical como para el horizontal es deseable operar a la menor velocidad posible para:

- Disminuir la pérdida de carga.
- Reducir la atrición.
- Disminuir los costos operativos.

Si la línea de transporte incluye tramos verticales y horizontales, se debe tener en cuenta que la velocidad de sedimentación es siempre mayor que la de ahogo. Por lo tanto el diseño debe prever que la velocidad sea mayor a la de sedimentación (u_{SALT}). Las correlaciones para obtener las velocidades límites tienen grandes errores asociados, se recomienda por lo tanto dar un margen de seguridad del orden del 50% o mayor para seleccionar la velocidad del gas.

2.2.5.2. Caída de presión

La ecuación (2.10) es válida para cualquier mezcla gas-sólido en una tubería. Para que se aplique de manera específica a un transporte en fase diluída, es necesario poder expresar los términos de fricción de los sólidos y el gas con la pared en función de variables conocidas.

En el transporte neumático en fase diluída la fricción gas-pared puede considerarse que no está influenciada por los sólidos y utilizarse entonces las expresiones de pérdida de carga por fricción de gas en tuberías (ecuaciones (2.11) a (2.14)).

Para calcular la fricción entre los sólidos y la pared las siguientes ecuaciones pueden ser usadas:

Transporte neumático vertical:

$$F_{pw}L = 0.057 G L \sqrt{\frac{g}{D}} . \quad (2.19)$$

Transporte neumático horizontal:

$$F_{pw}L = \frac{2 f_p G u_{pi}L}{D} . \quad (2.20)$$

Otra alternativa para el cálculo del F_{pw} es:

$$F_{pw}L = \frac{2 f_p (1-\varepsilon) \rho_p u_{pi}^2 L}{D} , \quad (2.21)$$

donde u_{pi} puede calcularse como:

$$u_{pi} = u_f (1 - 0.0638 x^{0.3} \rho_p^{0.5}) , \quad (2.22)$$

donde x el tamaño de la partícula y u es la velocidad superficial del gas de diseño.

Para distribuciones de partículas se utiliza como diámetro promedio, la mediana de la población (Yang). Finalmente el factor f_p se calcula como sigue:

$$f_p = \frac{3}{8} \frac{\rho_f}{\rho_p} \frac{D}{x} C_D \left(\frac{u_{fi} - u_{pi}}{u_{pi}} \right)^2 , \quad (2.23)$$

donde C_D es el coeficiente de arrastre que sugiere Rhodes que se calcule como:

$$\begin{aligned} Re_p < 1 & \quad C_D = \frac{24}{Re_p} , \\ 1 < Re_p < 500 & \quad C_D = 18.5 Re_p^{-0.6} , \\ 500 < Re_p < 2 \times 10^5 & \quad C_D = 0.44. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Para el cálculo del Re_p se utiliza la velocidad relativa entre ambas fases:

$$Re_p = \frac{\rho_f(u_{fi} - u_{pi})x}{u} . \quad (2.25)$$

2.2.5.3. Codos

Cuando se diseña las líneas de transporte debe considerarse los codos que existan en la misma. Se recomienda minimizar el número de codos, ya que ellos constituyen los puntos de mayor erosión de tuberías y atrición de sólidos (ver Figura 2.7).



Figura 2.7 - Erosión en líneas de transporte neumático.

Anteriormente se consideraba que la curvatura de los codos debía ser suave para evitar grandes pérdidas de carga, sin embargo se ha probado que el uso de T con un tramo ciego (ver Figura 2.8) alargan el tiempo de vida útil en más de 15 veces

respecto a un codo convencional. En la parte ciega se forma un colchón de partículas que amortiguan los golpes contra las cañerías.

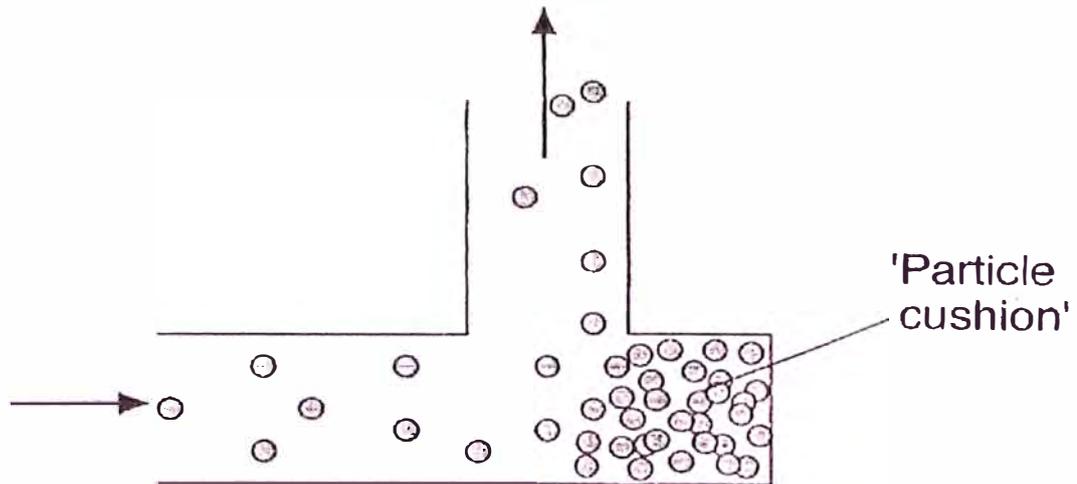


Figura 2.8 - T ciega. Fuente: Rhodes.

Si bien se han realizado muchos estudios de la pérdida de carga en codos, no existen correlaciones muy confiables. Como regla del pulgar Rhodes sugiere asignarle al codo una caída de presión equivalente a 7.5 metros de una tubería vertical.

2.2.6. Diseño del transporte en fase densa

2.2.6.1. Patrones de flujo

La fase densa puede definirse como el punto de operación para el cual los sólidos que son transportados no están totalmente suspendidos en la línea. Como ya mencionamos la transición se da a las velocidades de ahogo o sedimentación según el transporte sea vertical u horizontal. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 2.9 los patrones de flujo que se producen en un transporte horizontal.

El transporte en fase densa continua, en el cual los sólidos ocupan totalmente la cañería conduce prácticamente a la obstrucción de la línea. Si se quiere impulsar los sólidos en esta condición se requiere una alta presión, y sólo es posible si existe una porosidad mínima para que permita el paso del gas.

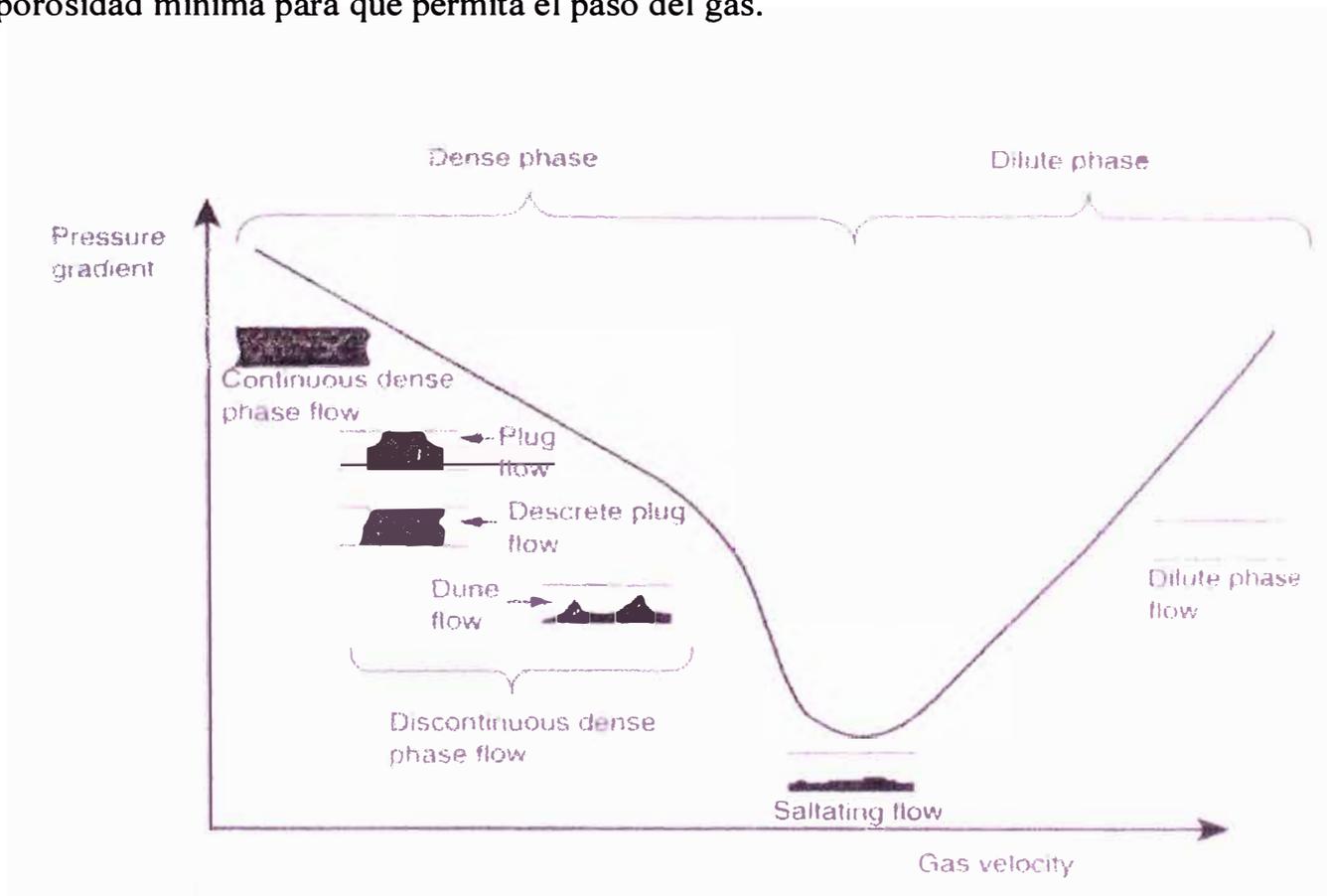


Figura 2.9 - Transporte horizontal en fase densa. Fuente: Rhodes.

El transporte en fase densa continua se divide en tres tipos de flujos:

- **Flujo pistón discreto:** Existen tapones de sólidos discretos en las líneas.
- **Flujo de dunas:** Los sólidos depositados en el fondo del tubo se mueven a lo largo de la línea de transporte como dunas.
- **Flujo pistón:** Es un patrón de flujo intermedio entre el pistón discreto y el de dunas. Las dunas pueden en algún momento ocupar toda la sección del tubo.

No todos los polvos/sólidos exhiben todos los patrones de flujo descritos, y en una misma línea es posible encontrar zonas con distintos flujos. Los materiales que tienden a ser muy cohesivos son difíciles de manejar en fase densa ya que la permeabilidad disminuye drásticamente. Existen algunos dispositivos que permiten evitar la obstrucción total del tubo.

Si bien la ecuación de energía mecánica presentada también es válida para el transporte en fase densa, tiene poca aplicabilidad ya que los resultados no son confiables. En general el diseño en fase densa se hace por prueba y error, basándose en resultados experimentales y experiencia previa.

2.3. Sistemas de dosificación de sólidos secos y sólidos en polvo

El principio de una dosificación es controlar la concentración de los productos agregados y asegurar la mezcla homogénea en un producto final.

Los dosificadores son dispositivos utilizados para regular el despacho del producto en las diferentes etapas de un proceso, están compuestos por servomotores, motores eléctricos, electroimanes, cilindros neumáticos y reguladores.

Para seleccionar el dosificador adecuado se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Naturaleza y características de la sustancia a manipular
- Precisión deseada.
- Despacho de los componentes.
- Cantidad de dosis necesaria o dinámica del despacho.
- Modo de servicio.

Existen dos tipos de dosificadores de sólidos secos y sólidos en polvo: dosificadores volumétricos y dosificadores gravimétricos.

2.3.1. Dosificadores volumétricos

En este tipo de dosificadores se determina la dosis midiendo el volumen del material que libera una superficie que se desplaza a velocidad constante. Estos sistemas son alimentados por tolvas dotadas con un agitador de paleta para asegurar una alimentación uniforme e impedir que el producto se aglomere o se formen cúmulos y vacíos.

Los mecanismos de dosificación más conocidos y utilizados son los siguientes:

- Dosificadores de tornillo.
- Dosificadores de compuerta rotativa.
- Dosificadores de banda rodante.

La elección de un tipo de dosificador volumétrico está en función de la naturaleza de la sustancia, de su fluidez y del rango de la dosis necesaria. La calibración de estos mecanismos deberá ser verificada periódicamente en particular si la masa volumétrica está sujeta a variaciones.

2.3.1.1. Dosificadores de tornillo

La figura 2.10 es un esquema simplificado de un dosificador de este tipo, el elemento principal es un tornillo situado en la parte inferior de la tolva de alimentación y que libera un volumen determinado de producto en cada vuelta.

La velocidad del giro del tornillo está dada por un sistema de reducción de velocidad (por engranajes o bandas) agregado a un motor eléctrico o por el acoplamiento del motor a un variador de velocidad.

El requerimiento en la dosificación de la sustancia es directamente proporcional a la velocidad del motor. Este mecanismo puede estar en funcionamiento de manera intermitente o continua.

Este tipo de dosificador es el más utilizado dentro de su clase ya sea por la naturaleza de un producto o por las necesidades en la dosificación y no por la exactitud en el ingreso de la sustancia.

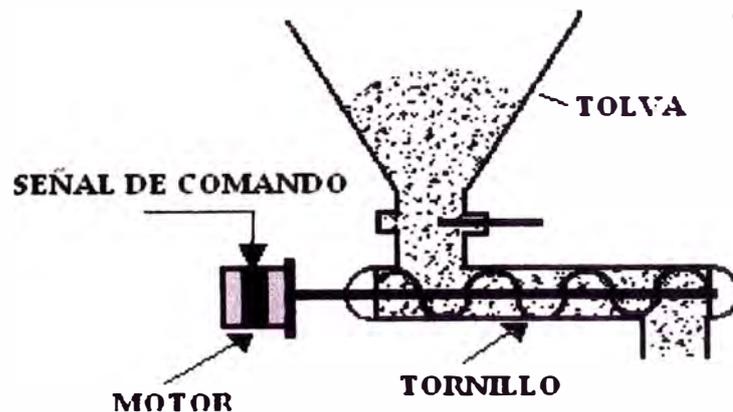


Figura 2.10 – Dosificador de tornillo.

2.3.1.2. Dosificadores de compuerta rotativa

Como se muestra en la Figura 2.11 la compuerta rotativa que constituye el elemento principal de este dosificador de construcción simple y robusta, es sin embargo menos preciso que el mecanismo de tornillo.

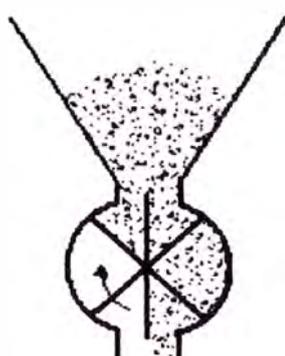


Figura 2.11 – Dosificador de paletas.

Para controlar la velocidad del motor este está equipado con una caja reductora o con un variador de velocidad, que permite controlar el movimiento de la compuerta para el despacho del producto.

2.3.1.3. Dosificadores de banda rodante

El principio de funcionamiento del dosificador de banda o tapiz rodante se muestra en la Figura 2.12, su despacho es determinado por dos parámetros: la variación de la velocidad de la banda y la modificación de la cantidad de producto que pasa a la banda por la regulación de la compuerta a la salida de la tolva.

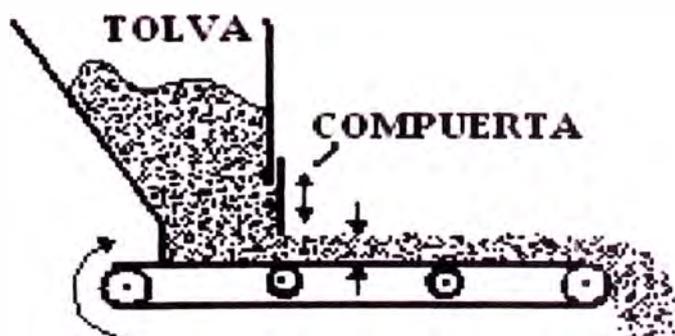


Figura 2.12 – Dosificador de banda rodante.

Este dosificador relativamente simple no conviene para los sólidos de carácter fundible como el carbón activo que puede traer problemas de estancamiento.

2.3.2. Dosificadores gravimétricos

Estos sistemas de dosificadores gravimétricos son más precisos que los volumétricos, puesto que la variación de masa volumétrica no influye en la dosis de despacho; los más utilizados son los dosificadores de banda y por pérdida de peso.

2.3.2.1. Dosificadores de banda rodante

En la Figura 2.13 se presenta el funcionamiento que es semejante a un dosificador volumétrico de banda rodante sin embargo hay un control continuo del despacho de la masa del producto, por la ponderación de la cinta transportadora al mismo tiempo.

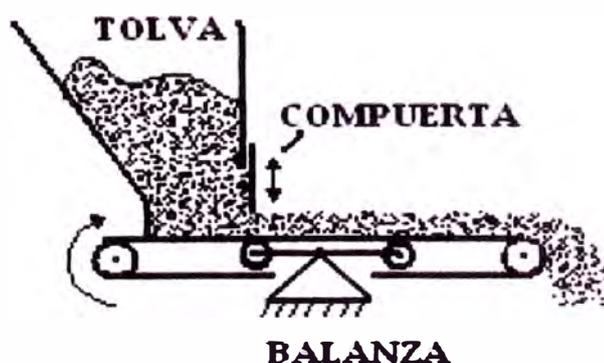


Figura 2.13 – Dosificador de banda rodante con balanza.

Mediante el control de la velocidad de la banda y de la posición de la compuerta a la salida de la tolva determinan la cantidad del producto sobre la banda, el controlador maneja estos parámetros de acuerdo a la cantidad de producto a

dosificar. La compuerta puede ser reemplazada por un dosificador extractor de tornillo y el sistema de ponderación por un sistema de rayos gama.

2.3.2.2. Dosificador de pérdida de peso

En un dosificador por pérdida de peso, el dispositivo de dosificación con una tolva conteniendo el material a dosificar, se coloca en un sistema de pesado con una báscula de plataforma o con una báscula de suspensión. El peso del dispositivo de dosificación y de la tolva se tara electrónicamente

El líquido o el material a granel se descargan de la tolva mediante el dispositivo de dosificación y el sistema de control y pesado determina la pérdida de peso resultante por unidad de tiempo. Esta pérdida de peso real por unidad de tiempo se compara con una pérdida de peso deseada por unidad de tiempo en base a un punto de referencia deseado de velocidad de dosificación en continuo.

Cualquier diferencia entre la pérdida de peso real y deseada por unidad de tiempo da lugar a una corrección de la velocidad del dispositivo de dosificación. Cuando el contenido de la tolva alcanza un nivel de peso mínimo predeterminado, el control por pérdida de peso se interrumpe brevemente y la tolva se rellena. Durante el período de rellenado, el peso aumenta y el controlador regula la velocidad del dispositivo de dosificación, en base a la historia de peso y velocidad definida durante el ciclo anterior de pérdida de peso.

El principio del dosificador por pérdida de peso es más preciso cuando se utiliza un sistema de pesado de alta resolución, respuesta rápida e inmune a las vibraciones, combinado con controles de ajuste automático.

dosificar. La compuerta puede ser reemplazada por un dosificador extractor de tornillo y el sistema de ponderación por un sistema de rayos gama.

2.3.2.2. Dosificador de pérdida de peso

En un dosificador por pérdida de peso, el dispositivo de dosificación con una tolva conteniendo el material a dosificar, se coloca en un sistema de pesado con una báscula de plataforma o con una báscula de suspensión. El peso del dispositivo de dosificación y de la tolva se tara electrónicamente

El líquido o el material a granel se descargan de la tolva mediante el dispositivo de dosificación y el sistema de control y pesado determina la pérdida de peso resultante por unidad de tiempo. Esta pérdida de peso real por unidad de tiempo se compara con una pérdida de peso deseada por unidad de tiempo en base a un punto de referencia deseado de velocidad de dosificación en continuo.

Cualquier diferencia entre la pérdida de peso real y deseada por unidad de tiempo da lugar a una corrección de la velocidad del dispositivo de dosificación. Cuando el contenido de la tolva alcanza un nivel de peso mínimo predeterminado, el control por pérdida de peso se interrumpe brevemente y la tolva se rellena. Durante el período de rellenado, el peso aumenta y el controlador regula la velocidad del dispositivo de dosificación, en base a la historia de peso y velocidad definida durante el ciclo anterior de pérdida de peso.

El principio del dosificador por pérdida de peso es más preciso cuando se utiliza un sistema de pesado de alta resolución, respuesta rápida e inmune a las vibraciones, combinado con controles de ajuste automático.

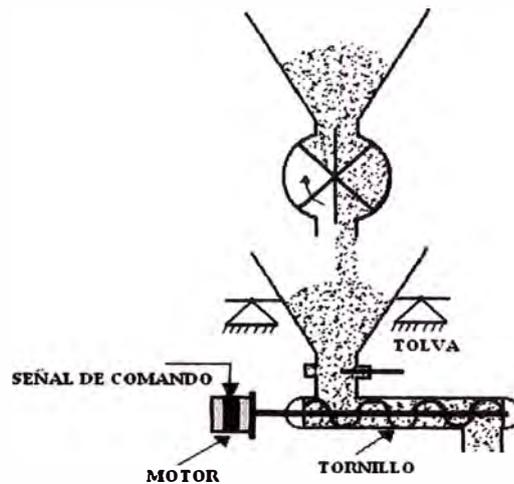


Figura 2.14 – Dosificador gravimétrico, combinación de un dosificador volumétrico de compuerta rotativa, un dosificador volumétrico de tornillo.

