

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO
PARA MANEJAR PET A GRANEL EN UNA PLANTA REFRESQUERA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

MARTIN ORDUÑA AGUILAR

MEXICO D.F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCION

1. ANTECEDENTES

1.1 ¿Qué es un Transporte Neumático?

1.2 Ventajas y desventajas

1.3 Tipos de Transportes Neumáticos

1.4 Fundamentos teóricos

1.5 Industria del plástico

2. SELECCION DEL SISTEMA

2.1 Componentes de un sistema de Transporte Neumático

2.2 Uso de hojas de datos

2.3 Cálculo del sistema

3. SISTEMA PROPUESTO

4. CONCLUSIONES

5. BIBLIOGRAFÍA

APENDICE

RESUMEN

En este trabajo se presenta una forma para el manejo a granel de la materia prima en la industria de la transformación de artículos de plástico y de sólidos secos en general, denominada transporte neumático.

A pesar de ser ampliamente usado por compañías medianas y grandes, el desconocimiento de su operación y de su función es significativo, por lo que se hace mención de los equipos de uso común en este tipo de transporte (capítulo 1).

En el capítulo 1 también se presentan fundamentos teóricos del transporte neumático, así como información en general de los plásticos y en particular del PET (polietileno tereftalato) y polietileno, materiales usados para el desarrollo de esta tesis.

En el capítulo 2 se muestra un método de cálculo para esta clase de sistemas, el cual se basó en la metodología especializada de catálogos y boletines técnicos de distintos fabricantes de equipo original, a fin de fundamentar el sistema propuesto (capítulo 3).

Se incluye un capítulo dedicado a las conclusiones y otro a la bibliografía de este método de transportación.

En el apéndice se muestran algunos datos técnicos de importancia para este tema, los cuales en general no forman parte de libros de consulta, pero sí son usados en la selección de este tipo de sistemas.

INTRODUCCION

Cuando en una compañía transformadora surge la necesidad de utilizar cantidades importantes de materiales secos a granel, ya sea en polvo, granulares o en forma de pellets, una de las primeras opciones para este proceso de manejo es el transporte neumático. A pesar de que en México este tipo de transporte tiene bastantes años de utilizarse (alrededor de treinta) y actualmente ninguna compañía que maneje materiales secos a granel lo evitaría como parte de su proceso (como las industrias cementera, química, de alimentos, vidriera, de plásticos, de granos, del petróleo, automotriz, de conductores, etc.), la información a este respecto es sumamente escasa, inclusive en las mismas compañías que lo usan. A pesar de que en países muy industrializados, como E.U.A., Canadá, Alemania, Inglaterra, Italia y Japón, así como en algunos otros de mediano desarrollo como España, Holanda, Sudáfrica, Corea e India se pueden encontrar fabricantes de equipo original, así como libros y revistas sobre el tema, además de cursos de especialización en universidades; en México es poco conocido y relativamente poco tratado en libros, salvo algunos artículos esporádicos en el Chemical Engineering.

En nuestro país, muy pocas personas tienen acceso a este tipo de información, las cuales por lo regular trabajan en compañías que representan a alguna firma extranjera. A pesar de esto, son muy pocas las empresas que ofrecen este tipo de servicios, lo cual las hace muy rentables, aunque su número ha estado aumentando poco a poco.

El transporte neumático es sólo una pieza de todo el engranaje conocido como Manejo de Materiales Secos a Granel. Esta importante área comprende también: sistemas de separación de productos, desmenuzadores, sistemas de colección de polvos, mezcladores, procesadores de lecho fluidizado, transportadores mecánicos, sistemas de empaclado y almacenamiento, instrumentación, equipos de control, etc., los cuales siempre van unidos al transporte neumático.

Por la importancia de estos sistemas en el manejo del PET a granel, se trazaron como objetivos para el desarrollo de esta tesis: proponer un sistema para su transporte neumático, seleccionar el equipo involucrado, fundamentar su cálculo y el uso de hojas de datos, todo ello en

base a las propiedades del PET y la metodología especializada que usan los fabricantes y proveedores de equipo original.

Como objetivos secundarios se tomaron: visualizar y describir los equipos de uso común en el transporte neumático, recopilar y resumir la información más importante y pertinente al caso, del PET y del polietileno.