2.3.3. Criterios de selección

Cuando se evalúa un fabricante de dosificadores para sólidos secos con la intención de comprar equipo, hay una serie de factores que deben tomarse en consideración antes de decidir comprar. La siguiente es una lista de los puntos que requieren una evaluación detallada:

2.3.3.1. Parámetros del sistema de diseño

1. Caudal de dosificación

El caudal mínimo, promedio y máximo es un criterio de diseño importante el cual necesita ser considerado cuidadosamente cuando se selecciona un dosificador.

2. Cómo llegará el material al dosificador

Por ejemplo: manualmente, neumáticamente, fondo activo, banda transportadora; afecta de algún modo las características del producto la acción de llenar el dosificador (cambio en densidad, fluidez, integridad, etc.)

3. En que se descargará el dosificador

Se debe verificar si hay presencia de humedad, presión, temperaturas extremas, etc. que puedan afectar la ejecución o que cause dificultades mecánicas.

2.3.3.2. Parámetros de prueba

1. Tamaño de la unidad de prueba

Comparada con la unidad requerida para la aplicación a realizar (es un aspecto importante cuando seleccionan dosificadores por pérdida de peso debido a la diferencia en rendimiento que suele ocurrir). El rendimiento del dosificador no será necesariamente el mismo entre dos dosificadores del mismo modelo pero de distintos tamaños.

2. Diseño de la unidad de prueba:

- a) Capacidad de balanzas (en dosificadores por pérdida de peso.)
- b) Tamaño de la tolva.
- c) Tamaño del tornillo dosificador (o tamaño de otro tipo de mecanismo de dosificación.)
- d) Capacidad del rango de dosificación. ¿Es necesario hacer un cambio mecánico al dosificador para lograr el rango de dosificación necesario?

- e) Construcción fuerte (para longevidad y bajo mantenimiento.)
- f) Calidad del diseño / construcción (para durabilidad y larga vida útil.)
- g) Material de fabricación de los componentes principales que están sujetos a desgaste, fatiga, decoloración; y/o componentes que no estén bien instalados.

3. Consistencia de dosificación:

- a) Versatilidad y capacidad en el manejo de materiales del equipo seleccionado / recomendado y su habilidad de dosificar efectivamente el producto o los productos anticipados, sus variaciones normales de ahí en adelante.
- b) El tornillo dosificador (o cualquier tipo de mecanismo de dosificación) debe estar lleno, sin ningún espacio vacío durante operación para lograr una dosificación altamente precisa. El mecanismo dosificador debe ser seleccionado y medido para proveer un rendimiento óptimo y confiable.
- c) Una evaluación cuidadosa del fabricante es necesaria si utiliza un tornillo como mecanismo de dosificación para determinar el diseño óptimo del tornillo dosificador para asegurar uniformidad y/o suavidad, si este es un parámetro funcional deseado.

4. Fluidez de material en la tolva:

- a) Se recomienda ver dentro de la tolva mientras el dosificador está dosificando, el material debe fluir uniformemente hacia abajo sin formar cavernas o puentes debido a variables del producto y cambios ambientales que afectan las características de flujo. Flexibilidad en el diseño de la tolva es necesaria.

b) Dosificadores volumétricos deben ser probados desde cuando la tolva esté llena hasta que se vacíe para chequear cambios en la salida debido a los efectos de densidad en el rendimiento.

5. Velocidades del tornillo dosificador (o mecanismo de dosificación):

a) Velocidades altas del tornillo y/o tornillos acoplados pueden minimizar pulsaciones pero además pueden causar otros problemas tales como generación de temperatura, degradación del producto y/o requerimientos excesivos de caballos de fuerzas. Una evaluación cuidadosa es necesaria en esta área.

b) Otros tipos de mecanismos de dosificación (Ej. dispositivos vibratorios y bandas) requieren una evaluación cuidadosa para evitar resultados negativos potenciales particularmente con respecto a precisión a corto plazo o viceversa. Se debe evaluar características de manejo de productos, incluyendo el potencial de auto descarga, formación de cavernas y problemas por densidad que fácilmente pueden afectar el rendimiento de equipos vibratorios y dosificadores tipo banda.

CAPITULO III

SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para la selección de equipos, se ha tomado en cuenta la disponibilidad y/o condiciones de la planta, respetando siempre los estándares que se utilizan. Los equipos han sido seleccionados entre los que en la actualidad se construyen por fabricantes especialistas del sector industrial.

Para ello es importante conocer algunos datos relacionados con dimensiones, capacidades y propiedades del producto, realizar los cálculos necesarios y usar las tablas proporcionadas por el fabricante con las distintas soluciones planteadas, en este caso hemos optado por las soluciones que ofrece K-TRON.

En la Figura 3.1 se presenta un diagrama de flujo y de identificación de equipos:

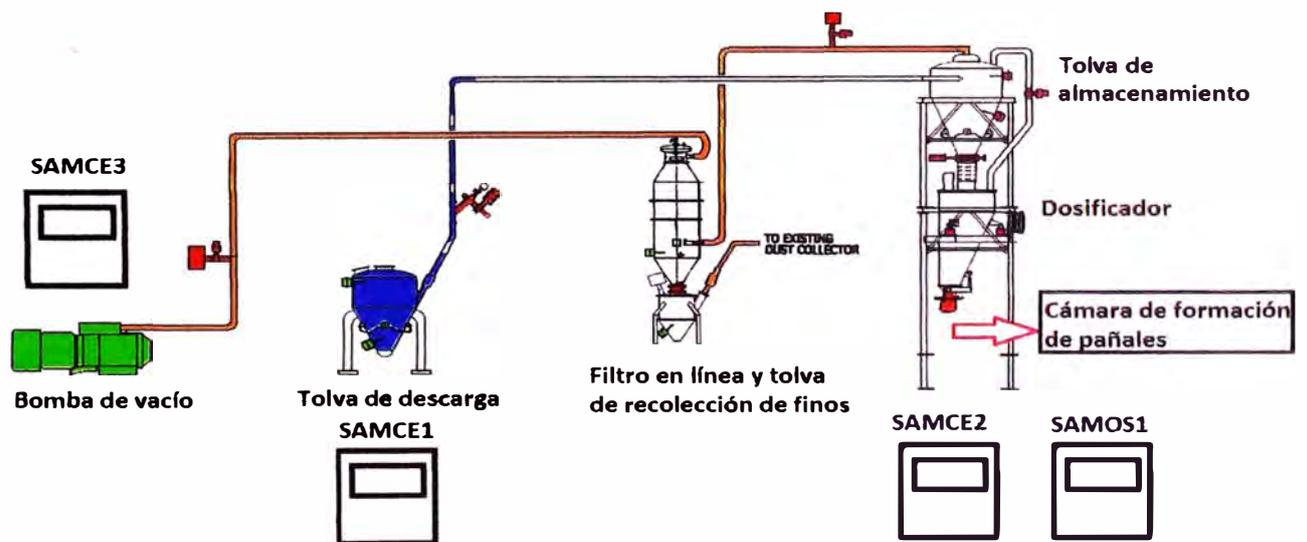


Figura 3.1 - Diagrama de flujo del sistema

Es importante mencionar que el sistema se integra con equipos existentes tanto en la entrada como en la salida del proceso. En la entrada existe un sistema de vaciado de sacos y en la salida una cámara de formación de pañales.

Los equipos han sido dimensionados y seleccionados considerando el espacio asignado para el montaje, una capacidad de producción de la línea de 800 unds. /min y el contenido de SAP por pañal que se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 – Contenido de SAP en los pañales

Tallas	Masa (g)	Tolerancia
XXG y XG:	10	+/- 2,2
G:	9	+/- 1,98
M:	7,7	+/- 1,69
P:	5	+/- 1,1

La siguiente lista describe los equipos que seleccionamos y/o solicitamos al fabricante K-TRON para armar un sistema de transporte neumático completo:

1. Tolva de almacenamiento (Receiver Hopper)
2. Tolva de descarga (Pickup Hopper)
3. Bomba de vacío (Vacuum pump)
4. Filtro en línea (Inline Filter)
5. Tolva de recolección de finos (Fines Collection Hopper)
6. Dosificador

Estos equipos se integran y funcionan en forma automática a través de un sistema de instrumentación y control diseñado por el fabricante K-TRON; y consta de cuatro tableros principales de control:

1. Tablero de control del sistema de dosificación (SAMCE2)
2. Tablero de control principal del sistema de transporte (SAMCE1)
3. Tablero de control de la bomba de Vacío (SAMCE3)
4. Estación de operación de SAP (SAMOS1)

En el siguiente capítulo se describe con mayor detalle los equipos y el sistema de instrumentación y control mencionados.

3.1. Sistema de transporte

Teniendo en cuenta que el SAP es un material frágil y que es importante evitar las fugas en el proceso de transporte por el impacto ambiental negativo que ocasionan (producto cancerígeno) y porque los residuos sólidos generan polvo explosivo, se ha considerado utilizar un sistema de transporte neumático por vacío en fase densa.

Un sistema de transporte neumático bien diseñado es a menudo un método más práctico y económico de transportar materiales desde un punto a otro que otras alternativas de sistemas mecánicos (cintas transportadoras, transportadores de tornillo, transportadores vibratorios, transportadores de arrastre y otras metodologías) debido a tres razones principales:

1. En primer lugar, los sistemas neumáticos son relativamente económicos de instalar y operar.
2. En segundo lugar, los sistemas neumáticos son totalmente cerrados, al ser completamente cerrado, es relativamente limpio, ambientalmente más aceptable y fácil de mantener.

3. Tercero, son flexibles en términos de cambio de ruta y de expansión. Un sistema neumático puede transportar un producto en cualquier lugar donde se puede instalar la tubería.

¿Por qué un sistema por vacío?

Tanto los sistemas de transporte por vacío como los de transporte por presión pueden emplear el principio de funcionamiento de fase diluida o fase densa. Ambos presentan ciertas ventajas, por lo que la elección del método de transporte más adecuado dependerá realmente de los requisitos de la aplicación. Generalmente se usan los sistemas a presión cuando se requiere mayor velocidad, hay varios puntos de destino y para transporte a distancias largas.

Elegimos un sistema de transporte por vacío ya que se recomienda este tipo de instalaciones para el transporte neumático de productos pulverulentos y finamente molidos.

El sistema por depresión o vacío evita pérdidas del producto en las posibles fugas del sistema de tuberías, garantizando así una atmósfera de trabajo completamente libre de polvo.

¿Por qué fase densa?

La principal razón para aplicar un diseño de fase densa es porque el producto que se maneja es muy frágil, el coste del efecto debido a la degradación del material puede ser enorme y prevenir la degradación es una prioridad muy alta.

En virtud de las características de baja velocidad, la siguiente razón de la aplicación de fase densa es evitar los daños en la tubería. Las velocidades más altas

asociadas con la fase diluida de transporte pueden provocar un desgaste rápido de la tubería y generar un agujero en sólo unas semanas. El desgaste de la tubería también puede resultar en una contaminación del producto.

3.1.1. Cálculo de volúmenes de las tolvas

a) Tolva de descarga

Es la tolva donde se descargan los sacos de SAP, cada saco contiene 800 kg de material, entonces para dimensionar esta tolva se ha considerado el volumen de 800 kg de material multiplicado por un factor de seguridad $F_s = 1.25$.

$$Vol_{diseño} = \frac{m}{\rho_{producto}} F_s ,$$

$$Vol_{diseño} = \frac{800 \text{ kg}}{600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} (1.25),$$

$$Vol_{diseño} = 1.67 \text{ m}^3.$$

b) Tolva de almacenamiento

La tolva de almacenamiento es la tolva que recepciona y almacena el SAP antes de ser enviado a la tolva de alimentación o dosificación. Esta tolva debe ser capaz de almacenar el máximo volumen de SAP requerido en la producción. Para calcular el flujo másico máximo consideramos la capacidad de producción de la línea y el mayor requerimiento de material que se da cuando se produce los pañales de la talla XXG y XG (ver en la Tabla 3.1), con lo cual se tiene:

$$\dot{m}_{max} = 800 \frac{unds.}{min} (10g).$$

Convirtiendo unidades:

$$\dot{m}_{max} = 480 \text{ kg/hr.}$$

Para el cálculo del flujo de transporte del sistema se ha considerado un factor de seguridad de $F_s=2.125$ con el cual se tiene un flujo másico de diseño:

$$\dot{m}_{diseño} = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{hr.}}$$

El llenado de la tolva de almacenamiento se realiza por ciclos, en este caso son 5 ciclos de llenado de 90 segundos cada uno. A continuación calculamos el volumen de la tolva considerando el flujo másico de diseño:

$$Vol = \frac{\dot{m}_{diseño} t_{llenado}}{\rho_{producto}},$$
$$Vol = \frac{1020 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \frac{450}{3600} \text{hr}}{600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}},$$
$$Vol = 0.21 \text{ m}^3.$$

3.1.2. Cálculo del diámetro de la tubería de transporte

Los sistemas de transporte neumático son generalmente dimensionados en base a una escala de datos disponibles. Esto podría provenir de una tubería existente de la planta en el cual se transporta material idéntico, de donde se obtienen los datos de transporte. Asimismo, los datos se pueden obtener a través de pruebas de laboratorio en el que el material requerido ha sido transportado, específicamente para obtener los datos de prueba.

De una tubería existente de la planta, es muy probable que solo se obtenga un único punto de datos, porque generalmente hay poco margen para variar los caudales ya sea de aire o material. En cambio, en un laboratorio los caudales de aire y material

se pueden variar ampliamente, así como la caída de presión en la línea de transporte ya que se cuenta con la instrumentación correspondiente para la medición de todos estos parámetros, y de estas pruebas se obtienen graficas de las características de transporte de los materiales en estudio, que para la mayoría de las empresas de manufactura esto sería un lujo innecesario y costoso.

En nuestro caso para el dimensionamiento del sistema hemos considerado los datos de transporte de una línea existente.

Datos de transporte de SAP

- Relación de carga de sólidos: 2 – 5 lb de sólidos por lb de aire.
- Velocidad de sedimentación: 17 m/s.
- Diferencial de presión total permitida: 0.55 bar.

Para tener un flujo uniforme de SAP, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1) No usar tubería flexible y evitar tuberías inclinadas, mantener todo horizontal o vertical.
- 2) Radio de los codos = 5 x diámetro de tubería.
- 3) Las secciones rectas ≥ 25 x diámetro de la tubería para dispersar SAP.
- 4) Todos los elementos (conectores, juntas, etc.) deben tener mismo diámetro interno de la tubería para eliminar cualquier discontinuidad en la sección transversal.

Datos de entrada para los cálculos correspondientes

Los cálculos se realizarán para 4 diámetros diferentes y de acuerdo a los resultados se elegirá el adecuado, ver la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 – Datos de entrada para los cálculos correspondientes

$g=$	9.8	m/s^2			
$m_p=$	0.2833	kg/s			
$x=$	220	μm	0.00022	m	
$\rho_p=$	600	kg/m^3			
$L_{vert}=$	10	m			
$L_{horiz}=$	40	m			
$N_{codos}=$	5				
$\Delta p_{max}=$	0.55	bar			
$\rho_f=$	1.2	kg/m^3			
$\mu=$	1.84E-05	Pa s	kg m/s		
$D=$	0.0508	0.0635	0.0762	0.0889	m
$A=$	0.00202683	0.00316692	0.00456037	0.00620717	m^2

De donde:

g : aceleración de la gravedad.

m_p : flujo másico del sólido.

x : tamaño del sólido.

ρ_p : densidad del sólido.

L_{vert} : longitud de la tubería vertical.

L_{horiz} : longitud de la tubería horizontal.

N_{codos} : número de codos.

Δp_{max} : diferencial de presión máxima.

ρ_f : densidad del gas.

μ : viscosidad del gas.

D : diámetro de la tubería.

A : área de la tubería.

Cálculo de la velocidad del gas

La línea tiene tramos verticales y horizontales, sabemos que la velocidad de sedimentación es mayor que la de ahogo, por lo tanto debemos calcular dicha velocidad.

Cálculo de la velocidad de sedimentación u_{salt} :

Transporte horizontal

$$\frac{m_p}{\rho_f u_{SALT} A} = \left[\frac{1}{10^{(1440x+1.96)}} \right] \left(\frac{u_{SALT}}{\sqrt{gD}} \right)^{(1100x+2.5)}$$

$$\alpha = 1440x + 1.96 = 2.2768,$$

$$\beta = 1100x + 2.5 = 2.61.$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
$u_{salt}, f(u_{salt})=0$	$u_{salt}, f(u_{salt})=0$	$u_{salt}, f(u_{salt})=0$	$u_{salt}, f(u_{salt})=0$
12.40 m/s	11.88 m/s	11.47 m/s	11.14 m/s

La velocidad superficial u_f , se calcula multiplicando la velocidad de sedimentación por 1.5 para asegurar el caudal:

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
18.61 m/s	17.82 m/s	17.21 m/s	16.71 m/s

Cálculo de la caída de presión:

a) Tramos horizontales

$$p_1 - p_2 = \underbrace{\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p u_{pi}^2}_{(2)} + \underbrace{F_{fw} L}_{(3)} + \underbrace{F_{pw} L}_{(4)} + \underbrace{(1 - \varepsilon) L \rho_p g \operatorname{sen}(\theta)}_{(5)} + \underbrace{\varepsilon L \rho_f g \operatorname{sen}(\theta)}_{(6)} = 0$$

Términos (5), (6)=0

$$\Delta P_{Horiz} = \frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2 + \frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p u_{pi}^2 + F_{fw} L + F_{pw} L = 0$$

Cálculo de u_{pi} :

$$u_{pi} = u_f (1 - 0.0638 x^{0.3} \rho_p^{0.5})$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
16.28 m/s	15.60 m/s	15.06 m/s	14.62 m/s

Cálculo de Porosidad ε :

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

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_p}{A u_{pi} \rho_p}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
0.9857	0.9904	0.9931	0.9948

Cálculo de u_{fi} :

$$u_{fi} = \frac{Q_f}{A \varepsilon} = \frac{u_f}{\varepsilon}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
18.88 m/s	18.00 m/s	17.33 m/s	16.79 m/s

Cálculo de $F_{fw} L$ - término (3):

$$f = 64 / Re_D \quad \text{para } Re_D \leq 2 \times 10^3$$

$$f = 0.184 Re_D^{-1/5} \quad \text{para } Re_D > 2 \times 10^4$$

$$f = 0.316 Re_D^{-0.25} \quad \text{para } 2 \times 10^3 < Re_D \leq 2 \times 10^4$$

$$Re_D = \frac{\rho_f u D}{\mu} \quad \text{Se usa la } u_f, \text{ velocidad superficial}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
Re_D	Re_D	Re_D	Re_D
61644.19	73815.06	85522.86	96859.08
f_g	f_g	f_g	f_g
0.0051	0.0049	0.0047	0.0046

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2f \rho_f u^2}{D} \quad \text{Se usa la } u_f, \text{ velocidad superficial (para gas - pared)}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
$F_{fw} L$	$F_{fw} L$	$F_{fw} L$	$F_{fw} L$
3315.26 Pa	2347.70 Pa	1770.86 Pa	1395.24 Pa

Cálculo de $F_{pw} L$ - término (4):

$$F_{pw} L = \frac{2 f_p (1-\varepsilon) \rho_p u_{pi}^2 L}{D},$$

$$Re_p < 1 \quad C_D = \frac{24}{Re_p}$$

$$f_p = \frac{3 \rho_f D}{8 \rho_p x} C_D \left(\frac{u_{fi} - u_{pi}}{u_{pi}} \right)^2,$$

$$1 < Re_p < 500 \quad C_D = 18.5 Re_p^{-0.6}$$

$$500 < Re_p < 2 \times 10^5 \quad C_D = 0.44$$

$$Re_p = \frac{\rho_f (u_{fi} - u_{pi}) x}{\mu}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
Re _p	Re _p	Re _p	Re _p
37.22	34.41	32.55	31.20
C _D	C _D	C _D	C _D
2.11	2.21	2.29	2.35
f _p	f _p	f _p	f _p
0.01	0.01	0.01	0.02
F _{pw} L	F _{pw} L	F _{pw} L	F _{pw} L
33284.63 Pa	19923.65 Pa	13257.26 Pa	9452.55 Pa

Cálculo del término (1):

$$\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
210.74 Pa	192.46 Pa	178.93 Pa	168.33 Pa

Cálculo del término (2):

$$\frac{1}{2} (1 - \varepsilon) \rho_p u_{pi}^2$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
1138.06 Pa	697.73 Pa	467.82 Pa	333.66 Pa

Cálculo ΔP horizontal total (1)+ (2)+ (3)+ (4):

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
37948.68 Pa	23161.53 Pa	15674.87 Pa	11349.78 Pa

b) Tramos verticales

$$p_1 - p_2 = \underbrace{\frac{1}{2} \varepsilon \rho_f u_{fi}^2}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} (1-\varepsilon) \rho_p u_{pi}^2}_{(2)} + \underbrace{F_{fw} L}_{(3)} + \underbrace{F_{pw} L}_{(4)} + \underbrace{(1-\varepsilon) L \rho_p g}_{(5)} + \underbrace{\varepsilon L \rho_f g}_{(6)} = 0$$

Los términos (1) y (2) son mucho más dominantes en el transporte horizontal que en el vertical, por eso se desprecian.

$$p_1 - p_2 = F_{fw} L + F_{pw} L + (1-\varepsilon) L \rho_p g + \varepsilon L \rho_f g = 0$$

Cálculo de $F_{fw} L$ - término (3):

Idéntico al tramo horizontal pero dividido entre 3:

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
1105.085077 Pa	782.5656033 Pa	590.2880578 Pa	465.0806634 Pa

Cálculo de $F_{pw} L$ - término (4):

$$F_{pw} L = 0.057 G L \sqrt{\frac{g}{D}}$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
1106.716545 Pa	633.521517 Pa	401.613455 Pa	273.1752069 Pa

Cálculo del término (5):

$$(1-\varepsilon) L \rho_p g .$$

Para realizar este cálculo es necesario estimar la porosidad en la línea de transporte vertical. Se necesita evaluar la u_p para la línea vertical. Si asumimos que las partículas se comportan individualmente, la velocidad relativa puede asumirse igual a la velocidad terminal, es decir:

$$u_{pi} = \frac{u_f}{\varepsilon} - u_t, \text{ del tramo vertical.}$$

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

Relacionando estas dos expresiones resulta:

$$m_p = A \left(\frac{u_f}{\varepsilon} - u_t \right) (1 - \varepsilon) \rho_p.$$

Si se conoce u_t es posible determinar la porosidad, u_t para esferas:

$$u_t = \sqrt{\frac{4 (\rho_p - \rho_f) g x}{3 C_D \rho_f}},$$

$$\text{Re}_p < 1 \quad C_D = \frac{24}{\text{Re}_p}$$

$$1 < \text{Re}_p < 500 \quad C_D = 18.5 \text{Re}_p^{-0.6}$$

$$500 < \text{Re}_p < 2 \times 10^5 \quad C_D = 0.44$$

$$\text{Re}_p = \frac{\rho_f u_t x}{\mu}.$$

Tabulando:

u_t	Re_p	C_D	u_t
0.6	8.6086	5.0840	0.5311
0.5311	7.6212	5.4696	0.5121
0.5121	7.3477	5.5908	0.5065
0.5065	7.2675	5.6277	0.5048
0.5048	7.2437	5.6389	0.5043
0.5043	7.2365	5.6422	0.5042

Ecuación cuadrática para hallar ε :

$$A\varepsilon^2 + B\varepsilon + C = 0$$

$$A = u_t$$

$$B = u_t + u + G/\rho_p$$

$$C = u$$

	D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
G	139.7913	89.4664	62.1294	45.6461
u_i	0.5042	0.5042	0.5042	0.5042
u	18.61	17.82	17.21	16.71
$u_i + u + G/\rho_p$	19.3437	18.4774	17.8170	17.2863
ε_1	37.39	35.66	34.34	33.3
ε_2	0.988	0.992	0.994	0.996

Entonces el término (5)

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
705.60 Pa	470.40 Pa	352.80 Pa	235.20 Pa

Cálculo del término (6):

$$\varepsilon L \rho_f g.$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
116.19 Pa	116.66 Pa	116.89 Pa	117.13 Pa

Cálculo ΔP vertical total (3) + (4) + (5) + (6):

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
3033.59 Pa	2003.15 Pa	1461.60 Pa	1090.59 Pa

Codos:

$$\Delta p_{\text{codos}} = 5 \times 7.5 \times \Delta p_{\text{vert}}/L$$

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
11375.96 Pa	7511.79 Pa	5480.98 Pa	4089.69 Pa

ΔP TOTAL:

D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
52358.24 Pa	32676.48 Pa	22617.4 Pa	16530.06 Pa
0.524 bar	0.327 bar	0.226 bar	0.165 bar

Cuadro de resumen:

	D=0.0508	D=0.0635	D=0.0762	D=0.0889
Δp	0.524 bar	0.327 bar	0.226 bar	0.165 bar
u_f	18.61 m/s	17.82 m/s	17.21 m/s	16.71 m/s
Q_f	0.037 m ³ /s	0.056 m ³ /s	0.078 m ³ /s	0.103 m ³ /s
$m_p/(Q_f \rho_f)$	6.261 Kg _p /Kg _f	4.183 Kg _p /Kg _f	3.009 Kg _p /Kg _f	2.277Kg _p /Kg _f
Q_f (cfm)	79.907 cfm	119.605 cfm	166.291 cfm	219.722 cfm

De acuerdo al cálculo realizado, se ha utilizado una tubería de D= 0.0635 m, con lo cual se tiene una caída de presión inferior a la admisible (0.55 bar) y se trabaja con el menor caudal de aire posible.

3.1.3. Cálculo de la potencia del motor de la bomba de vacío

Para calcular la potencia del motor de la bomba de vacío, se realiza el balance de energía para dos puntos de fluido utilizando la ecuación de Bernoulli. En los cálculos se debe considerar que existe una diferencia de altura entre la bomba y la tolva de almacenamiento de 7.56 m, una caída de presión de 0.327 bar (ver los cuadros de cálculo anteriores) y la velocidad del aire constante.

$$H = Z_2 - Z_1 + \left(\frac{p_2 - p_1}{\rho g} \right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right),$$

$$H = 7.56 + \left(\frac{(0.327) (10^5)}{(1.2) (9.81)} \right) + 0,$$

$$H = 2785 \text{ m.}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\gamma Q H}{n},$$

$$\text{Potencia} = \frac{\rho g Q H}{n}$$

$$Potencia = \frac{(1.2)(9.81)(0.056)(2785)}{0.75}$$

$$Potencia = 2.45 \text{ kw.}$$

3.1.4. Selección de los equipos

Como se había mencionado estamos trabajando con las soluciones que ofrece K-TRON, que además de diseñar y fabricar equipos brinda servicios de ingeniería de sistemas completos para aplicaciones de transporte neumático.

En el proceso de selección de las tolvas, es importante mencionar que tanto la tolva de almacenamiento y la tolva de descarga fueron fabricadas especialmente para esta aplicación. El diseño de las tolvas es estándar, se darán detalles en el siguiente capítulo, por lo tanto solo fue necesario entregarle al fabricante los volúmenes requeridos:

Tolva de almacenamiento: 0.28 m^3 .

Tolva de descarga: 1.67 m^3 .

Por recomendación del fabricante en la instalación del sistema se usaron tuberías de acero inoxidable 304 con un diámetro exterior de 2.5" y un espesor de pared de 0.065".

Asimismo, de acuerdo a los cálculos realizados necesitamos una bomba de vacío que genere 120 cfm a una potencia de 2.45 kW.

La Tabla N° 3.3 muestra los tipos de bomba del fabricante Becker, del cual elegimos el modelo VTLF 2.200 porque cumple con las características técnicas deseadas.

Tabla 3.3 - Data técnica de las bombas de vacío Becker

	VTLF 2.200	VTLF 2.250	VTLF 2.250 SK
All data based on 60 Hz operation			
Flow (SCFM @ 0 in. Hg)	129	169	174
Power (kW/HP)	4.8/6.4	6.4/8.5	9.3/12.4
Speed (RPM)	850	1175	1175
Max. Cont. Vacuum (in. HgV)	24	24	27
Weight (lbs.)—w/ motor*	546	550	572
Noise Level (Max. dBA)	78	79	79
Inlet size (BSP, inches): with NPT adapter:	G-2½" 2"	G-2½" 2"	G-2½" 2"

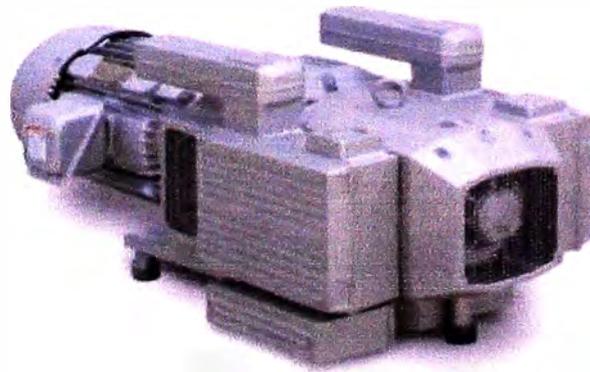


Figura 3.2 - Bomba de vacío Becker

Asimismo se necesita un filtro en línea entre la tolva de almacenamiento y la bomba de vacío para impedir la entrada de cuerpos extraños o polvo a la bomba; se debe contar con una tolva de recolección de finos para recoger todas las partículas de polvo de la limpieza de las mangas del filtro en línea.

Usamos como filtro en línea un receptor por vacío; de los catálogos de K-TRON elegimos el modelo P30-BV-150 por ser el de menor capacidad, ya que solo servirá para retener las partículas de polvo que se desprenden al descargar el SAP a la tolva de almacenamiento.

Technical Data

Standard Mechanical Specifications

- Stainless steel 316L [1.4404] for material contact parts
- Surface finish electropolished
- Welds continuous as laid
- Holding capacity:

P30-FP-150	27.6 dm ³ [0.97 ft ³]
P30-FP-300	27.6 dm ³ [0.97 ft ³]
P30-BV-150	26.4 dm ³ [0.93 ft ³]
- Convey line connection; spigots with Tri-clamps, 38.1 mm [1.5 in], 50.8 mm [2 in], 63.5 mm [2.5 in]
- Vacuum line connection; spigots with Tri-clamps, 76.2 mm [3 in]
- P30-BV-150 Butterfly valve discharge, Ø 150 mm [6 in]
- P30-FP-300 Power flap discharge, Ø 300 mm [12 in]
- P30-FP-150 Power flap discharge, Ø 150 mm [6 in]
- Polyester pleated cartridge filters with stainless steel end caps
P30-FP-150 & P30-BV-150:

3 filters, total 0.75 m ² [8.07 ft ²]; length 200 mm [7.9"]
--

P30-FP-300:

3 filters, total 1.5 m ² [16.15 ft ²]; length 400 mm [15.7"]

- Automatic reverse jet filter

3 dm ³ [0.1 ft ³] SS air reservoir; 4 bar max [60 psi]

- Material certificate EN 10204-2.1



Figura 3.3 – Filtro en línea de K-TRON

3.2. Sistema de dosificación

Para esta aplicación hemos elegido un sistema de dosificación por pérdida de peso con bomba de sólidos.

¿Por qué dosificación por pérdida de peso con bomba de sólidos?

Porque generalmente se recomienda utilizar estos dosificadores con materiales de difícil manipulación y cuando se desea obtener una gran precisión con velocidades de dosificación muy bajas.

Asimismo hemos considerado como dispositivo de dosificación una bomba de sólidos para proporcionar una dosificación suave, precisa, uniforme y con buena fluidez, ya que es importante evitar los daños en las partículas de SAP para conservar su capacidad de absorción.

3.2.1. Cálculo de flujos máscicos y volumétricos

Teniendo en cuenta la capacidad máxima y mínima de dosificación del sistema, que es cuando la maquina produce pañales de talla XXG / XG y P, calculamos la velocidad de dosificación.

Flujo máscico mínimo:

$$\dot{m}_{min} = 800 \text{ und/ min (5 g)},$$

$$\dot{m}_{min} = 240 \text{ kg/hr.}$$

Flujo máscico máximo:

$$\dot{m}_{max} = 480 \text{ kg/hr.}$$

Consideramos la densidad mínima del SAP (ver la Tabla 2.1) para el cálculo de los flujos volumétricos:

Flujo volumétrico mínimo:

$$\dot{Q}_{min} = 421.05 \text{ dm}^3/\text{hr}.$$

Flujo volumétrico máximo:

$$\dot{Q}_{max} = 842.11 \text{ dm}^3/\text{hr}.$$

3.2.2. Selección del dosificador

Utilizando las tablas del fabricante K-TRON que ofrece 4 modelos para esta aplicación, podríamos usar el modelo BSP-135, pero se ha elegido el BSP-150-S considerando un posible incremento en la capacidad de la línea y porque por su estructura proporciona una dosificación más uniforme comparada al BSP-135.

Tabla 3.4 – Velocidad de los dosificadores de K-TRON

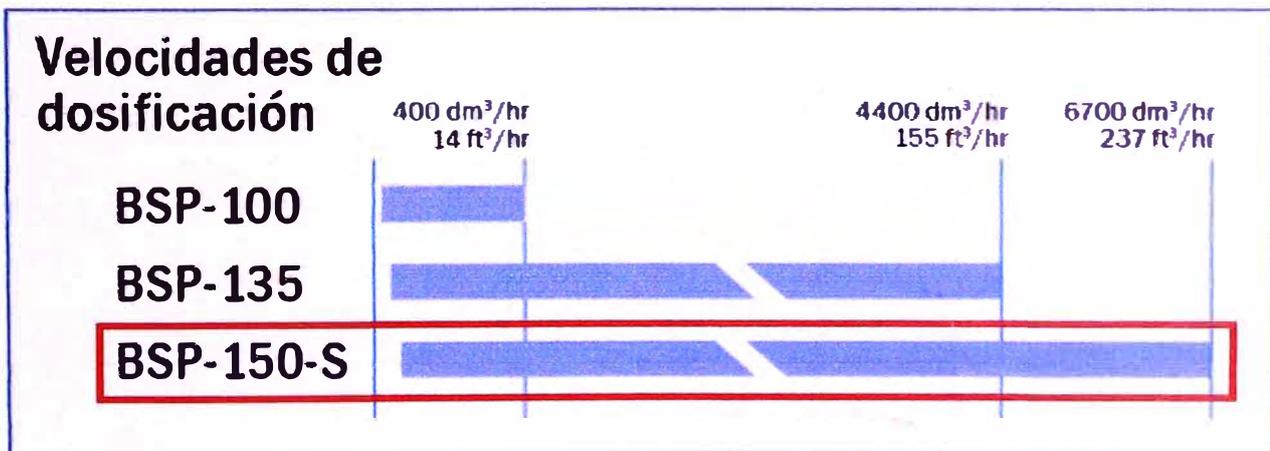




Figura 3.4 - Dosificador por pérdida de peso Bulk Solids Pump (BSP).

Fuente: K-tron

CAPÍTULO IV

INSTALACIÓN

En la instalación del sistema se realizaron los trabajos mecánicos correspondientes para el montaje de las tolvas, filtro y de la bomba de vacío; en paralelo se fueron montando los tableros eléctricos (SAMCE1, SAMCE2, SAMCE3 y SAMOS1) y parte de la instrumentación. Por recomendación del fabricante se instalan las celdas de carga del dosificador después de terminar con todos los trabajos de construcción en las tolvas.

4.1. Ambiente de trabajo

El ambiente disponible para la instalación del sistema fue de 8.15m x 15.19m x 7.56 m. Los equipos se instalaron de acuerdo a la disposición de la línea y se encuentran distribuidos entre el 1er y 2do nivel.

La Figura 4.1 muestra una vista de planta, donde se puede distinguir la ubicación referencial de cada uno de los equipos anteriormente mencionados.

En el interior de la caseta acústica se encuentra el molino de martillos, las tolvas de dosificación de SAP y la rueda de formación del colchoncillo.

La tolva de almacenamiento y el dosificador se instalaron en el segundo nivel y los demás equipos en el primer nivel.

15.19

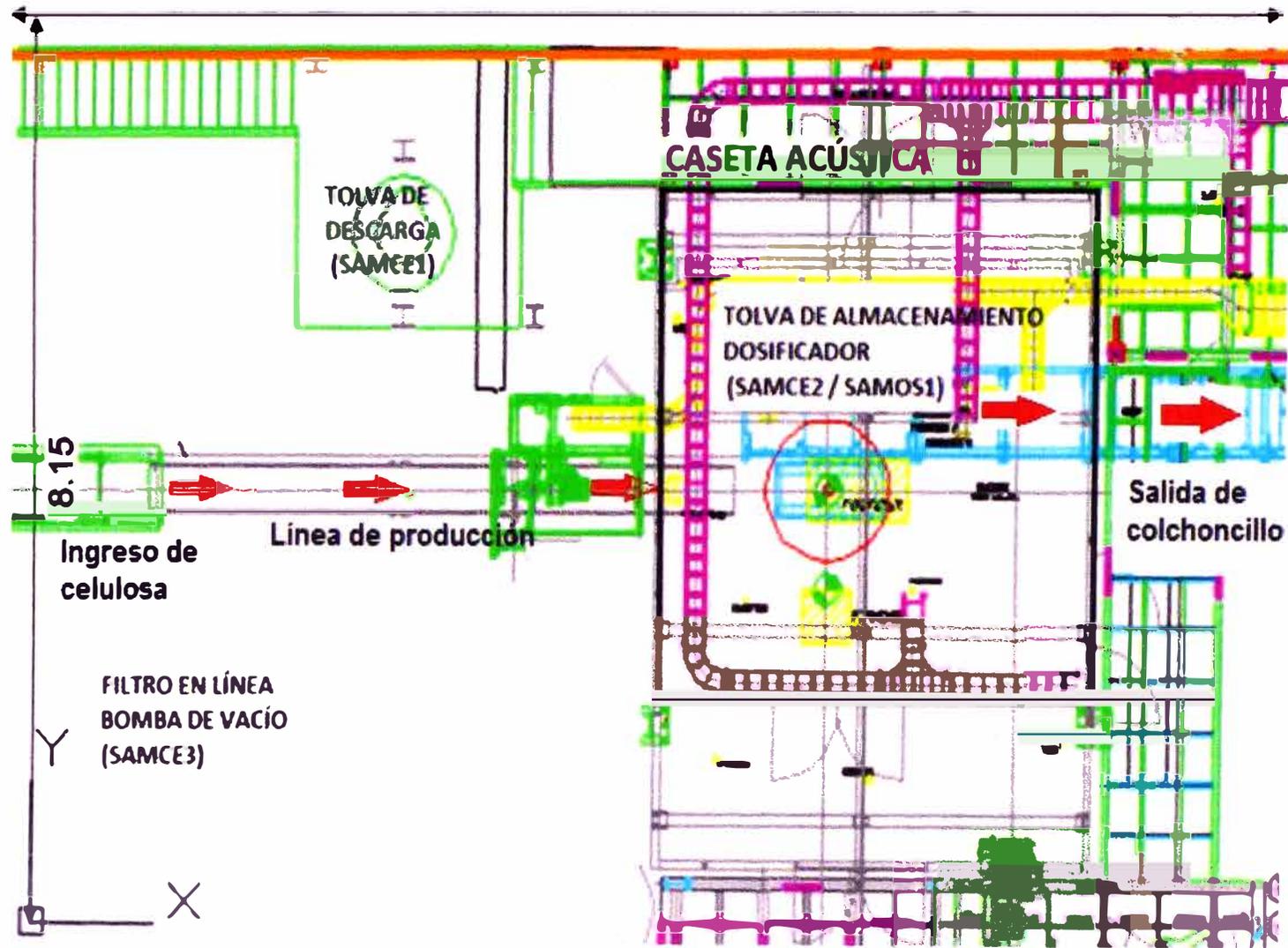


Figura 4.1 - Vista de planta

4.2. Sistema mecánico

Los principales equipos para esta sección se enumeran a continuación con una descripción de su función:

1. Tolva de descarga (Pickup Hopper)

Es una tolva de acero inoxidable de 1.42 m^3 . El SAP es transportado y contenido en un saco de un volumen aproximado de 1 ton. Este saco a granel se recoge con una grúa y se coloca en el sistema de vaciado de sacos que se encuentra encima de la tolva de descarga. El SAP fluirá directamente desde la parte superior de la tolva de descarga hacia la parte inferior que está conectada a la tubería de transporte.

2. Tolva de almacenamiento (Receiver Hopper)

El SAP es transportado desde la tolva fuente (Pickup Hopper o Fines Collection Hopper) hacia la tolva de almacenamiento a través de tuberías de acero inoxidable.

Una bomba de vacío genera el vacío, lo que crea un flujo de aire desde la tolva de descarga hasta la tolva de almacenamiento. La tolva de almacenamiento se encuentra ubicada encima del dosificador, ambas situadas en el segundo piso de la caseta acústica. La tolva de almacenamiento de acero inoxidable de 0.28 m^3 actúa como un acumulador, proporcionando almacenamiento adicional para que los sacos a granel se puedan cambiar mientras la máquina de producción sigue funcionando.

3. Bomba de vacío (Vacuum Pump)

La bomba de vacío crea un vacío en la tolva de almacenamiento que permite transportar el SAP desde la tolva de descarga hasta la tolva de almacenamiento. Se trata de una bomba de paletas y está situada típicamente adyacente al filtro en línea / tolva de recolección de finos. Los valores usuales de presión negativa a la salida de la bomba cuando el sistema está transportando deben estar en el orden de 20 - 24 in.Hg.

4. Filtro en línea (Inline Filter)

El filtro de línea se encuentra entre la tolva de almacenamiento y la bomba de vacío, encima de la tolva de recolección de finos. Contiene tres filtros de cartucho grandes que limpian el aire utilizado en el transporte de material. La salida de aire limpio del filtro de línea es hacia la bomba de vacío. Periódicamente, los filtros de cartucho se limpian mediante un pulso de aire comprimido en la dirección de flujo inverso. Las partículas sucias caen a través de una válvula de mariposa montada en la parte inferior del filtro de línea y entran a la tolva de recolección de finos.

5. Tolva de recolección de finos (Fines Collection Hopper)

La tolva de recolección de finos está situada debajo del filtro de línea y está conectada a la válvula mariposa de la descarga del filtro de línea. Recoge todas las partículas de polvo de la limpieza de los filtros de línea y los mantiene hasta que son enviados de nuevo a la tolva de almacenamiento (o al sistema central de recolección de polvos de la planta con una modificación en el sistema). La tolva de recolección

de finos es similar a la tolva de descarga, de acero inoxidable con tuberías de transporte conectado en la parte inferior.

6. Dosificador

Está constituido por una tolva de alimentación, un motor paso a paso, una bomba de sólidos y un controlador KCM (propietario de K-TRON). La tolva de alimentación (Feeder Hopper) almacena SAP para suministrarlo a la rueda de formación y es una parte integral del sistema de dosificación que se conecta a la cámara de formación del colchoncillo del pañal por un chute metálico. Tiene un volumen de 0.11 m^3 y está situada directamente debajo de la tolva de almacenamiento, conectándose a la puerta de descarga de la tolva de almacenamiento a través de una membrana flexible. El marco interior de apoyo de la tolva de alimentación tiene dos conjuntos de aisladores de vibraciones que reducen la transmisión de vibraciones del ambiente de trabajo. La tolva de alimentación está directamente montada sobre tres células de carga, también conocidos como transductores de fuerza inteligentes, o SFTs (Smart Force Transducers). Las celdas de carga están vinculadas al controlador KCM, el material se dosifica usando una bomba de sólidos a granel y un motor paso a paso en la forma llamada “alimentación por pérdida de peso”.