1 ANTECEDENTES

1.1 ¿Qué es un transporte neumático?

Un transporte neumático se puede definir como la operación de transportar materiales sólidos a granel a través de una tubería mediante una corriente de aire ya sea a presión positiva o negativa. También se describe como la capacidad del aire en movimiento que acompaña al trabajo. Cuando el aire se mueve, se convierte en viento y en cosas tales como el suave balanceo de los arbustos, el sistema que empuja a un velero o en algo que devastó miles de hectáreas de bosque.

El transportador neumático más simple es sólo un huracán en miniatura, dirigido a un cierto destino a través de una tubería, con el movimiento del aire encausado al introducirlo dentro del tubo a una presión arriba de lo normal [14.7 psi (libras por pulgada cuadrada) a 70 °F y al nivel del mar] o reduciendo la presión por debajo de lo normal en el destino final. De cualquier forma, este aire vuelve a recuperar una presión absoluta o normal y, cuando se mueve con suficiente velocidad, acarreará objetos a su paso, dependiendo del tipo de sustancia, peso o forma.

El transporte neumático involucra el acarreo de una gran variedad de sólidos granulares o polvos secos en una corriente de aire. En la mayoría de los casos, el gas es el aire, aunque cuando prevalecen condiciones especiales (p. ej. riesgo de explosión, salud, peligro de fuego, etc.), es posible utilizar otros tipos de gases, como nitrógeno o algunos gases inertes.

El aire tiene una densidad de 0.075 lb/ft³ (libras por pie cúbico) a 70°F y una presión absoluta de 14.7 psi. Si la presión disminuye por debajo de este valor, siguiendo la ley de los gases, el aire pierde peso y viscosidad. Esto reduce la capacidad de transporte o fluidez del material a través del tubo. Inversamente, si la presión en la tubería está por encima de la presión absoluta de 14.7 psi, de nuevo siguiendo la ley de los gases, el aire es más pesado, esto es que tiene más capacidad de transporte y fluidez, permitiendo transportar más material. Estas son las bases de diseño dentro de la operación.

El concepto de transportación de un fluido a través de una tubería no es algo moderno. La historia de este método data desde la antigüedad. Hace mucho, los romanos usaban tubos de

plomo para el transporte de agua y desperdicios fluviales, mientras que los chinos transportaban gas natural a través de tubos de bambú. El uso de las tuberías como transporte de sólidos en un gas es mucho más reciente, con la inserción de ventiladores para activar el primer transporte neumático en 1866.

La primera aplicación de un transporte neumático a gran escala fue el transporte a vacío de granos a finales de siglo XIX. A mediados de la década de 1920, los transportes a presión negativa y positiva eran de uso común. A partir de ese tiempo la práctica del transporte neumático ha crecido enormemente y se ha extendido hasta abarcar una amplia variedad de sólidos.

1.2 Ventajas y desventajas

Un transporte neumático ofrece al usuario las siguientes ventajas:

1. El transporte de una gran variedad de productos libres de polvo.
2. Flexibilidad en la ruta. Puede transportarse vertical u horizontalmente con solo agregar codos a la línea de transporte.
3. Distribución a diferentes áreas de la planta y de diferentes tomas de alimentación.
4. Poco mantenimiento y bajos costos de energía.
5. Uso múltiple. Una línea de transporte puede ser usada para diferentes productos.
6. Seguridad. La tubería puede ser usada para transportar productos de alto valor agregado.
7. Fácil automatización y control.

A pesar de las ventajas, hay también ciertas desventajas, como:

1. Alto consumo de energía.
2. Desgaste y abrasión del equipo.
3. Un mal diseño puede ocasionar degradación de las partículas.
4. Distancias limitadas.
5. En virtud de la complejidad del fenómeno de flujo que se lleva a cabo, es necesario altos niveles de habilidad para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas.

Debido al alto consumo de energía, los sistemas de transporte neumático por lo general son más convenientes para llevar partículas finas a través de distancias cortas (probablemente algunos cientos de pies). La mayoría de los sistemas existentes caen dentro del intervalo de 2200 a 88 000 lb/hr (libras por hora), sobre distancias menores de los 3200 ft (pies) y con un tamaño de partícula promedio de ¼" de diámetro.