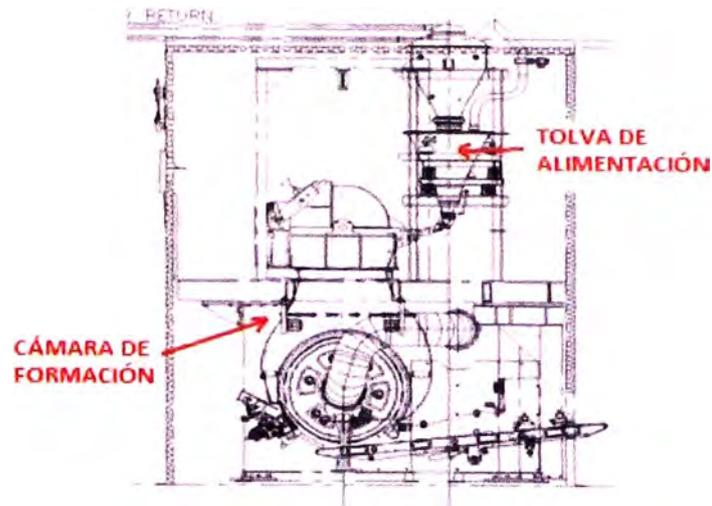


Figura 4.2 – Cámara de formación

4.3. Sistema de instrumentación y control

El sistema basa su lógica de control en las tres etapas de un esquema básico de un automatismo: adquisición de datos, procesamiento de datos y actuación o mando. Las señales de entrada suministradas por los instrumentos transductores constituyen los datos adquiridos por el sistema. Dichos datos son recibidos por los controladores quienes sensan lo que está ocurriendo en el proceso, procesan la información y deciden las acciones a ejecutar. Las señales de salida son enviadas hacia los actuadores, quienes como su nombre lo indica, están encargados de actuar sobre el proceso con la finalidad de modificar sus condiciones de acuerdo a los requerimientos.

Para el control del sistema de transporte de SAP se utilizó un PLC (ControlLogix) y en el sistema de dosificación un controlador KCM (control propietario de K-TRON). Un sistema PLC basa su funcionamiento en el principio de control centralizado. El control centralizado es utilizado cuando varios equipos o

procesos son controlados mediante un controlador central programable, es decir que una única unidad inteligente es encargada del control, no existiendo comunicación con otros controladores o PCs. La desventaja principal de este sistema radica en que si la unidad inteligente falla el proceso se detiene.

Cada uno de los controladores cuenta con un Panelview, que es una interface de dialogo con el operador, que permite a través de pantallas amigables operar y supervisar los procesos de transporte y dosificación.

Adicionalmente se instaló una red (Ethernet IP) que permite comunicar los controladores con el control principal de la línea de producción. Dicha red permite supervisar los procesos desde la sala de control.

Los principales tableros de control y la instrumentación utilizada en el sistema, se enumeran a continuación con una descripción:

1. Tablero de control del sistema de dosificación (SAMCE2)

El módulo de control K-TRON KCM (SAMCE2) controla un motor paso a paso (194W, 1500 rpm) montado en la bomba de sólidos a granel en la parte inferior de la tolva de alimentación. Este motor hace girar los discos que transportan el SAP del sistema de medición a la cámara de formación del colchoncillo del pañal. El KCM K-TRON tiene una desconexión local para facilitar el mantenimiento en el motor / bomba de sólidos a granel.

La Figura 4.3 muestra un diagrama de conexiones al KCM.

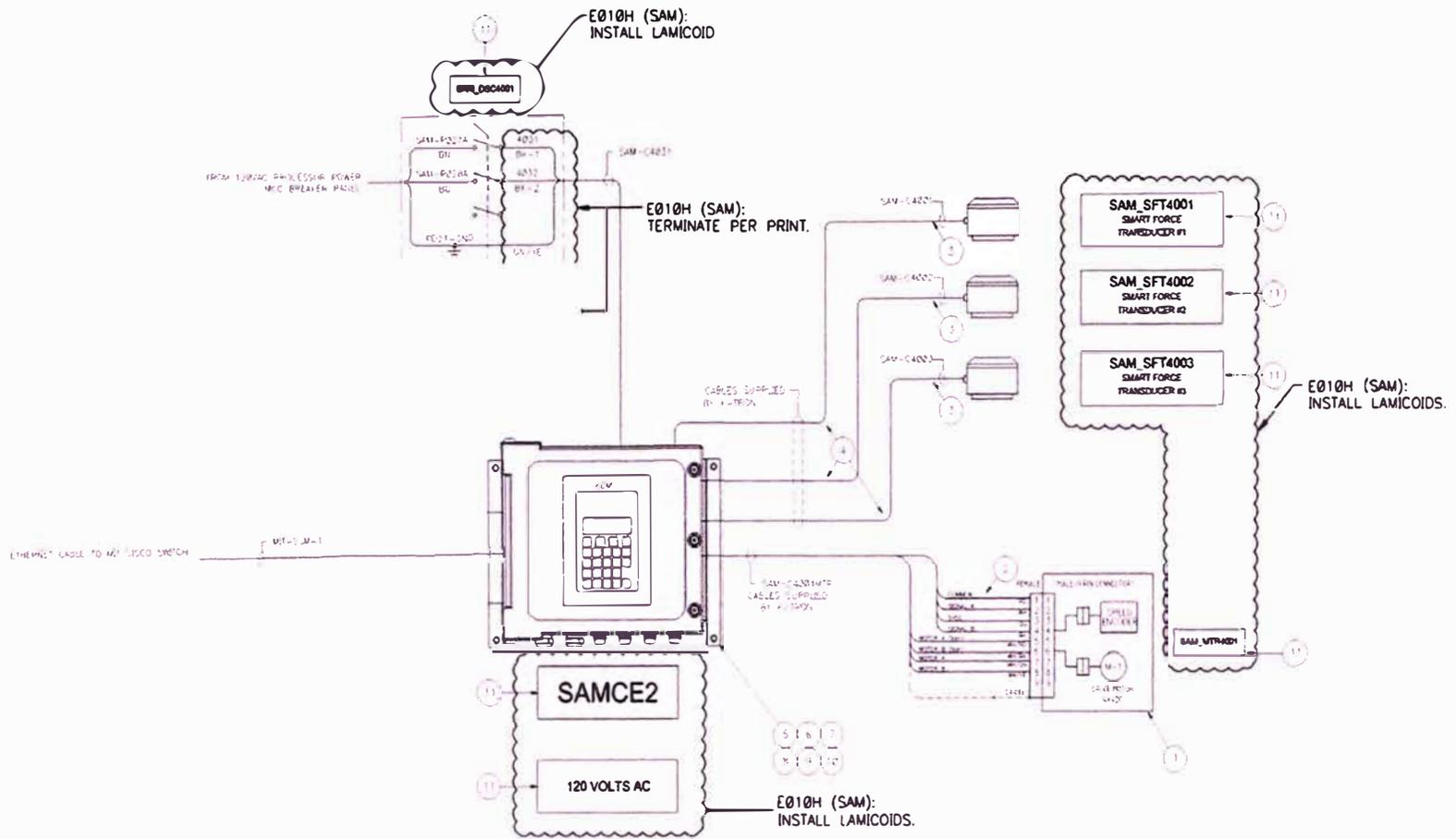


Figura 4.3 - Diagrama de conexiones al KCM

La tolva de alimentación está montada sobre 3 celdas de carga que envían información sobre el peso al procesador del controlador K-TRON KCM. La escala / controlador generalmente se ejecuta en el modo “pérdida de peso”, donde puede ajustar la velocidad del motor para asegurar una salida constante de flujo de masa vs setpoint. El setpoint de flujo de masa es proporcionada por el control principal de la línea de producción, así como los comandos de arranque y paradas, etc.

El peso en la tolva también se puede utilizar para determinar cuando la tolva de alimentación necesita ser recargado, así como cuando está lleno. La recarga de la tolva de alimentación es un proceso por lotes iniciada por el controlador KCM y actúa por el procesador del sistema de suministro de SAP, el cual controla la puerta de descarga de la tolva de almacenamiento. Durante el ciclo de recarga, el controlador KCM cambia de “pérdida de peso” a “volumétrico” hasta que la tolva se recarga.

2. Tablero de control principal del sistema de transporte (SAMCE1)

El SAMCE1 se alimenta con 120 VAC y contiene el PLC Allen Bradley 1756 CLX para el control del sistema de transporte de SAP. Una tarjeta 1756-ENBT es agregada en el slot 5 para establecer las comunicaciones con el control principal de la línea de producción. La parte frontal de este tablero tiene un Panelview, bocina para alarma, botón para silenciar la alarma, botón de stop y un puerto de programación (ver la Figura 4.4).

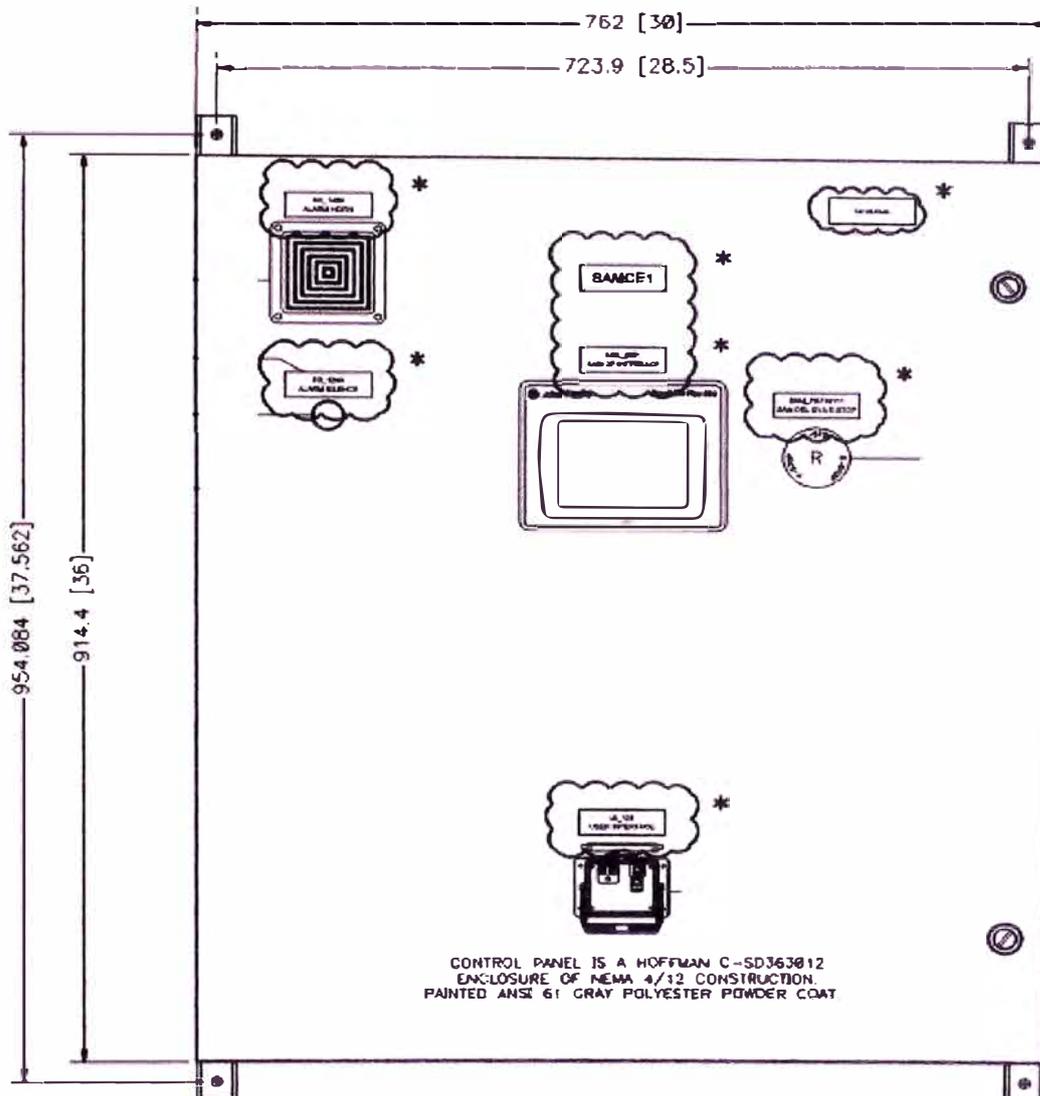


Figura 4.4 - Tablero SAMCE1

3. Tablero de control de la bomba de vacío (SAMCE3)

El SAMCE3 (ver la Figura 4.5) se alimenta con 440 VAC, tiene un arrancador y un selector manual/off/automático. El control para el arrancador viene del tablero de control principal de suministro de SAP (SAMCE1).

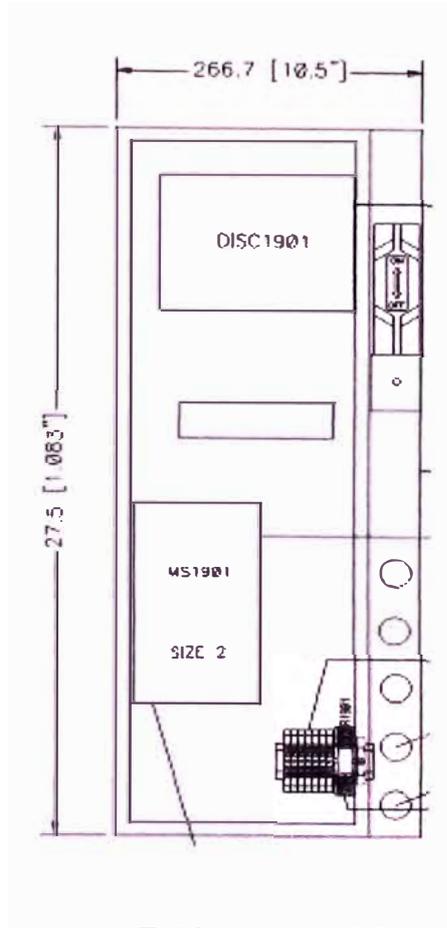


Figura 4.5 - Tablero SAMCE3

4. Estación de operación de SAP (SAMOS1)

El SAMOS1 (ver Figura 4.6) tiene dos interruptores selectores, un interruptor selector se utiliza para habilitar y deshabilitar el sistema de suministro de SAP. El otro interruptor selector es usado para vaciar el SAP desde la tolva de alimentación. EL SAMOS1 es montado en la tolva de almacenamiento al lado del controlador KCM (SAMCE2) y utiliza 24 VDC.

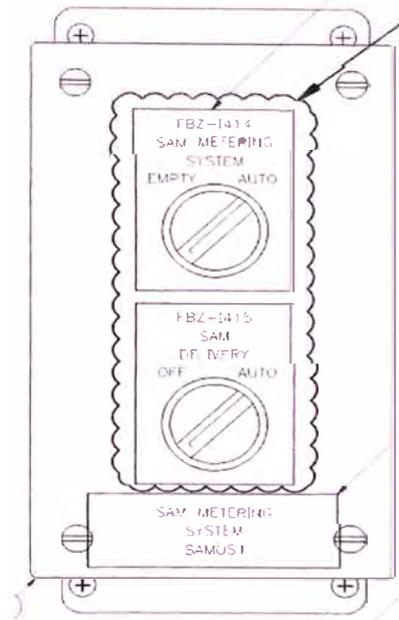


Figura 4.6 - Tablero SAMOS 1

5. Instrumentación

Dentro de toda la instrumentación instalada se distinguen los siguientes tipos según su función:

Indicadores locales, son todos aquellos instrumentos que permiten medir la magnitud física o química dando la indicación o lectura en forma local, dentro de este tipo de instrumentos se distinguen los manómetros, manómetros diferenciales, termómetros, visores de nivel de tanques, etc. Estos instrumentos permiten a los operadores de turno supervisar el proceso mientras recorren la planta. En nuestro caso tenemos los manómetros de la bomba de vacío.

Interruptores, son todos aquellos instrumentos que sensan constantemente la magnitud física o química y que mediante la calibración del sensor interno permiten accionar un interruptor con contactos abiertos o cerrados según la necesidad, estos

instrumentos envían una señal discreta ON/OFF al sistema de control y actúan como dispositivos de alarma o seguridad. Dentro de este tipo de instrumentos tenemos los interruptores de nivel por vibración de BinMaster, que funciona como alarma, indicando un sobre llenado o una alarma de nivel bajo, y los interruptores de presión Festo SDE1, que genera alarmas cuando la presión del aire de transporte está por debajo o por encima del valor deseado.

Transmisores, se conoce como transmisor al conjunto acondicionador de señal, en casos integrado al sensor y en otros como un dispositivo independiente conectado al sensor mediante conductores eléctricos, caños, etc. Las celdas de carga usadas en el proyecto tienen el transmisor incorporado.

Transductores, son dispositivos que convierten una señal de un tipo de energía en otra. Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. El sistema de pesaje de K-TRON usa la tecnología SFT (Smart Force Transducer). El principio de las celdas de carga SFT se basa en la frecuencia de resonancia de un alambre oscilante, cuando una carga desconocida cambia la tensión del alambre del sensor de carga. El microprocesador incorporado detecta el cambio resultante en la frecuencia y la convierte en una señal digital de peso. La interfaz serial transmite la señal linealizada y compensada en temperatura al controlador conectado (ver la Figura 4.7).

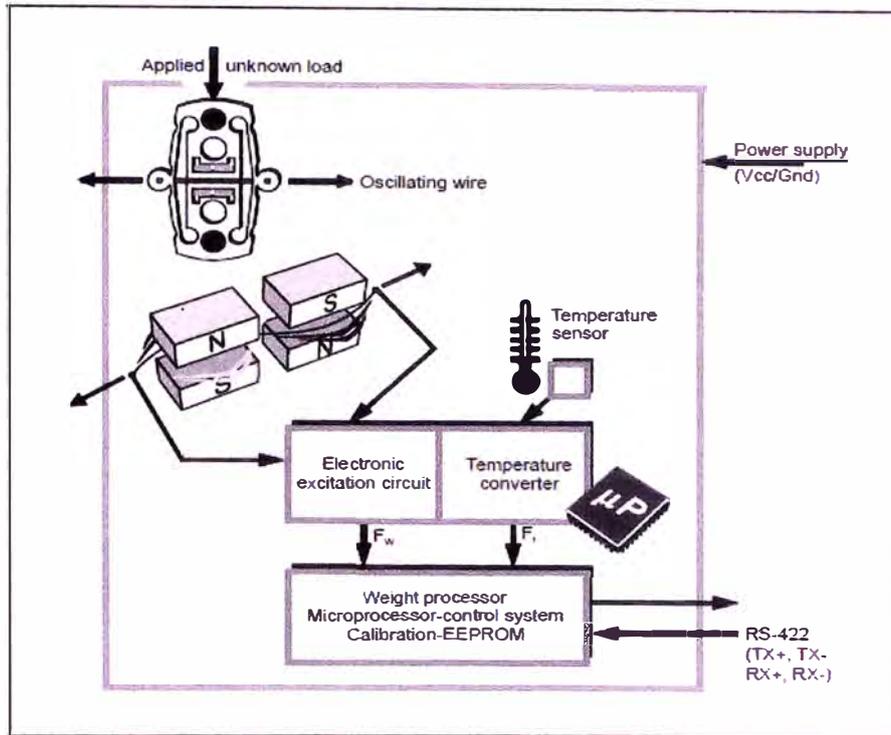


Figura 4.7 - Principio de funcionamiento de las celdas de carga

Válvulas de control on/off, son aquellas válvulas automatizadas que regulan el paso del fluido en forma discreta. Es decir, la válvula se abre completamente para permitir el paso de un fluido (sin importar su caudal ni presión), o se cierra completamente para cortar el paso. En este caso se utilizaron válvulas solenoides neumáticas y las válvulas Bray de tipo mariposa. Para las válvulas neumáticas se usó aire comprimido de 80-100 psi.

A continuación se muestran diagramas que identifican la instrumentación usada en las distintas partes del proceso:

a) Tolva de descarga:

La Figura 4.8 muestra la instrumentación instalada en la tolva de descarga.

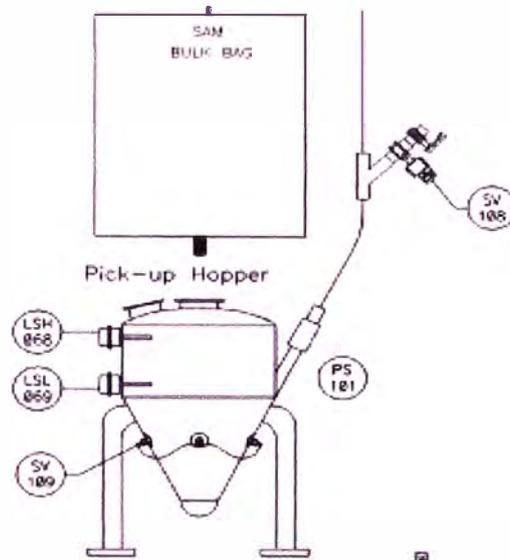


Figura 4.8 - Instrumentación de la tolva de descarga

Tag Name	Descripción
LSH-068	Pickup Hopper High Level
LSL-069	Pickup Hopper Low Level
SV-109	Pickup Hopper Fluidizer Solenoid
PS-101	Pickup Hopper Air Present
SV-108	Pickup Hopper Purge Valve Solenoid

b) Tolva de almacenamiento y dosificador:

La Figura 4.9 muestra la instrumentación instalada en la tolva de almacenamiento y alimentación.

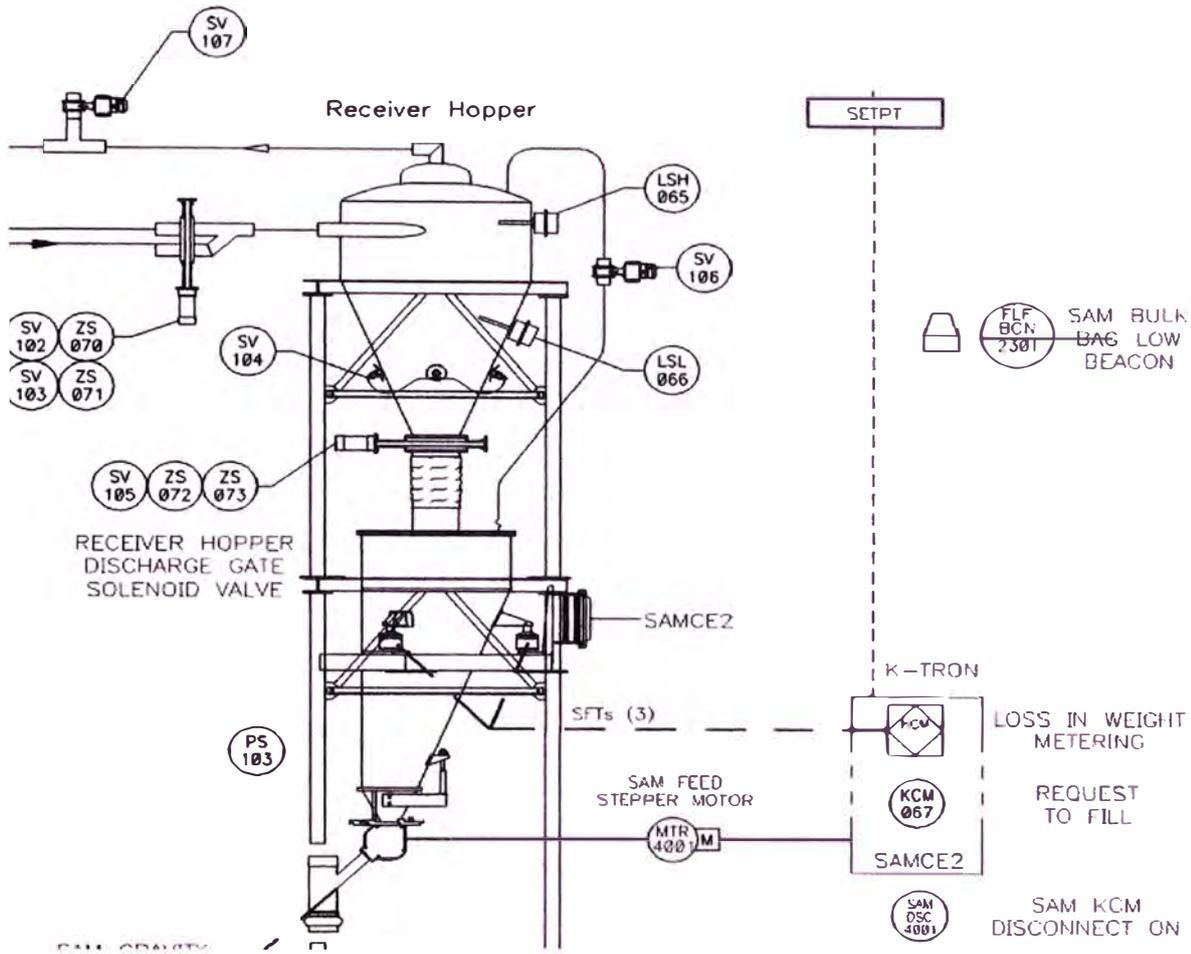


Figura 4.9 - Instrumentación de la tolva de almacenamiento y alimentación

Tag Name	Descripción
SV-102	Diverter valve thru to Vacuum Pickup Hopper Solenoid
SV-103	Diverter valve divert to Fines Collection Hopper Solenoid
ZS-070	Diverter Valve Positioned to Pick Up Hopper
ZS-071	Diverter Valve Positioned to Fines Collection Hopper
LSH-065	Receiver High Level
LSL-066	Receiver Low Level
PS-103	Receiver Hopper Air Present
VS-104	Receiver Hopper Vacuum Present
SV-105	Receiver Hopper Discharge Gate Open Solenoid
ZS-072	Receiver Hopper Discharge Gate Closed Proof
ZS-073	Receiver Hopper Discharge Gate Open Proof
SV-104	Receiver Hopper Fluidizer Solenoid
SV-106	Feeder Vent Line Bray Valve Solenoid
SV-107	Receiver Hopper Vent Line Bray Valve Solenoid

c) Filtro en línea y tolva de recolección de finos

La Figura 4.10 muestra la instrumentación instalada en el filtro de línea y la tolva de recolección de finos.

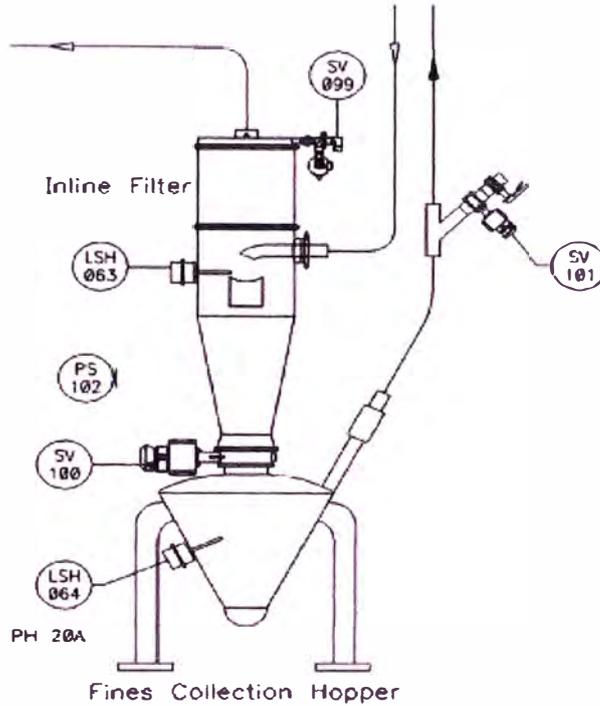


Figura 4.10 - Instrumentación del filtro en línea y tolva de recolección de finos

Tag Name	Descripción
SV-099	Inline Filter Pulse Clean Solenoid
SV-100	Inline Filter Discharge Gate Solenoid
LSH-063	Inline Filter High Level
PS-102	Inline Filter Air Present
LSH-064	Fines Collection Hopper Hi Level
SV-101	Inline Filter Cleanout Bray Valve

4.4. Sistema eléctrico

El sistema requiere de alimentación de fuerza (440 VAC y 120 VAC) y control (24 VDC), los tableros del sistema fueron alimentados por los tableros

eléctricos principales de la línea de producción, previo análisis del consumo de energía del sistema (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1 - Cuadro de cargas principales del sistema

440 VAC	Motor	Disc.	Amp
SAM Delivery System	6.4 hp	60	40
SAM Dust System (FISH)	2 hp	30	15
		Total	55
24 VDC		CB	Amp
SAM Control power		5	5
		Total	5
120 VAC		CB	Amp
SAM Processor power		15	3
SAM Drive Power (K-tron)		15	8
		Total	11

La selección del calibre del conductor es parte importante de los sistemas eléctricos, ya que de ello depende la transmisión de la energía eléctrica en forma eficiente y segura (ver Anexo A). Los tipos de cables (fuerza y control) en este trabajo fueron especificados por el fabricante del sistema.

El tendido de los cables de fuerza y control se hizo usando canaletas tipo malla y/o tubería conduit según la necesidad y lo especificado en los cuadros proporcionados por el fabricante. Por otro lado se consideraron rutas independientes para el cableado de fuerza y control para evitar todo tipo de perturbaciones en las señales de control. En algunos casos se decidió utilizar las canaletas existentes para evitar el desorden en el ruteado de los cables.

Finalmente se realizó el aterramiento de los equipos, instrumentos y tableros. La razón básica para aterrizar los sistemas de C.A. es para limitar y estabilizar los

voltajes y, para facilitar la operación del dispositivo de protección por sobrecorriente en el caso de una falla a tierra, evitando de esta manera daños en los equipos y/o accidentes en el personal operario.

4.5. Sistema de comunicaciones

El protocolo de comunicación estándar de la planta es el Ethernet IP, por lo tanto al seleccionar los sistemas debemos asegurarnos que los controladores tengan este tipo de comunicación. La Figura 4.11 muestra el diagrama de comunicaciones entre los controladores utilizados.

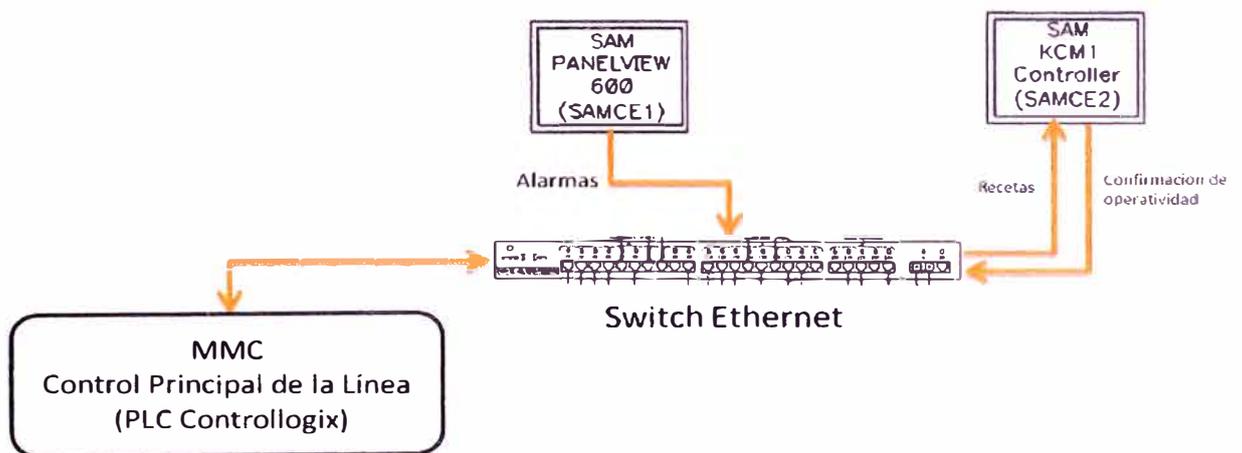


Figura 4.11 - Diagrama de comunicaciones

Para la comunicación Ethernet se usó el cable de par trenzado FTP de la categoría 5e apantallado que es el estándar de la planta (ver Anexo B).

Configuración de la tarjeta Ethernet en el SAMCE1

Una tarjeta Ethernet 1756-ENBT se instala en el slot 5 del rack del tablero SAMCE1.

Para establecer la comunicación Ethernet es necesario una dirección IP disponible y

en esta aplicación se usó 10.25.30.105, asimismo se siguen las instrucciones de configuración que aparecen en los manuales del fabricante.

Configuración del adaptador Ethernet en el K-TRON – KCM

La comunicación del controlador KCM-KTRON se establece cargando el archivo KGR. Este archivo es el archivo de comunicación con el servidor que reside en el controlador de KCM establece la dirección de I/P (10.25.30.106) junto con otros parámetros del sistema que son necesarios para comunicarse con el ControlLogix (envío y recepción de data).

Para establecer la comunicación se debe:

- a) Verificar que el adaptador Ethernet este correctamente instalado.
- b) Ajustar todas las posiciones del DIP switch en OFF (ver Figura 4.12).
- c) Configurar el protocolo en la opción: Allen Bradley Ethernet/IP.

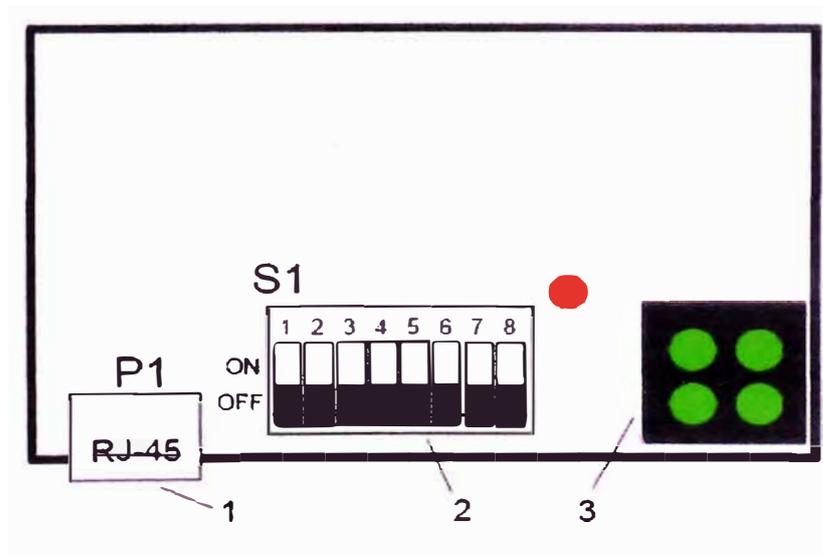


Figura 4.12 - Adaptador Ethernet

1. Conexión Ethernet RJ-45.
2. Terminales del DIP switch.
3. LED de diagnóstico.

4.6. Integración del sistema

El sistema de medición y suministro de SAP es un conjunto de equipos y componentes de acero inoxidable que descargan el SAP de un saco a granel (Pick Up Hopper), la transportan al punto de uso (Receiver Hopper), y mide la correcta cantidad de material que requiere la línea de producción.

El sistema de suministro de SAP recibe el SAP de un saco a granel en la tolva de descarga (Pickup Hopper).

El SAP es transportado por un sistema de vacío a través de tuberías de acero inoxidable de la tolva fuente (Pickup Hopper o Fines Collection Hopper) a la tolva de almacenamiento (Receiver Hopper). El aire de transporte pasa a través del filtro en línea antes de ser expulsado de la bomba de vacío. El material SAP en la tolva de almacenamiento es usado periódicamente para llenar la tolva de alimentación del sistema de medición. El polvo recogido en el filtro en línea se retira periódicamente y termina en la tolva de recolección de finos, y se puede alimentar de nuevo a la tolva de almacenamiento (o es enviado a un sistema de recolección de polvo general de la planta).

El sistema de dosificación, recibe material de la tolva de almacenamiento (Receiver Hopper) y lo almacena en la tolva de alimentación (Feeder Hopper) hasta que se utiliza. El sistema de medición se realiza por “Pérdida de peso” con precisión para medir la cantidad correcta que se necesita en la máquina de producción. Es

controlado por un controlador de K-TRON KCM que se comunica con el control principal de la línea de producción.

Los objetivos funcionales del Sistema de transporte y dosificación de SAP incluyen:

1. Descarga del saco a granel (Pickup Hopper)
2. Acumulación y almacenamiento de SAP (Receiver Hopper)
3. Dosificación (Feeder Hopper, K- tron controller)
4. Filtro en línea del sistema de transporte/ Recuperación de partículas (Inline Filter & Fines Collection Hopper)
5. Transporte de SAP del Pickup Hopper al Receiver Hopper (Vacuum Pump)

Asimismo tiene 6 rutinas de control para realizar las operaciones típicas del sistema que se mencionan a continuación:

1. Arranque inicial (llenado de un sistema vacío)
2. Descarga de SAP a la tolva alimentadora
3. Alimentación de SAP a la tolva de descarga
4. Apagado del sistema
5. Vaciado del sistema
6. Limpieza del sistema con la maquina parada

A continuación se muestran las Figuras 4.13, 4.14 y 4.15; las cuales son fotos reales del sistema instalado en la planta:



Figura 4.13 – Tolva de descarga.



Figura 4.14 – Bomba de vacío y filtro en línea.



Figura 4.15 – Tolva de almacenamiento y dosificador.

CAPÍTULO V

PUESTA EN MARCHA Y PRODUCCIÓN DE LA LÍNEA INSTALADA

5.1. Puesta en marcha

La puesta en marcha sirve para realizar un correcto chequeo de las variables antes, durante y después del primer arranque; esto proporciona la confianza de disponer de equipos correctamente ajustados y regulados para su funcionamiento y disponer de las máximas garantías.

La puesta en marcha de este proyecto consistió en realizar pruebas en vacío y verificar todos los parámetros de operación de los equipos durante el arranque y el apagado del sistema.

5.1.1. Arranque

Para realizar el arranque de un sistema es necesario realizar unas verificaciones y configuraciones previas con la finalidad de regular y ajustar los equipos, asimismo de corregir a tiempo los problemas encontrados. Es importante elaborar un procedimiento que establezca los pasos necesarios para un arranque exitoso sin daños en los equipos.

5.1.1.1. Verificaciones y configuraciones previos al arranque

A) Utilizando los planos verificar las ubicaciones de los dispositivos, las conexiones eléctricas y neumáticas, así como la configuración del DIP switch en el CPU del

KCM. Asegúrese de que todos los dispositivos estén etiquetados en el campo para una rápida identificación.

B) Verificar que en la estación central se hayan descargado los módulos de programación modificados y creados para integrar el sistema a la red de control central de la línea de producción.

C) Configurar todos los interruptores de presión a 60 psi, este valor es por condiciones del proceso.

D) Antes de energizar el sistema se debe asegurar que los desconectores del KCM y de la bomba de vacío estén desconectados (switched off). Después de energizar el sistema desde el tablero eléctrico general de la línea de producción, conectar los desconectores (switched on), verificar que todos los tableros estén energizados y que los circuit breakers de los tableros estén activados.

E) Verificar que la comunicación Ethernet esté previamente establecida y funcionando, para lo cual es necesario configurar previamente las direcciones IP disponibles en los controladores.

F) Revisión de I/O: Revisar cada punto I/O mediante el control de cada una de las variables y el funcionamiento del dispositivo asociado a los mismos. Estas entradas pueden ser monitorizadas en la pantalla que se encuentra en la parte delantera del SAMCE1, así como en el software instalado en la estación central de control de la

línea de producción. Para la revisión de las entradas por lo general se cambia la condición de algún dispositivo y las salidas por lo general se fuerzan para activar un dispositivo. Para el ordenamiento de la información y una buena verificación se sugiere hacer un listado de señales.

G) Verificar el alineamiento mecánico de las celdas de carga SFT's y verificar que estén trabajando correctamente. Usando el teclado del KCM ver las lecturas de peso de cada SFT y compararlas entre ellas, estas lecturas deben ser similares.

H) Configuración de calibración de las celdas de carga: Configurar el KCM en modo "Loss in weight feeder" y calibrar las celdas de carga de acuerdo al procedimiento establecido (ver Anexo C) si en el proceso de calibración se encuentra que el sentido de rotación del motor DC del BSP es incorrecto, puede cambiar la polaridad de los conductores solo desenergizando el KCM.

I) Realizar las siguientes verificaciones en la bomba de vacío

- Verificar que el arrancador del SAMCE3 se encienda.
- Verificar 440 VAC en los cables de conexión de la bomba de vacío (SAML1, SAML2 y SAML3) en el interior del SAMCE3.
- Verificar que el motor de la bomba esté girando en la dirección correcta. Para verificar esto, revisar las tolvas para asegurar que el vacío está presente o el flujo de aire está en la dirección correcta (20-24 inHG). Si esta incorrecto, apagar la bomba, desconectar la SAMCE3, desconectar y cambiar los cables

SAM-SAM-L1 y L2. Luego verificar que el motor de la bomba está girando en la dirección correcta.

5.1.1.2. Detección y solución de problemas

Los problemas más comunes que se hallaron en la etapa de verificación estuvieron relacionados con el conexionado eléctrico, básicamente se encontraron algunos sensores mal conectados y cables dañados que interferían con la calidad de las señales.

Para dar solución a estos problemas además de revisar los planos eléctricos y reemplazar los cables dañados, fue importante el etiquetado de los cables porque permitió ubicar con facilidad los cables y realizar el seguimiento respectivo en los distintos puntos de conexión.

Por otro lado, también se presentaron problemas con la presión de vacío producido por las fugas en las tuberías y se corrigieron realizando ajustes en los acoples y las abrazaderas existentes.

5.1.1.3. Procedimiento

A) Energizar el sistema desde el tablero eléctrico general de la línea de producción.

B) Abrir manualmente la válvula que permite el ingreso de aire comprimido para instrumentación.

C) Habilitar el sistema en las pantallas de control principal de la línea de producción (wonderware) y seleccionar la posición de los selectores del tablero de operación SAMOS en “Auto”; después de verificar automáticamente algunas condiciones del proceso, la bomba de vacío arrancará.

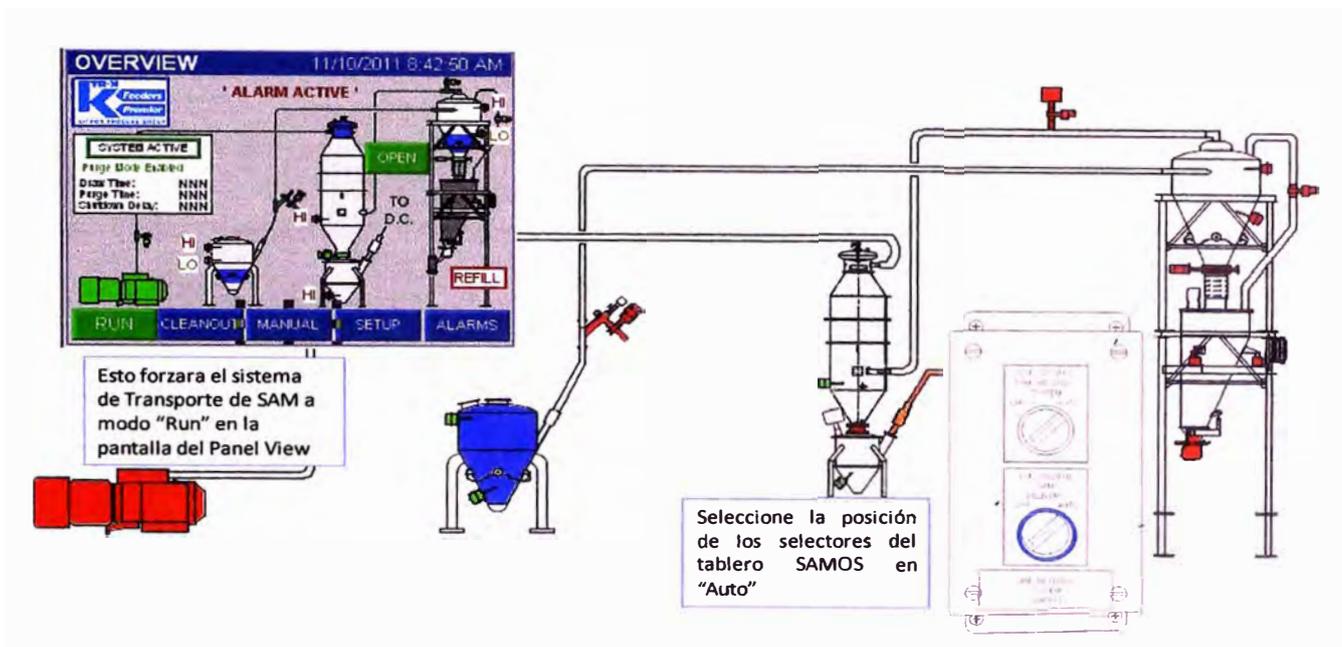


Figura 5.1 – Arranque inicial del sistema.