Por lo general, las limitaciones son de orden económico más que técnico. Sin embargo, el factor económico está cambiando y algunos desarrollos recientes aseguran la transportación de materiales a bajas potencias. Las aplicaciones recientes incluyen el transporte de carbón con tamaño de partícula de hasta 2" y hasta 1000 ft de altura, así como un pequeño número de transportadores neumáticos que manejan varios materiales en distancias de hasta 10 000 ft.

Con el aumento en la sofisticación de los sistemas de transporte neumático, las aplicaciones potenciales aumentan día con día. Así, para la transportación de materiales sólidos, los sistemas neumáticos podrían considerarse como la primera opción y evaluarse contra otras formas de transporte de sólidos.

La gama de materiales que se pueden manejar con un transporte neumático es muy extensa. Prácticamente todos los materiales granulares y en polvo se pueden ser transportar. Rocas de hasta 3" de tamaño, pollos vivos y partes industriales terminadas han sido transportadas por este medio. Por lo general, entre más grande y denso es el material, se requiere más aire, a mayor velocidad y más alto consumo de energía. Como regla general, las partículas mayores de 6" no se pueden transportar por este medio. Sin embargo, hay excepciones a la regla. **Otra regla dice que el diámetro de la tubería de transporte deberá ser al menos tres veces más grande que el mayor tamaño de partícula del producto a manejar para prevenir bloqueos dentro del tubo.**

Los candidatos ideales para el transporte neumático son los materiales de libre flujo, no abrasivos y no fibrosos. Sin embargo, con el desarrollo de nuevos tipos de transportadores operando a velocidades del aire más bajas, ya es posible manejar materiales abrasivos, cohesivos y quebradizos. En esencia, un sistema de transporte neumático consiste de cuatro zonas distintas, cada una de las cuales requiere de su propio equipo especializado para efectuar la siguiente operación (fig. 1.1). Las cuatro zonas consideradas son las siguientes:

9

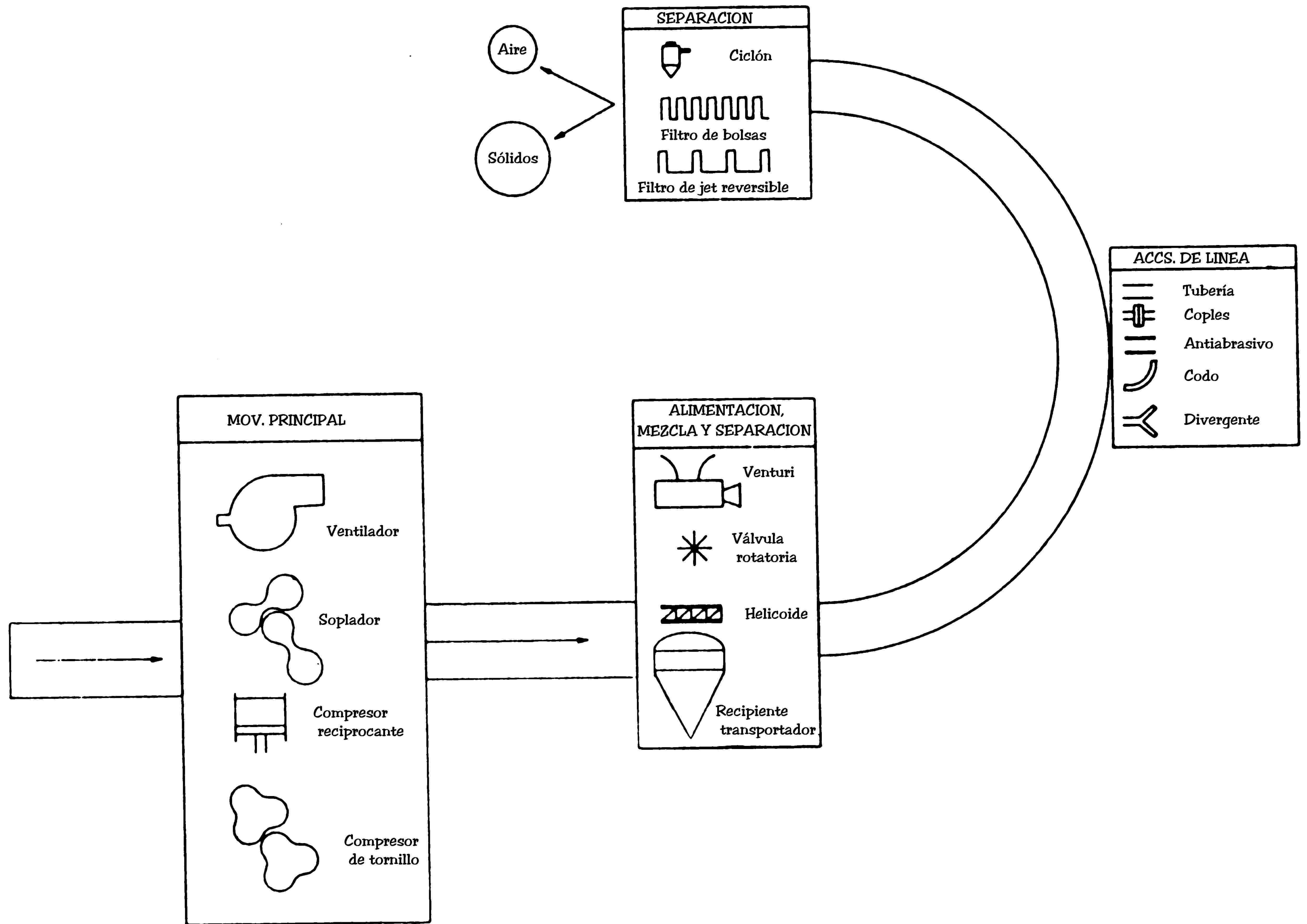


Figura 1.1 El sistema de transporte neumático

a) El movedor principal

El movedor principal es el elemento esencial en un sistema de transporte neumático. En general se usan una amplia gama de compresores, sopladores, ventiladores o bombas de vacío para proporcionar la energía necesaria para transportar el gas. La base para diseñar un sistema de transporte neumático es identificar tanto la velocidad del flujo de gas como la presión requerida (positiva o negativa) para efectuar un transporte adecuado.

En virtud del hecho de que es necesario un amplio rango de presiones para el transporte de sólidos, se debe tener claro el concepto del flujo de gases a través de una tubería, así como el secado, filtrado y enfriado del gas a usar.

b) Alimentación, mezclado y zona de aceleración

Esta zona es considerada una de las zonas más críticas en un sistema de transporte neumático. En esta zona en particular, los sólidos se introducen dentro de la corriente de aire. Debido al hecho de que los sólidos están esencialmente en reposo, ocurre un gran cambio de momentum cuando los sólidos se mezclan con la corriente de aire.

Asociada con este cambio de momentum se tiene la necesidad de proporcionar una zona de aceleración. Si el espacio físico lo permite, por lo general la zona consiste de una pieza de tubo horizontal de una cierta longitud, de modo que los sólidos sean acelerados a algún estado de flujo permanente o "estático".

Lo esencial para una efectiva operación de un sistema de transporte neumático es la selección de un alimentador que reúna tanto los requerimientos de los sólidos como los del sistema.

c) La zona de transporte

Ya que los sólidos han pasado por la zona de aceleración, llegarán a la zona de transporte. La zona de transporte consiste de la tubería. La selección de la tubería está basada en un cierto número de factores, incluyendo la abrasividad del producto, los requerimientos de presión, etc.

La zona de transporte puede tener un cierto número de codos y de válvulas divergentes para hacer cambios en la dirección del flujo. Es muy importante la selección del codo apropiado. Ya que un codo constituye un cambio de dirección, los sólidos son desacelerados

cuando se mueven a través de él. A la descarga de cada codo, normalmente se requiere una zona de aceleración para que los sólidos vuelvan a entrar a una zona de transporte.

d) Zona de separación gas-sólido

En esta zona los sólidos se separan de la corriente de aire en que se han transportado. Con los sistemas de transporte a presión, solo es necesario mantener una caída de presión a lo largo del colector de polvos, el cual deberá tener el tamaño suficiente para separar los sólidos del gas.