D) Esperar a que la máquina inicie su acomodamiento, y si el sistema informa la existencia de un error después del encendido, no se debe realizar ninguna operación en el sistema hasta solucionarlo.

E) Después de realizar la inicialización correctamente, es posible ejecutar la secuencia de calentamiento, la cual es necesaria para adaptar los componentes de la máquina a las condiciones de funcionamiento adecuado, y así evitar que se

produzcan fallas durante la operación. El sistema estará listo para operar; se adjunta la secuencia de funcionamiento en el Anexo D.

5.1.2. Apagado

Cuando se requiera apagar el sistema, es importante que se realice correctamente, no sólo para ahorrar energía, sino también para contribuir a mantener los equipos más seguros.

5.1.2.1. Procedimiento

A) Existen 3 formas para apagar el sistema:

- Cambiar la posición de los selectores del tablero de operación SAMOS a “OFF”.
- Deshabilitar el proceso en la pantalla de control principal de la línea de producción (wonderware).
- Presionar el botón de paro del sistema de transporte que se encuentra en el tablero SAMCE1 o deshabilitar desde el PanelView. La tolva de almacenamiento no realizara descargas a la tolva de alimentación si el sistema de transporte se encuentra apagado.

Si se deshabilitó el sistema desde el SAMCE1, el módulo KCM continuará trabajando, pero si se deshabilito desde wonderware o utilizando los selectores del tablero de operación SAMOS, el Modulo de KCM se detendrá.

B) Si no se encuentran ya abiertas las válvulas de alivio de la bomba de vacío y de la tolva de almacenamiento, éstas se abrirán automáticamente para detener el transporte de SAP, luego la bomba de vacío se apagará. Después de 10s, se cerrarán las válvulas de alivio.

C) Finalmente, realizar una recorrida de inspección alrededor de la máquina, para asegurar que el sistema está completamente apagado.

5.2. Producción de la línea instalada

La Tabla 5.1 obtenida de los datos históricos del sistema muestra la producción total de la línea, durante 12 semanas con una operatividad de 24 hrs / día, después de la instalación del sistema.

Tabla 5.1 – Producción real de la línea

Semana	Producción Ideal	Producción	Diferencia	Error %
Semana 1	8064000	8043840	20160	0.3%
Semana 2	8064000	8053920	10080	0.1%
Semana 3	8064000	8043840	20160	0.3%
Semana 4	8064000	8043840	20160	0.3%
Semana 5	8064000	8064000	0	0.0%
Semana 6	8064000	8074080	-10080	0.1%
Semana 7	8064000	8074080	-10080	0.1%
Semana 8	8064000	8074080	-10080	0.1%
Semana 9	8064000	8043840	20160	0.3%
Semana 10	8064000	8043840	20160	0.3%
Semana 11	8064000	8074080	-10080	0.1%
Semana 12	8064000	8043840	20160	0.3%

De los datos de la Tabla 5.1 se obtienen los gráficos de producción semanal y del error de producción, y se deduce que la línea tiene una eficiencia del 99.8%, con

lo cual se demuestra que la implementación del nuevo sistema cumple con los objetivos esperados con un error máximo de ± 2 und/min.

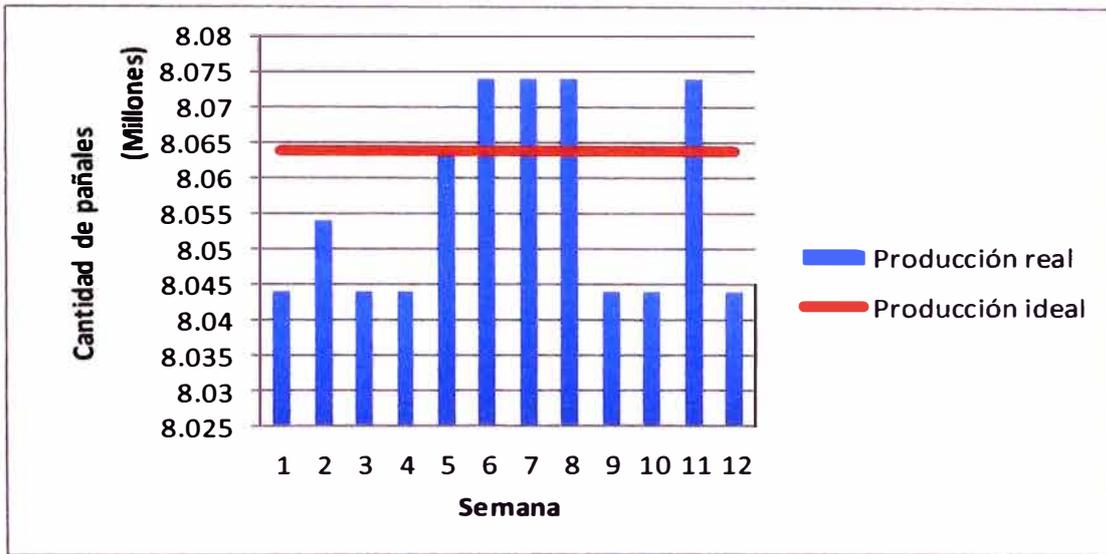


Figura 5.2 – Producción semanal

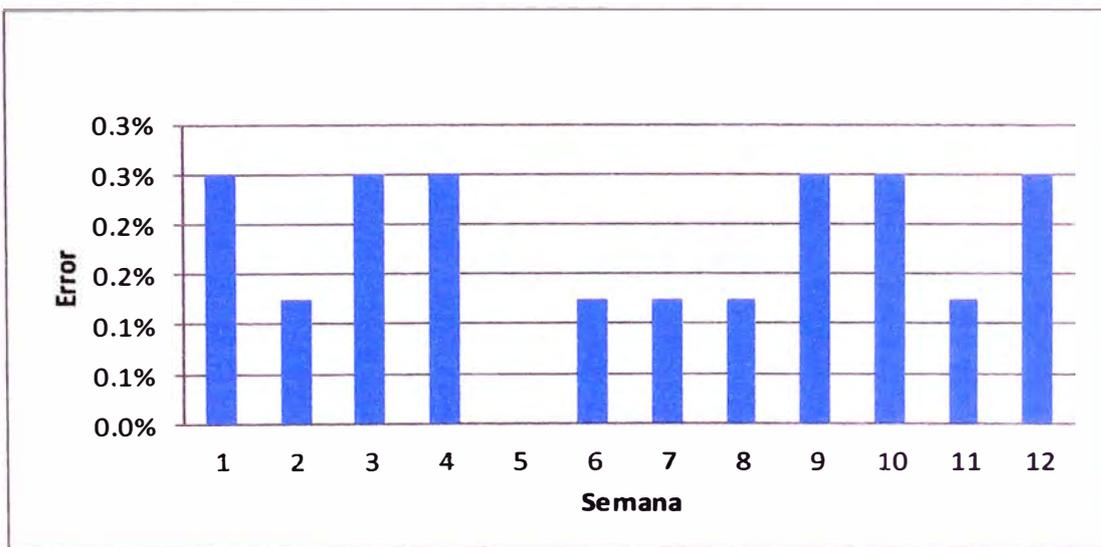


Figura 5.3 – Error de producción

CAPITULO VI

COSTOS DE INSTALACIÓN Y GANANCIAS

En este capitulo se dará una descripción general de la inversión realizada para implementar un sistema automático de transporte y dosificación de SAP.

6.1. Costos de instalación

6.1.1. Costos directos

Los costos directos son aquellos que intervienen de forma directa en la implementación del sistema. Estos costos están constituidos por los materiales, equipos y mano de obra directa, así como el costo de la programación.

Tabla 6.1 - Costos de materiales y equipos

Item	Cant.	Descripción	Unidades	Costo(USD)
1	1	Tolva de descarga de SAM	Und.	-
2	1	Tolva de almacenamiento de SAM	Und.	-
3	1	Tolva de alimentación de SAM	Und.	-
4	1	Filtro en línea	Und.	-
5	1	Tolva de colección de polvos finos	Und.	-
6	1	Bomba de vacio	Und.	-
7	1	Módulo de control KCM (SAMCE2)	Und.	-
8	1	Tablero de control principal del Sistema (SAMCE1)	Und.	-
9	1	Tablero de control de la bomba de vacio (SAMCE3)	Und.	-
10	1	Estación de operación del SAM (SAMOS1)	Und.	-
11	2	Válvulas mariposa Bv-3-A-Vss	Und.	-
12	1	Válvulas mariposa Bv-2-A-Vss	Und.	-
13	1	Tubería de acero 2.5" y accesorios	Tramo	-
			Envío	1250
			Sub-total	144088

Tabla 6.2 - Costos de mano de obra directa

Detalle	Tiempo empleado (hr)	No de personas	Costo normal (USD/hr)	Costo total (USD)
Contratista Mecánico	30	6	7	1260
Contratista Electrónico	30	6	7	1260
Programador	20	1	50	400
			Sub-total	2920

6.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos que no intervienen de forma directa en la implementación del sistema. Estos costos se derivan de los materiales indirectos, mano de obra indirecta y otros costos producto del pago de servicios básicos, personal administrativo, depreciación de los equipos, entre otros.

Tabla 6.3 – Costos de mano de obra indirecta

Detalle	Tiempo empleado (hr)	No de personas	Costo normal (USD/hr)	Costo total (USD)
Ingeniería	24	1	24	576
Dibujo de planos	16	1	18	288
Supervisión	24	1	50	1200
			Sub-total	2064

6.1.3. Costo total

Se determina por la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 6.4 – Costo total

Rubro	Costo (USD)
Costos de materiales y equipos	144088
Costos de mano de obra directa	2920
Costos de mano de obra indirecta	2064
Costo total	149072

6.2. Ganancias generadas según datos de producción

A continuación la ganancia generada con la implementación de este nuevo sistema de transporte y dosificación; se considera una producción de 800 und/min, un mes de 28 días útiles con 2 días de mantenimiento, una operatividad de 24 hr/ día, y los precios de costo y venta proporcionados por el área de producción, ver la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 – Ganancias generadas

Descripción	USD
Precio de costo x 1000 und	75.00
Precio de venta x 1000 und	113.00
Ganancia por pañal	0.04
Ganancia por min	30.40
Ganancia diaria	43,776.00

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. El sistema instalado cumplió con las expectativas iniciales del proyecto, se logró abastecer de SAP a la línea para producir 800 unds./min, con lo cual se demuestra que los equipos fueron seleccionados, instalados y configurados correctamente en la puesta en marcha.

2. La recopilación de información para el desarrollo del trabajo fue indispensable, es muy importante contar con manuales (manual de transporte neumático y dosificación) y con documentación que detalle experiencias con sistemas instalados similares que estén operando correctamente en diferentes puntos del mundo.

3. El transporte neumático seleccionado en este trabajo resultó como el más económico debido a las condiciones, capacidades de producción y limitantes de espacio; se debe destacar que esta selección no debe tomarse necesariamente como una regla general para posteriores aplicaciones, sino como una referencia.

4. Para la selección de los equipos es muy importante definir bien el caudal de producto a transportar, ya que de este parámetro depende el cálculo de las dimensiones de los equipos (tolvas, ductos, bomba, etc.), evitando de esta manera un sobredimensionamiento que incrementaría los costos.

7.2. Recomendaciones para trabajos futuros

1. La instalación de la maquinaria y equipos del sistema, debe realizarse de acuerdo a la documentación y recomendaciones proporcionadas por los fabricantes y contando con los recursos y el personal necesario para que los trabajos se ejecuten exitosamente.

2. Planificar y coordinar todos los trabajos necesarios para la implementación del sistema con los supervisores de planta, con la finalidad de anticiparse a los problemas y tener un plan de contingencia en caso ocurran. Durante un proyecto de ingeniería es imprescindible reducir y de ser posible eliminar todas las pérdidas y tiempos muertos.

3. Si se cuenta con una base a datos disponible de aplicaciones similares y existentes en la planta, se recomienda dimensionar el sistema de transporte neumático utilizando esos datos, ya que para la mayoría de las empresas de manufactura realizar las pruebas de laboratorio para obtener los datos de transporte de un material a transportar sería un lujo innecesario y costoso.

BIBLIOGRAFÍA

Textos y Manuales

1. Pneumatic conveying design guide
2. MARTIN RHODES (2008) Introduction to Particle Technology, 2nd Edition.
3. Manual para ingenieros sobre el diseño de sistemas de pesaje (Mettler Toledo).
4. ANTONIO CREUS (2011) Instrumentación industrial, 8 edición.

Páginas Web

5. <http://www.ktron.es/process-equipment/feeders/feeder-selection.cfm>
6. <http://www.ktron.es/process-equipment/pneumatic-conveying/pneumatic-components-for-vacuum-and-pressure-conveying-applications.cfm>

ANEXOS

ANEXO A

CONCEPTOS BASICOS DE SELECCIÓN DE UN CALIBRE DE CONDUCTOR

La selección del calibre del conductor es parte importante de los sistemas eléctricos, ya que de ello depende la transmisión de la energía eléctrica en forma eficiente y segura.

El cálculo del calibre del conductor depende del tipo de instalación (Conduit, charola, ducto subterráneo, etc.), del acomodo (trébol, plano, etc.), de la temperatura de operación del conductor, del número de conductores, de la longitud del circuito, etc. Debido a que todos estos elementos influyen en la capacidad de conducción de corriente de los cables, se debe hacer un estudio completo de ingeniería para cada sistema eléctrico diseñado.

A continuación se indica cómo calcular la capacidad de conducción de corriente para conductores eléctricos:

1. Elegir el tipo de producto requerido en función de su aplicación.
2. Determinar la corriente nominal de la carga, utilizando las fórmulas indicadas enseguida, de acuerdo con el tipo de sistema eléctrico (de corriente continua, de corriente alterna monofásico o de corriente alterna trifásico) y del tipo de carga (motores, alumbrado u otras cargas).

Unidades de la potencia activa	Sistema de c.c.	Sistema de c.a. monofásico	Sistema de c.a. trifásico
$CP (HP)$	$\frac{HP \times 746}{V \times \eta}$	$\frac{HP \times 746}{V \times \eta \times FP}$	$\frac{HP \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times FP}$
kW	$\frac{kW \times 1000}{V}$	$\frac{kW \times 1000}{V \times FP}$	$\frac{kW \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times FP}$

CP (HP) = caballos de fuerza o potencia del motor indicado en la placa de datos

kW = Potencia en kilowatt = 1000 W

V = tensión nominal del sistema, en V

η = eficiencia del motor (normalmente se considera 0,8)

FP = factor de potencia de la instalación (debe ser 0,9 como mínimo)

$I_d = 1.25 \times I_n$

3. Seleccionar el calibre del conductor de acuerdo con su capacidad de conducción de corriente del cable, que depende del tipo de aislamiento, de la temperatura de operación y del método de instalación, utilizando las tablas del fabricante que usted elija.

4. Calcular la caída de tensión de la instalación. Para ello es importante que conozca la longitud de instalación y tome en consideración la corriente que demanda su carga, según el tipo de sistema, tenemos las siguientes fórmulas:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_d \times \rho \times \cos \varphi \times L/S$$

ρ : Coeficiente de resistividad del cobre = 0.017535 (ohm*mm²/m)

$\cos \varphi$: Factor de potencia 0.85

L: Longitud en metros

S: Sección del conductor en mm²

La caída de tensión aceptable debe ser menor: $\Delta V < 3.5\% V_n = 7.7v$

Si para el conductor seleccionado obtenemos una caída de tensión menor a la caída de tensión límite, por lo tanto el conductor seleccionado será el correcto.

ANEXO B

CATEGORIAS DE CABLES ETHERNET

Categoría	Ancho de Banda (MHz)	Aplicaciones	Notas
Categoría 1	0.4	Líneas telefónicas y módem de banda ancha.	No descrito en las recomendaciones del EIA/TIA. No es adecuado para sistemas modernos.
Categoría 2	0.7	Cable para conexión de antiguos terminales como el IBM 3270.	No descrito en las recomendaciones del EIA/TIA. No es adecuado para sistemas modernos.
Categoría 3	10MHz	10BASE-T and 100BASE-T4 Ethernet	Descrito en la norma EIA/TIA-568. No es adecuado para transmisión de datos mayor a 10 Mbit/s.
Categoría 4	20MHz	10 Mbit/s Token Ring	
Categoría 5	100MHz	100BASE-TX y 1000BASE-T Ethernet	
Categoría 5e	100MHz	100BASE-TX y 1000BASE-T Ethernet	Mejora del cable de Categoría 5. En la práctica es como la categoría anterior pero con mejores normas de prueba. Es adecuado para Gigabit Ethernet
Categoría 6	250MHz	1000BASE-T Ethernet	Cable más comúnmente instalado en Finlandia según la norma SFS-EN 50173-1.
Categoría 6e	250MHz (500MHz según otras fuentes)	10GBASE-T Ethernet (en desarrollo)	No es estandarizado. Lleva el sello del fabricante.
Categoría 7	600MHz	En desarrollo. Aún sin aplicaciones.	Cable U/FTP (sin blindaje) de 4 pares.
Categoría 7a	1200MHz	Para servicios de telefonía, Televisión por cable y Ethernet 1000BASE-T en el mismo cable.	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 4 pares. Norma en desarrollo.
Categoría 8	1200MHz	Norma en desarrollo. Aún sin aplicaciones	Cable S/FTP (pares blindados, cable blindado trenzado) de 4 pares.

ANEXO C

SAM System-Feed Rate Calibration Procedure

SAM System-Feed Rate Calibration Procedure

Action:

1. Lockout the SAM system disconnect
2. Remove SAM transition to hammermill. Note: Mark position of chute prior to removal
3. Remove Feeder Hopper transition
4. Remove lock from SAM system disconnect
5. Place weighted box under transition area to catch SAM
6. Disconnect Ethernet cable from KCM
7. Open the <Calibration> menu on the KCM controller
8. Set the <Calib Time> for enough product (60 sec)
9. Set the minimum <Cal DC> to 10% for enough product
10. Set the <Cal Correl Lim> to 90%
11. Record the display as noted

Test:

1. Perform <Auto FF Calib> Product change/Auto FF Calib(>enter >run)
2. Press “New SP” and enter a new set point 3500g/min
3. Press “Run” Collect SAM in first box until system is steady
4. Change out box and collect 1 minute sample. Note: 5 consecutive samples will need to be collected. So be ready to change out boxes quickly.
5. Shut down the SAM system. Press red “Stop” button
6. Weigh the 5 samples of SAM and average the 5 samples
7. Calculate:
$$\text{New Span} = \frac{\text{Average of 5 samples}}{\text{(Expected samples)}} \times \text{Old Span (refer to Action step 11)}$$
8. The acceptable tolerance is .95 – 1.05. If span is out of this range, look for mechanical/flexible connections/foreign object/lastly electrical components (load cells)
9. Enter the new span. Verify that span correction has calibrated the feeds by taking 5 more collection samples at the same set point and time interval (60 sec)
10. Have engineer enter manual scale span into the computer program under SAM/main/program/SAM initialization

Next Step:

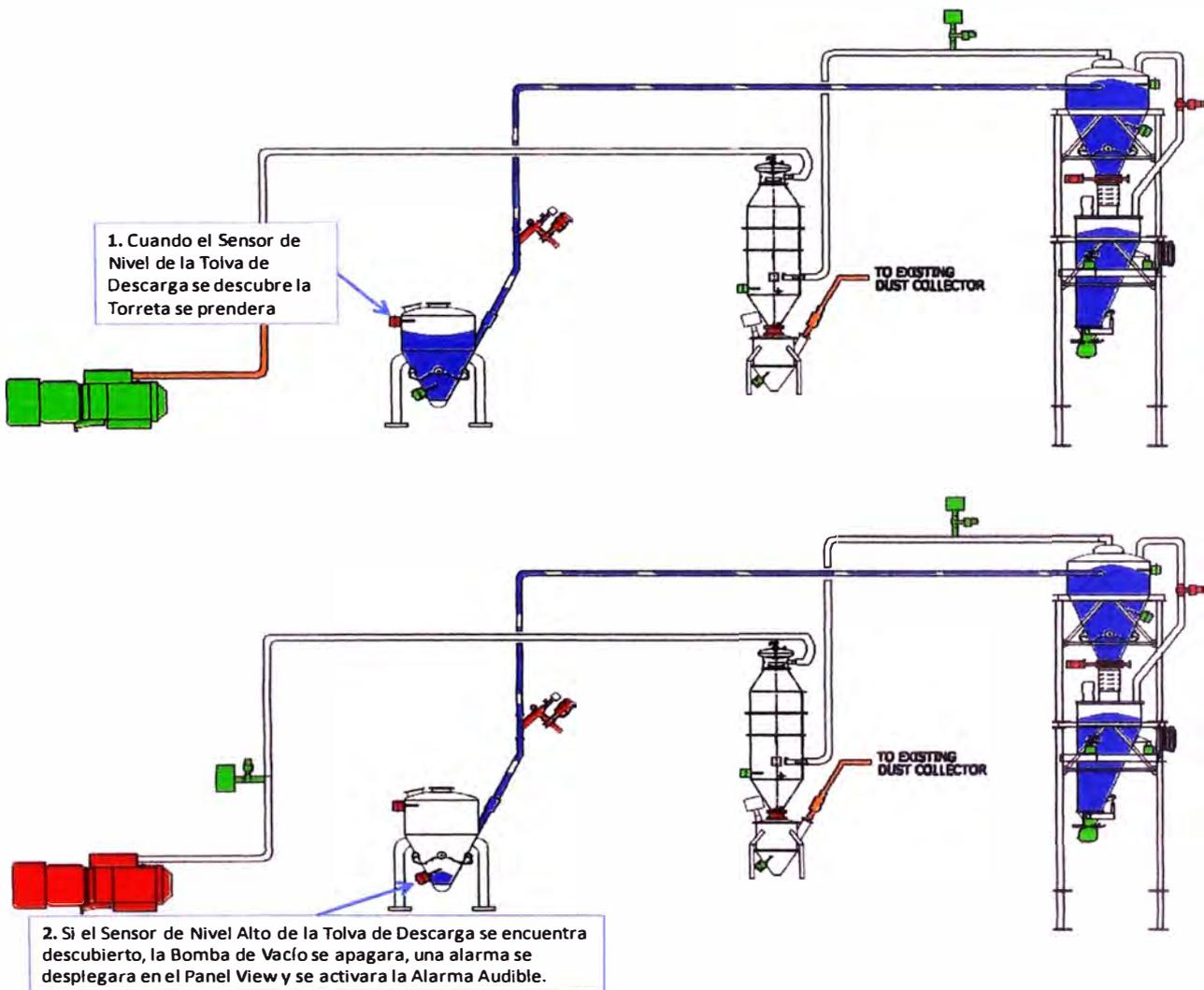
1. Reinstall Hammermill transition
2. Reinstall Feeder Hopper transition
3. Reconnect Ethernet cable to KCM