La selección de un sistema de separación gas-sólido adecuado depende de varios factores, donde el principal es el tamaño de partícula del sólido a separarse de la corriente de aire. En los sistemas de transporte neumático se pueden usar diferentes configuraciones de sistemas de separación gas-sólido.

1.3 Tipos de transportes neumáticos

Para una fácil clasificación, los sistemas de transporte neumático se pueden dividir en varias categorías, donde la más común es la que se basa en la concentración de partículas promedio en la tubería. En términos de esta definición, los sistemas de transporte neumático se pueden clasificar en las siguientes dos categorías:

- Sistema en fase diluida
 - Sistema en fase densa
- Régimen a flujo inestable

Régimen a flujo inestable/estable

Régimen a flujo estable

Por simplicidad, cada fase se divide en términos de la relación de flujo de masa, la cual se define como la relación de la masa de sólidos a la masa del aire de transporte. En otras palabras:

Tipo	Relación de flujo de masa
Fase diluida	0 – 15
Fase densa	Mayor de 15

En la fig. 1.2 aparecen los patrones de flujo horizontal que tienen lugar en estos tipos de sistemas.

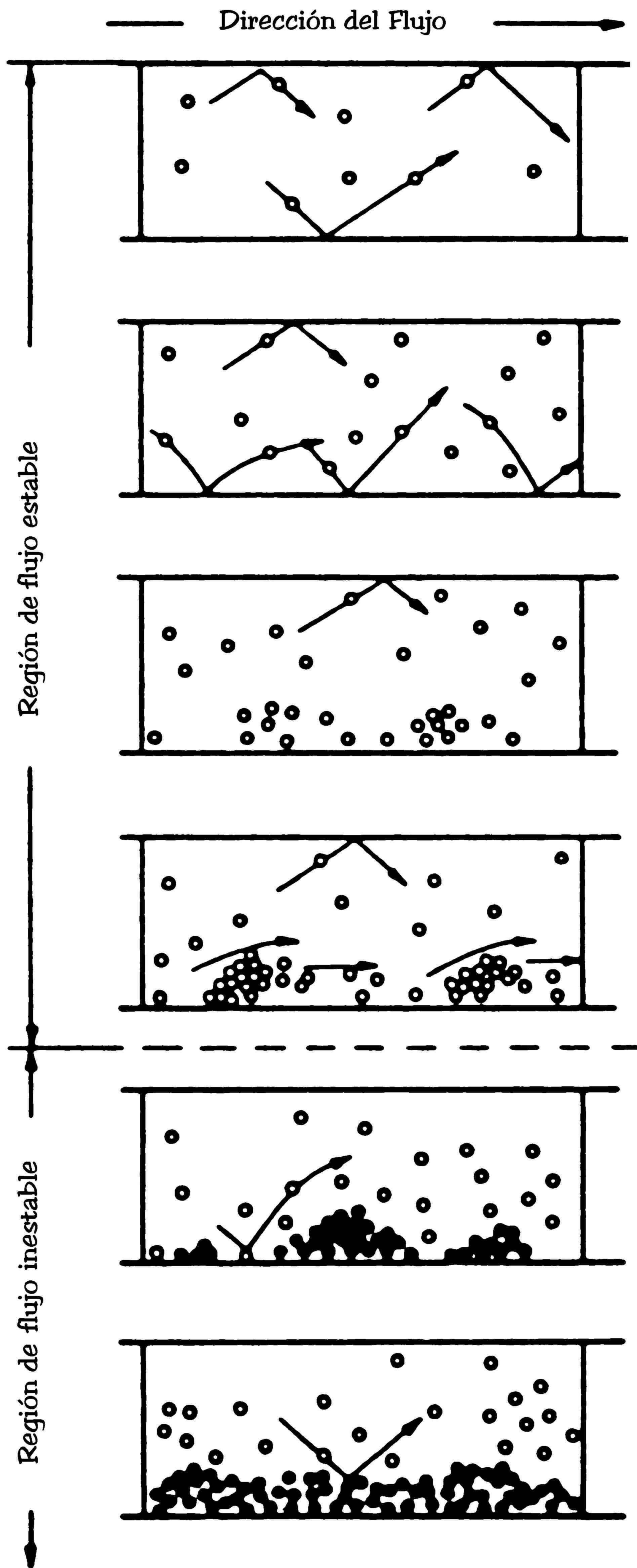


Figura 1.2 Patrones de flujo en una línea de transporte neumático horizontal

Fase diluida

El sistema en fase diluida por lo general emplea grandes volúmenes de gas a altas velocidades. La corriente de aire acarrea el material como partículas discretas mediante fuerzas de elevación y empuje, que actúan sobre partículas individuales. Los sistemas de fase diluida constituyen a la mayoría de sistemas de transporte neumático instalados.

Una explicación más técnica y en base en la presión usada en un sistema, sería la siguiente:

1. A vacío, usando una corriente de aire a alta velocidad para suspender al material dentro de una tubería a velocidades promedio de entre 4000 a 7000 fpm (pies por minuto) y con un vacío de hasta 12 pulg. (pulgadas) de Hg.
2. A baja presión, usando una corriente de aire a velocidad media para suspender al material dentro de la tubería, con presiones de hasta 12 psig (libras por pulgada cuadrada).
3. A presión media, usando una corriente de aire a baja velocidad y una presión de hasta 45 psig.
4. A alta presión, usando una corriente de aire a baja velocidad y una presión de hasta 125 psig.
5. Una combinación de sistemas de vacío y presión.
6. Por gravedad y fluidizados por una corriente de aire, donde se usa aire a baja presión para airear o fluidizar un material pulverizado, con unos grados de inclinación suficientes para fluidizar al material en contacto intermedio con una superficie permeable al aire y ligeramente inclinada, para eliminar la fricción con éste y con las paredes laterales del ducto de transporte, haciendo que la masa fluya por gravedad (aunque se podría decir que éste no es un transporte neumático si se siguen fielmente las definiciones anteriores).

Los puntos 1, 2 y 5 son los usados en los sistemas donde se manejan plásticos para su transformación.

Los sistemas de transporte neumático a alta presión son de uso común en las plantas donde se producen los plásticos como materia prima, pues las bajas velocidades de este tipo de sistemas son un gran atractivo para su uso, independientemente de su precio, más alto que el de los sistemas a baja presión. Aquí, la desventaja de los sistemas a baja presión es la alta velocidad

(hasta 7000 fpm), la cual provoca una gran cantidad de finos y por consiguiente una cierta reducción de tamaño de los pellets (gránulos) de plástico, haciendo que el material no se vea homogéneo y por consiguiente que su precio de venta disminuya drásticamente pues aquí no importa la calidad tanto como la presentación física del producto. En las figuras 1.3 y 1.4 se muestran este tipo de sistemas.

A pesar de que los otros tipos de sistemas de transporte neumático son también de uso común en la industria, por mucho los más usados son los mencionados en esta tesis. Aunque últimamente, los sistemas en fase densa se están usando cada vez más en casi todo tipo de industrias, desplazando inclusive a varios sistemas en fase diluida. Aun así, en la transformación de plásticos no se ha considerado el uso de la fase densa, pues los equipos involucrados no resisten altas presiones. Debido a esto y como mera información, a continuación se ofrece una breve explicación de los sistemas de transporte neumático en fase densa.

Fase densa

Una reducción en la velocidad del gas hasta un valor más pequeño que la velocidad de saltación (en un flujo horizontal) lleva a una distribución no uniforme de sólidos sobre la sección transversal de la tubería de transporte. En la figura 1.5 se muestran las diferencias de equipos entre la fase diluida y la fase densa.

El proceso de transporte se lleva a cabo con una cierta proporción de sólidos fluyendo a través de la porción superior de la sección transversal de la tubería siempre con una alta concentración de producto en la corriente de aire, correspondiente a un lecho en movimiento expandido. Este lecho en movimiento progresa a una velocidad menor en la parte inferior de la sección transversal.

Dependiendo tanto de las características de los sólidos, la velocidad del gas, la velocidad de flujo de los sólidos y de factores tales como la rugosidad de la tubería, tamaño de la tubería, etc., los patrones de flujo en la fase densa pueden variar desde inestable a estable o a un régimen inestable/estable.