ANEXO D

SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

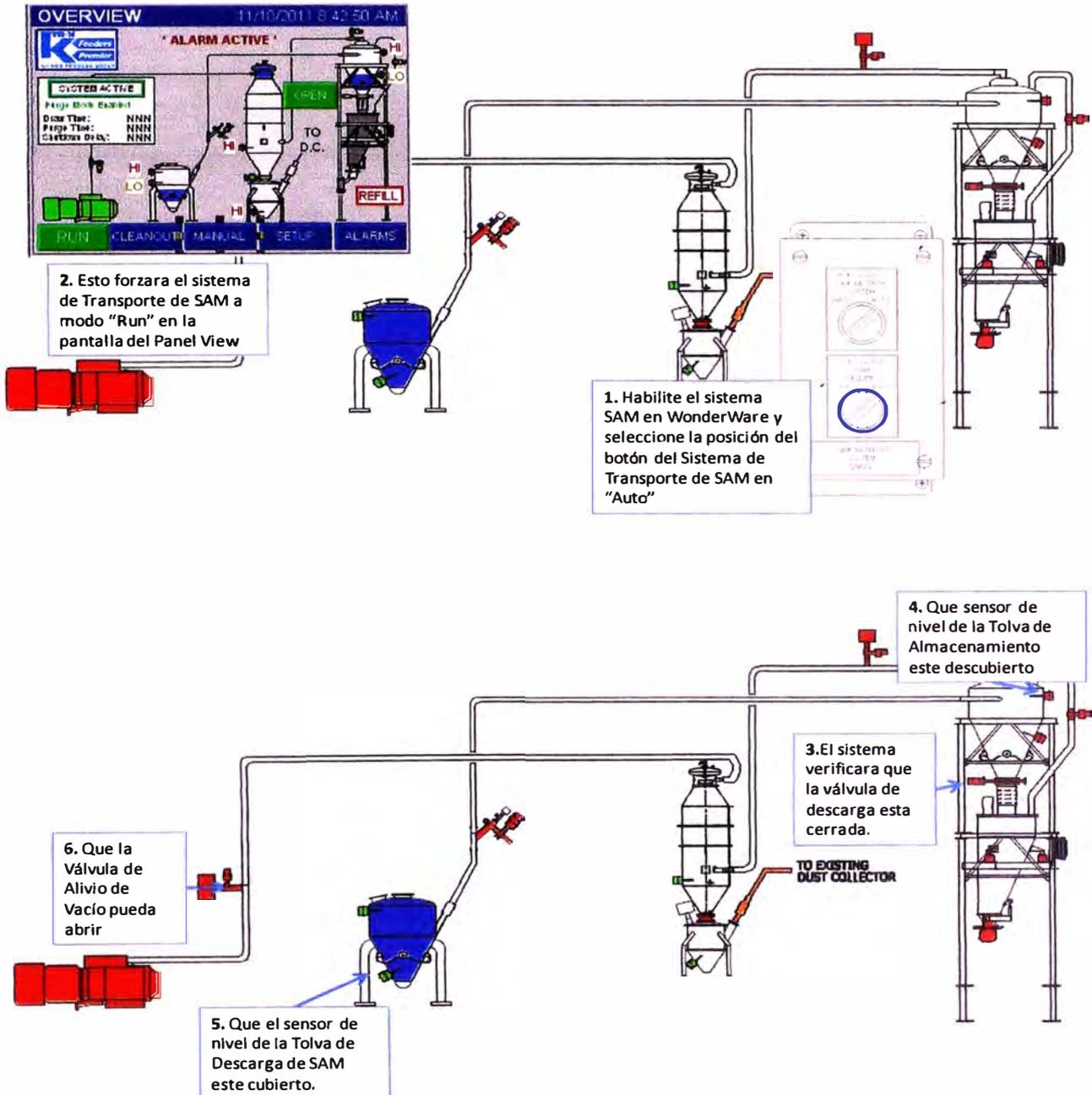
Alimentación de SAP a la tolva de descarga

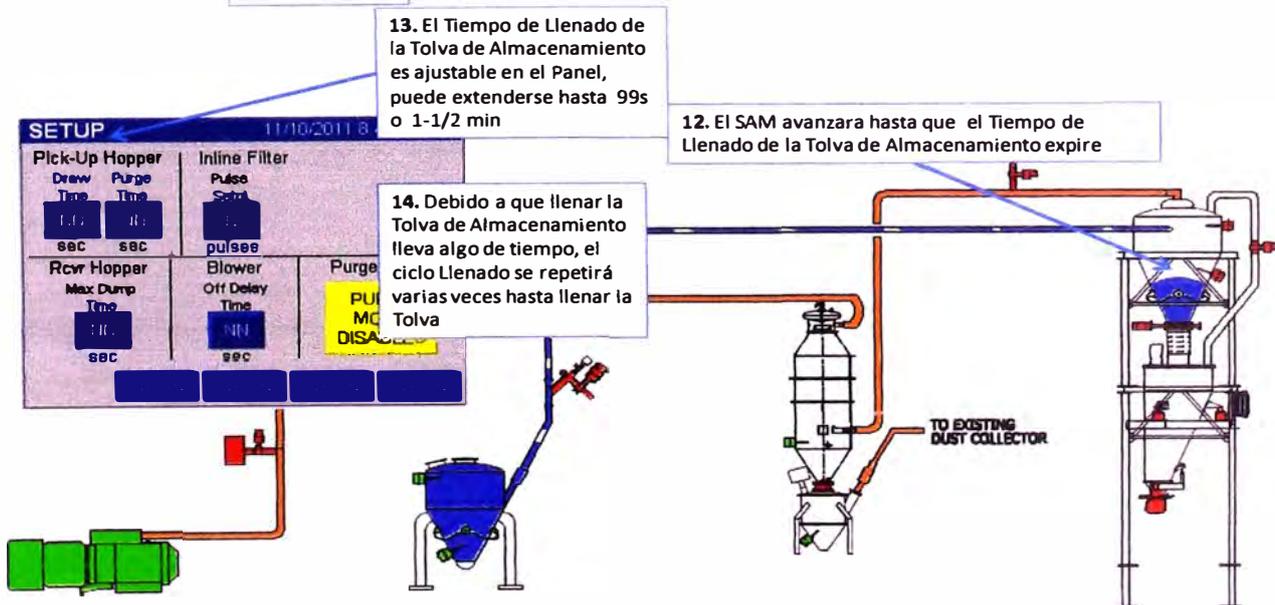
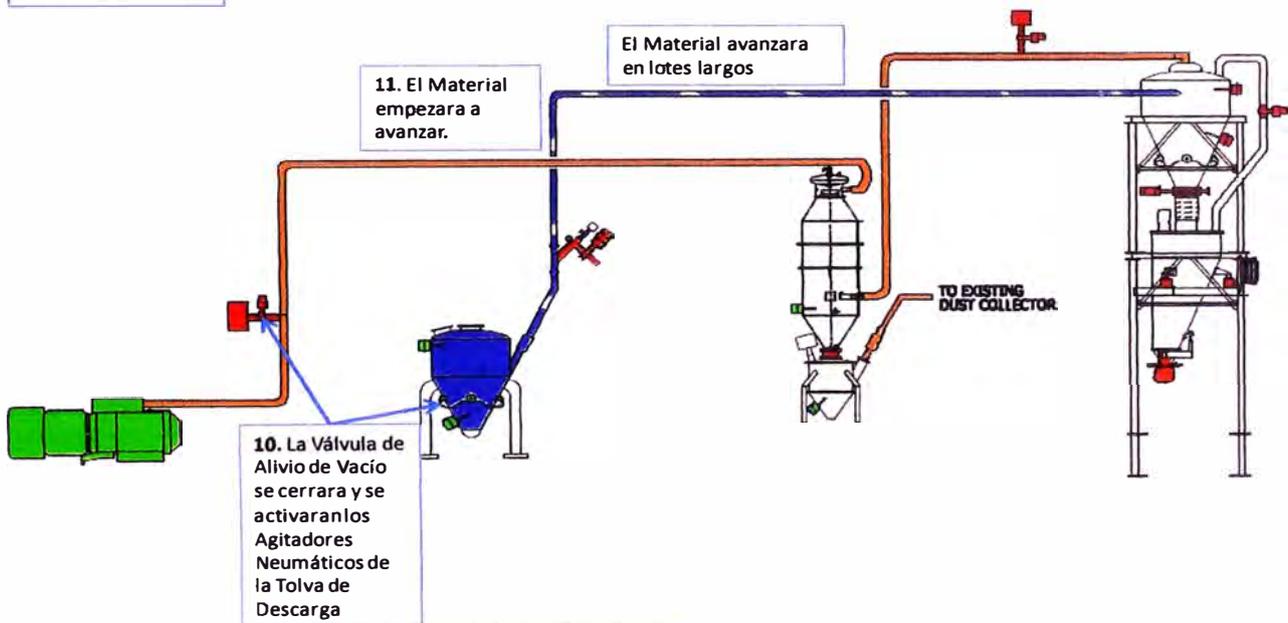
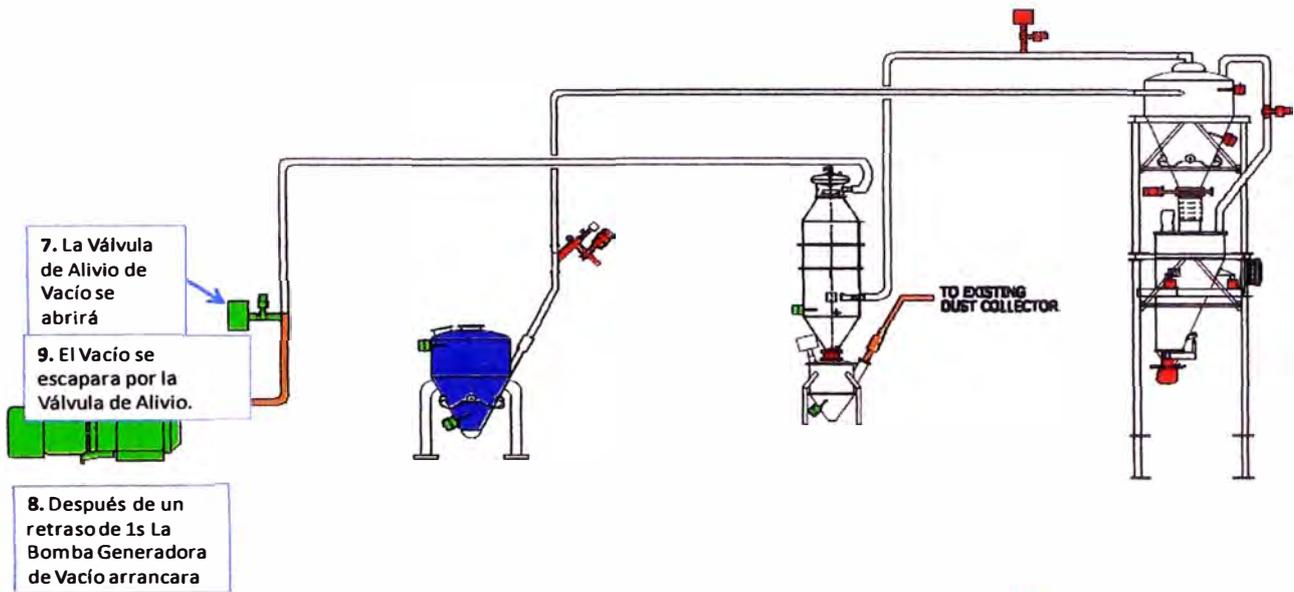
El procedimiento para cambiar los sacos de SAP es manual, los sacos se izan a través de una grúa y se colocan en el soporte superior de la tolva de descarga, luego se abre la boca inferior del saco para que el material empiece a fluir en el sistema.

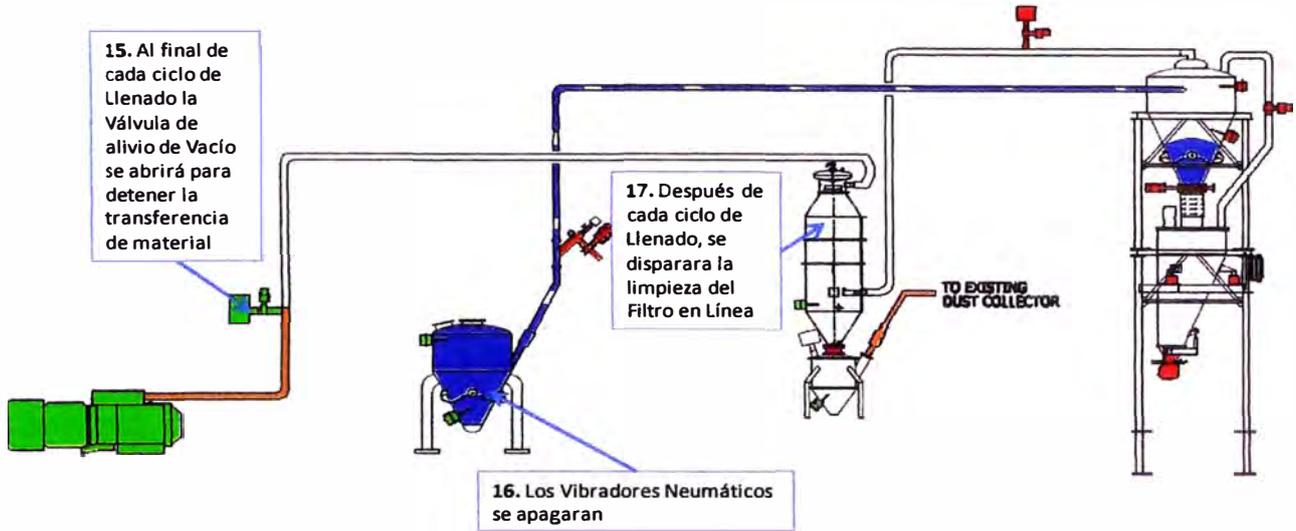


Arranque

A continuación se muestra gráficamente el procedimiento de arranque del sistema:





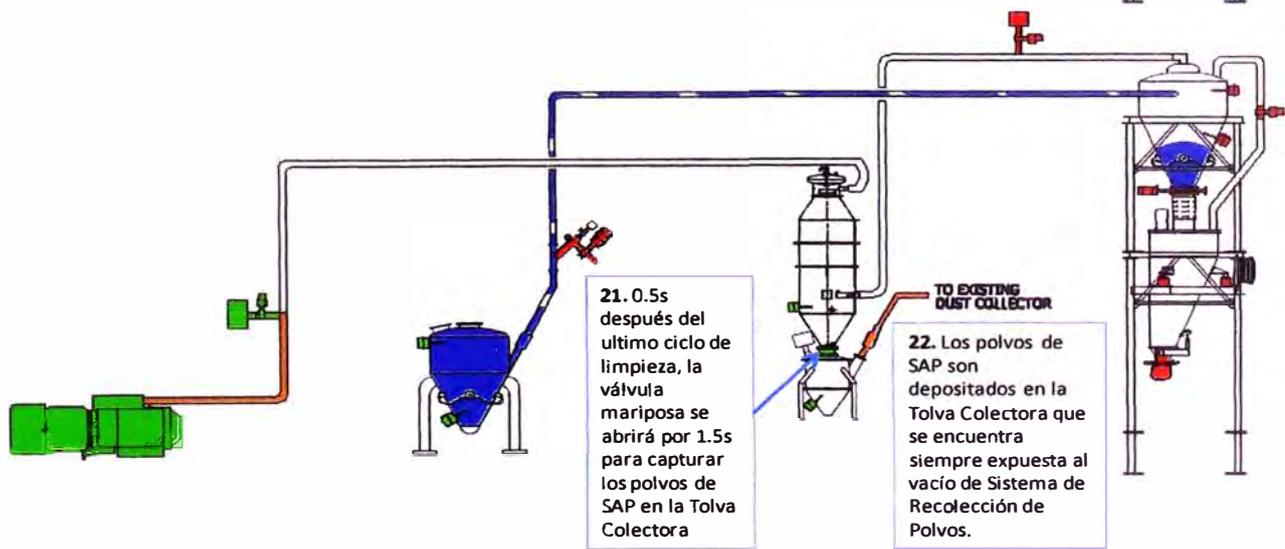
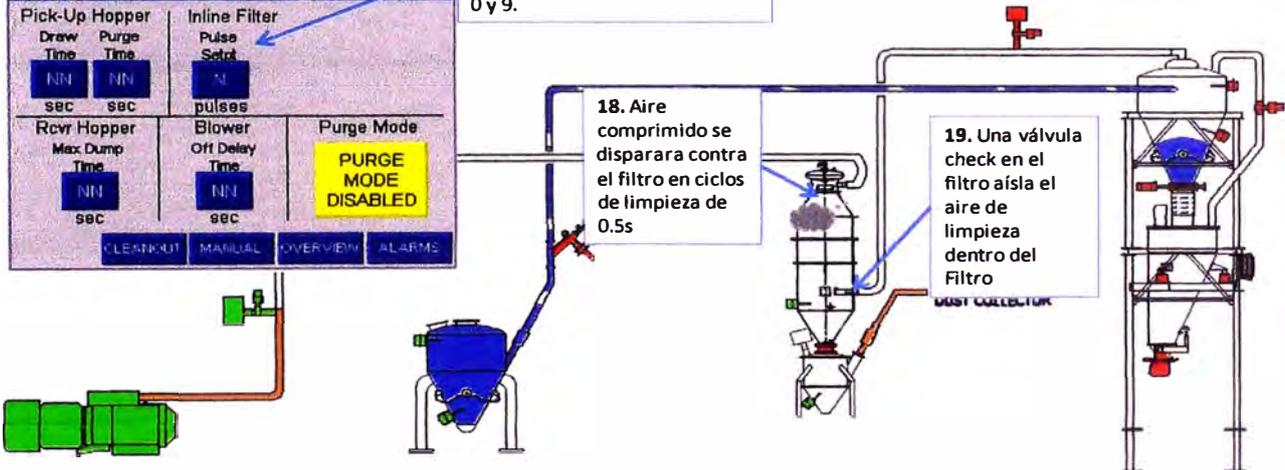


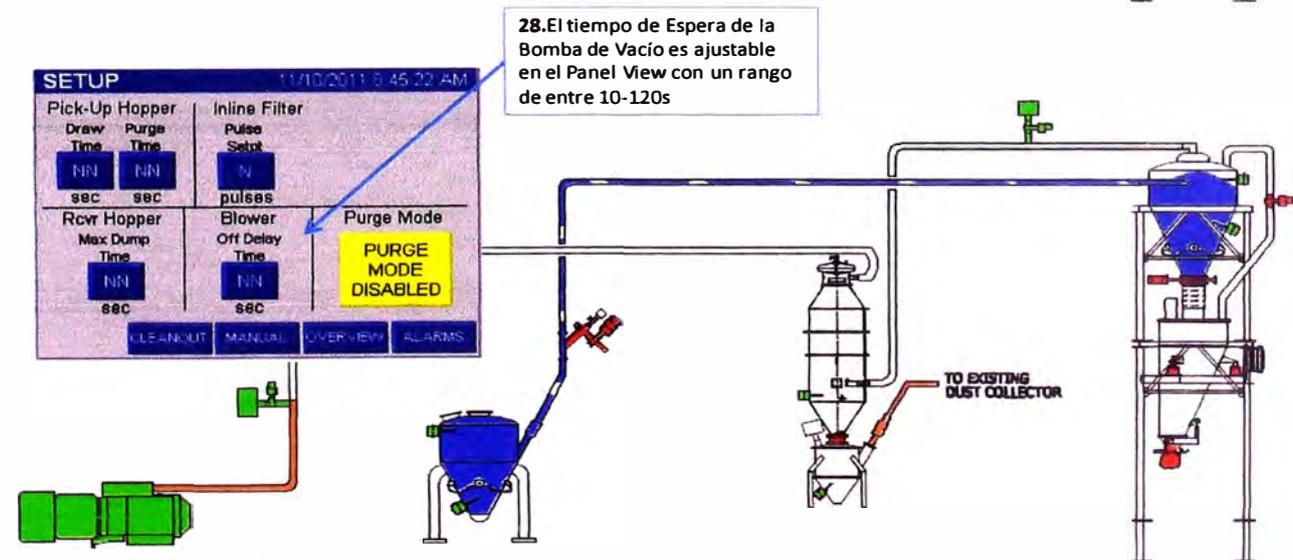
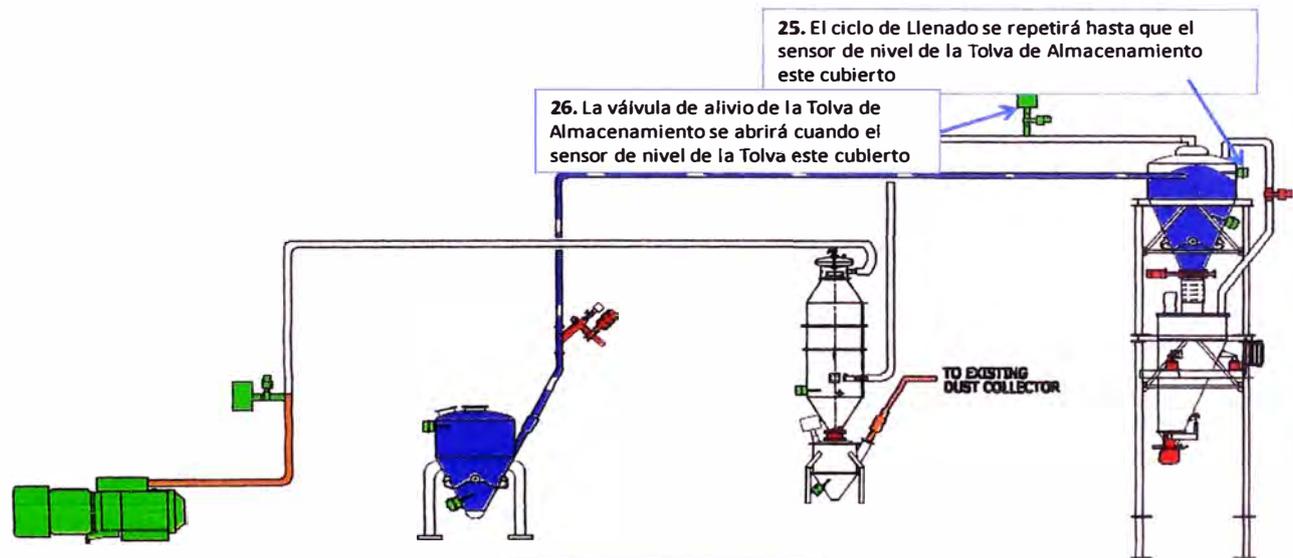
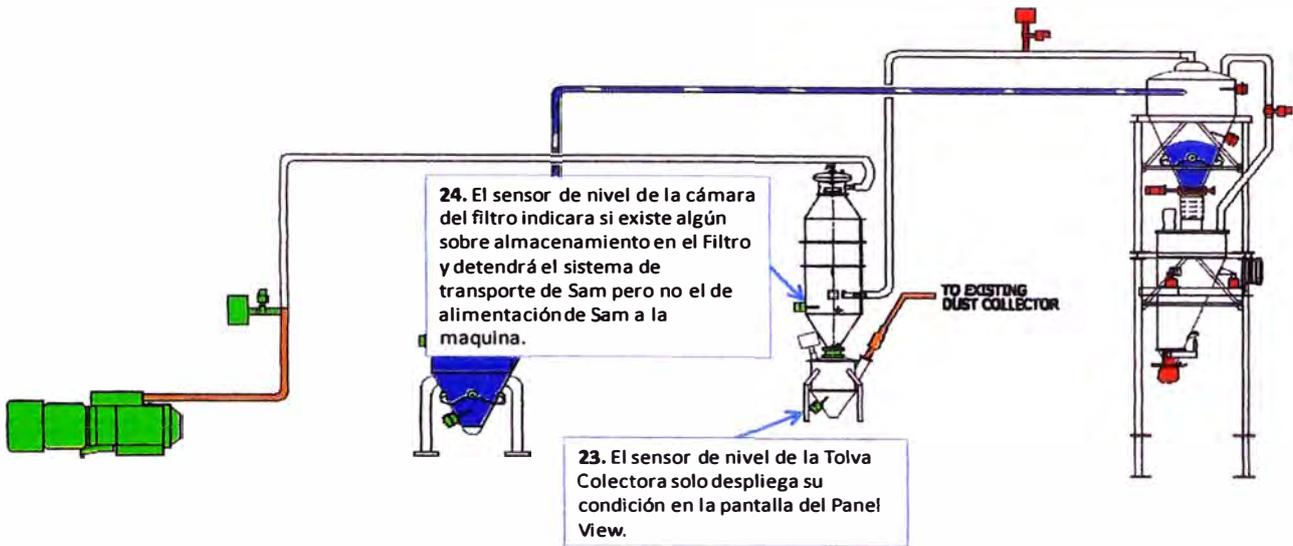
11/10/2011 8:45:22 AM

Pick-Up Hopper		Inline Filter	
Draw Time	Purge Time	Pulse Setpt	
NN sec	NN sec	N pulses	
Rcvr Hopper		Blower	
Max. Dump Time	Off Delay Time	Purge Mode	
NN sec	NN sec	PURGE MODE DISABLED	

CLEANOUT MANUAL OVERVIEW ALARMS

20. El numero de ciclos de limpieza del filtro se puede ajustar en el Panel View entre 0 y 9.



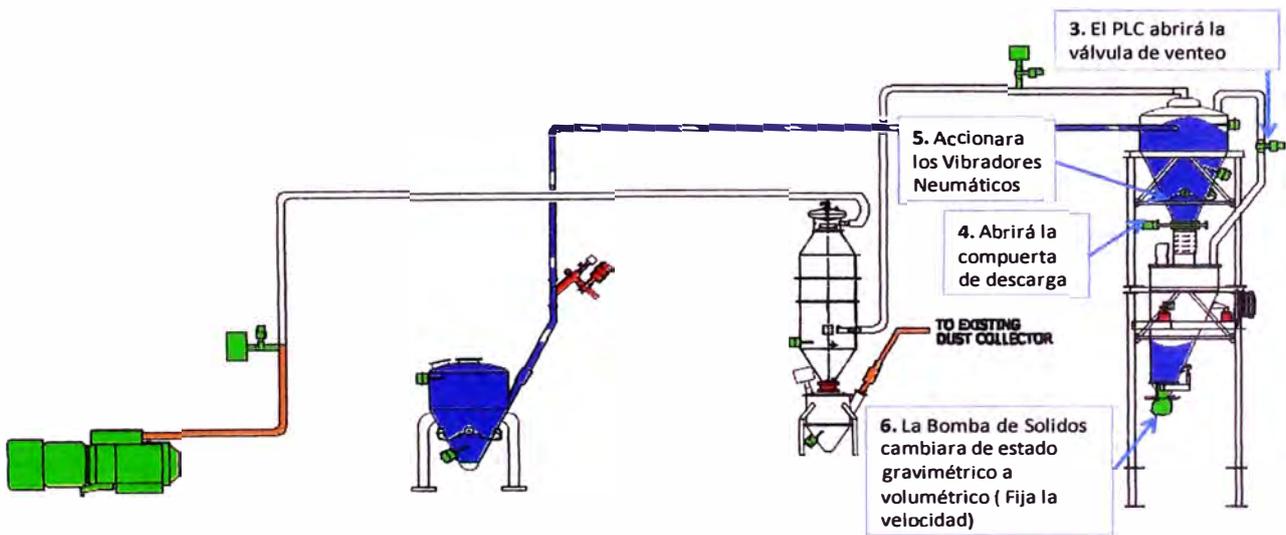
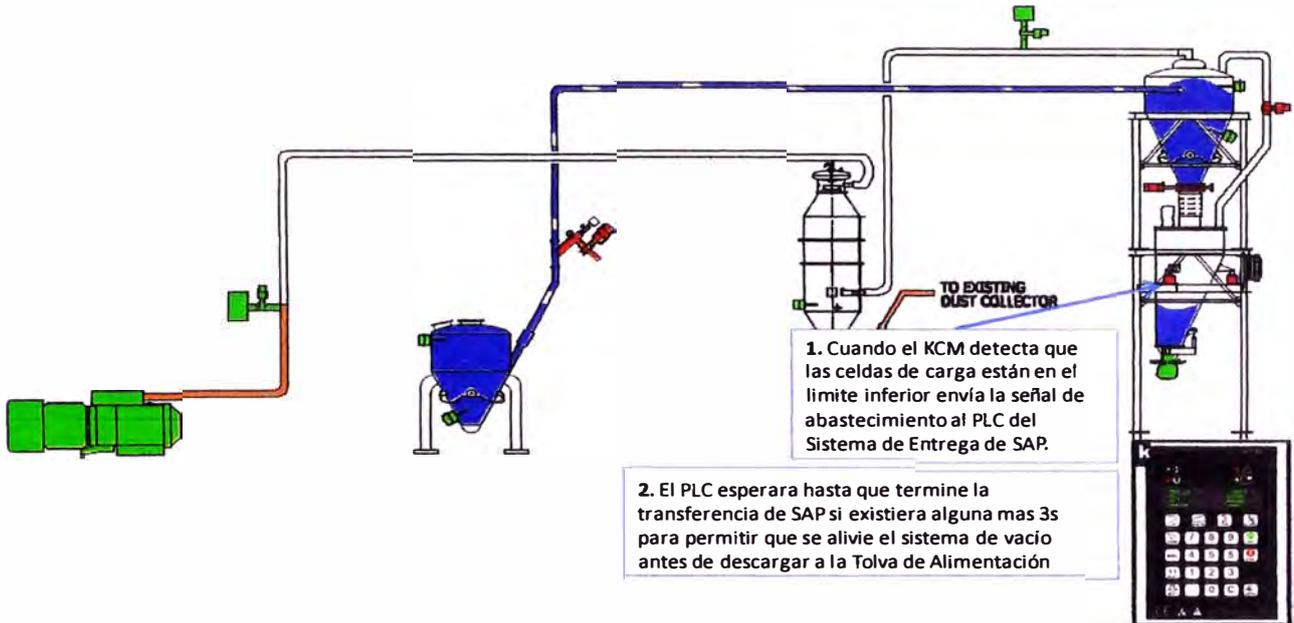


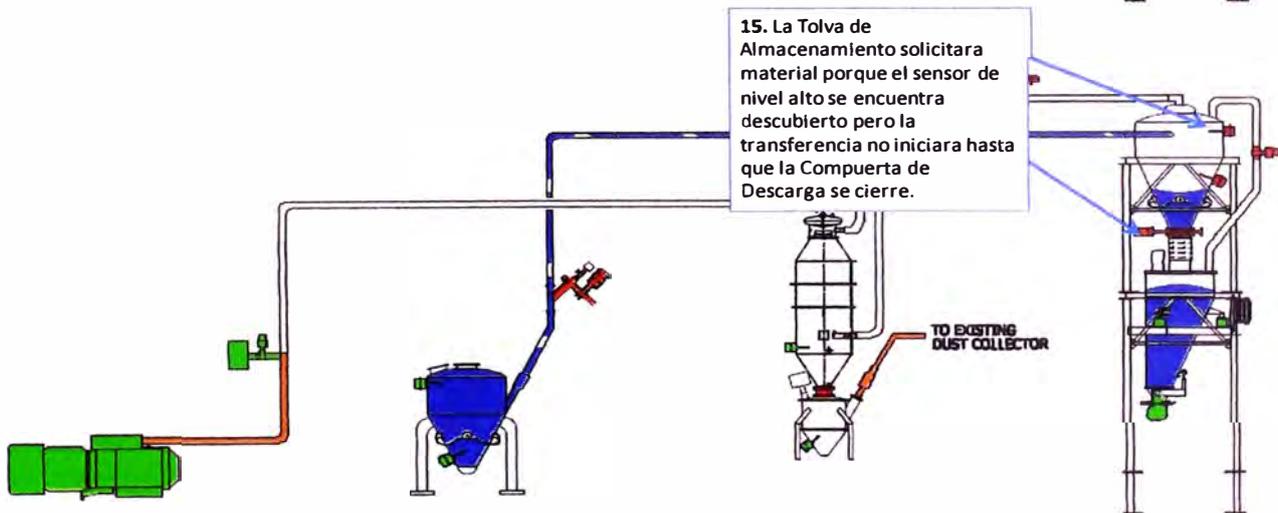
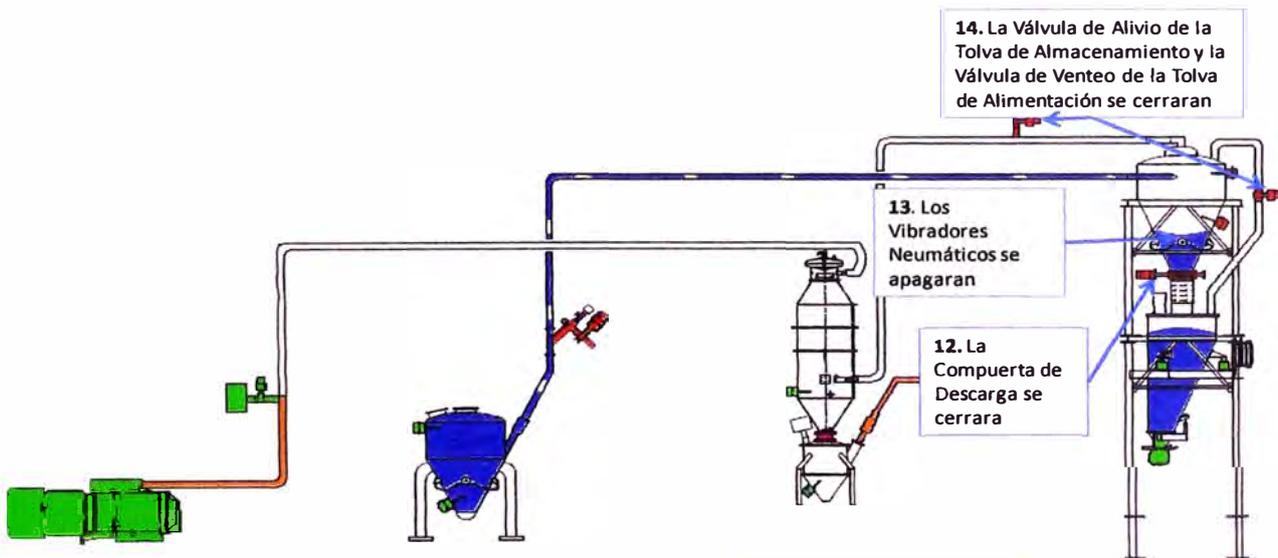
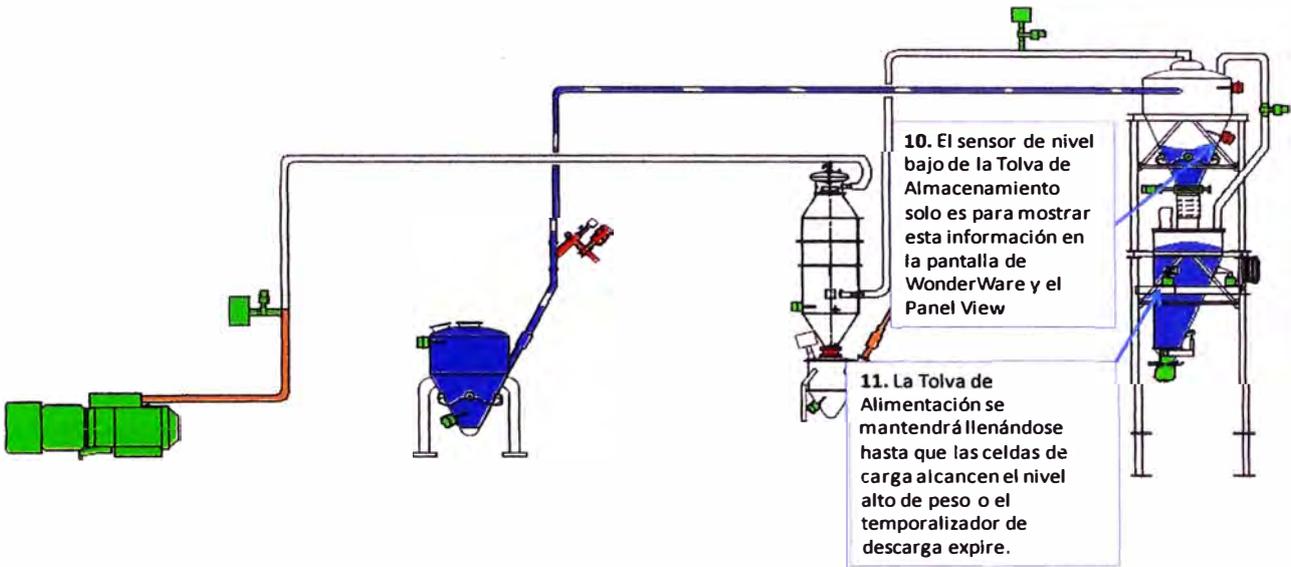
27. Si el Tiempo de Espera de la Bomba de Vacío expira entre transferencias de SAP la Bomba se apagará.

Pick-Up Hopper		Inline Filter	
Draw Time	Purge Time	Pulse	Setpt
NN	NN	N	
sec	sec	pulses	
Rcvr Hopper		Blower	
Max Dump Time	Blower Off Delay Time	Purge Mode	
NN	NN	PURGE MODE DISABLED	
sec	sec		
<input type="button" value="CLEANOUT"/> <input type="button" value="MANUAL"/> <input type="button" value="OVER VIEW"/> <input type="button" value="ALARMS"/>			

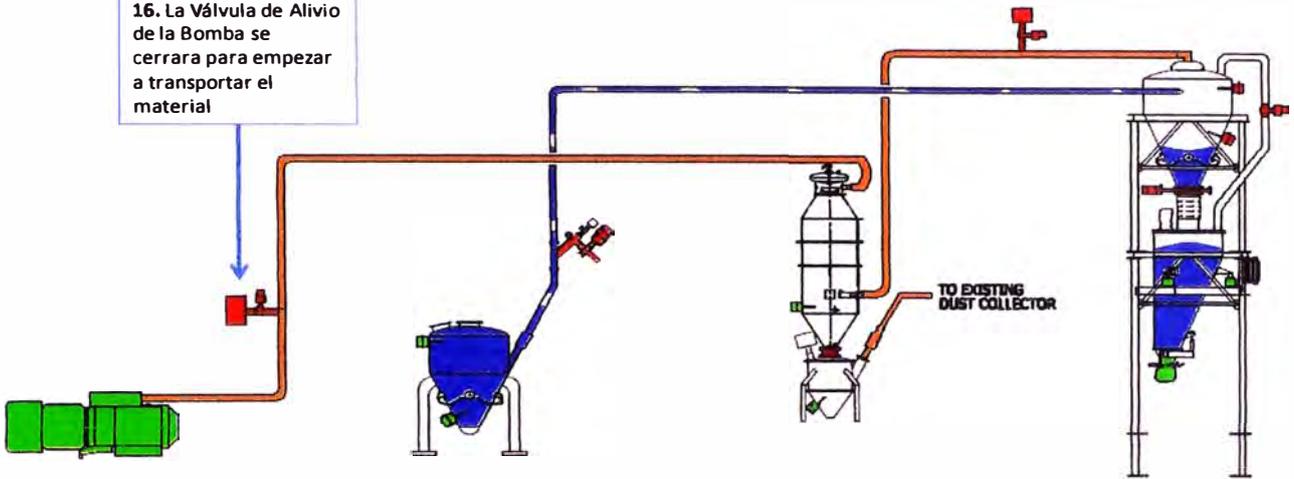
Descarga de SAP a la tolva alimentadora

A continuación se muestra gráficamente el procedimiento de descarga de SAP a la tolva alimentadora:

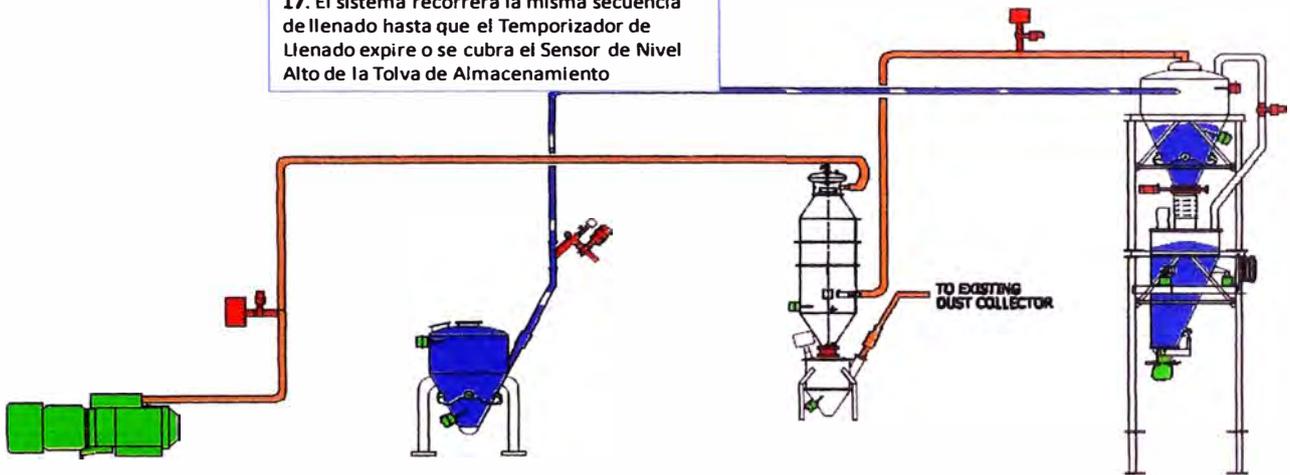




16. La Válvula de Alivio de la Bomba se cerrara para empezar a transportar el material



17. El sistema recorrerá la misma secuencia de llenado hasta que el Temporizador de Llenado expire o se cubra el Sensor de Nivel Alto de la Tolva de Almacenamiento



18. El Filtro en Línea recorrerá su ciclo de limpieza después de cada ciclo de llenado.