Los patrones de flujo en la fase densa pueden variar desde condiciones en donde los sólidos van en paquetes dentro del tubo y se mueven como un tapón denso continuo hasta situaciones donde los sólidos en la base del tubo se mueven como una serie de dunas con un lecho

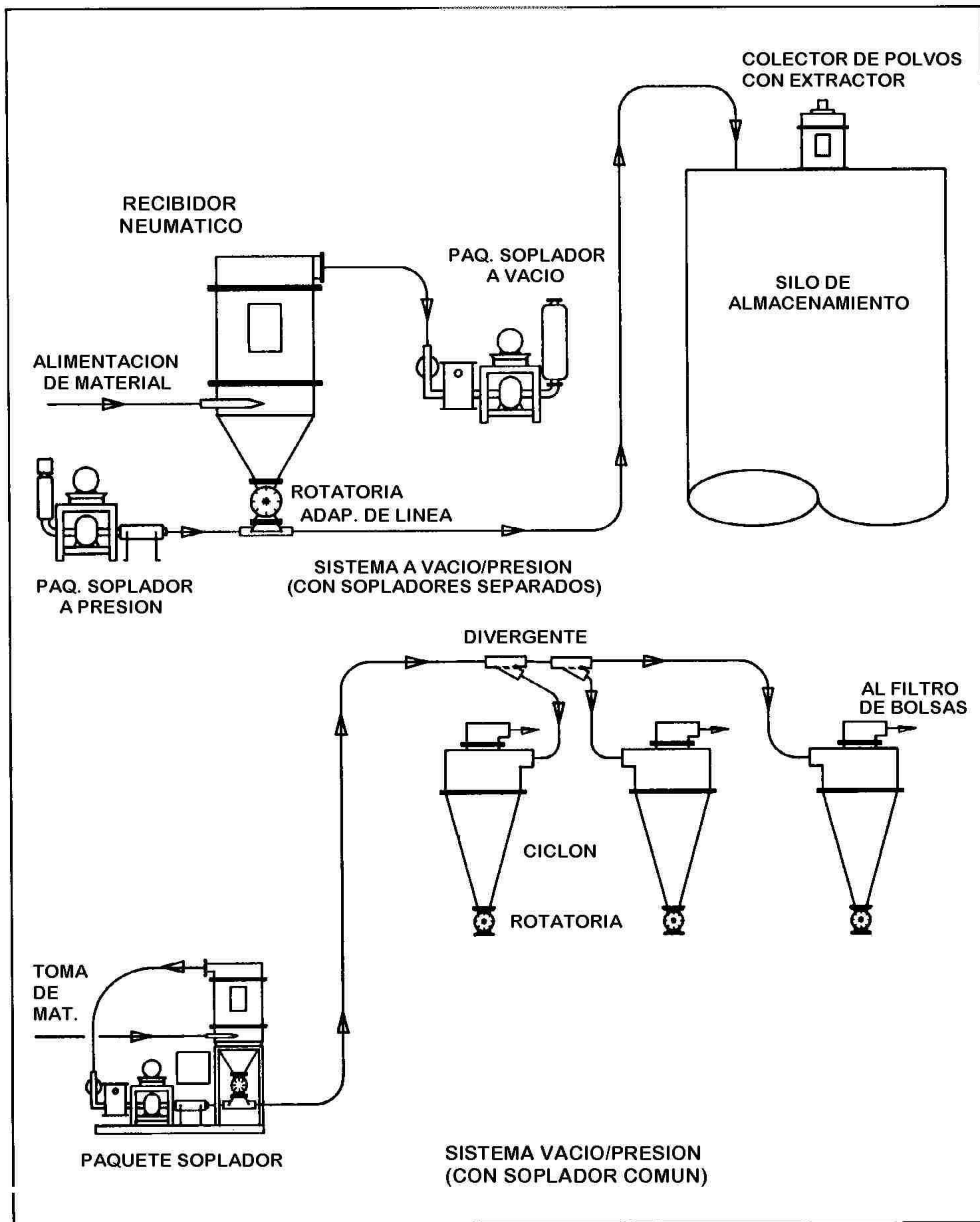


Figura 1.3 Variaciones de un transporte neumático combinado vacío/presión

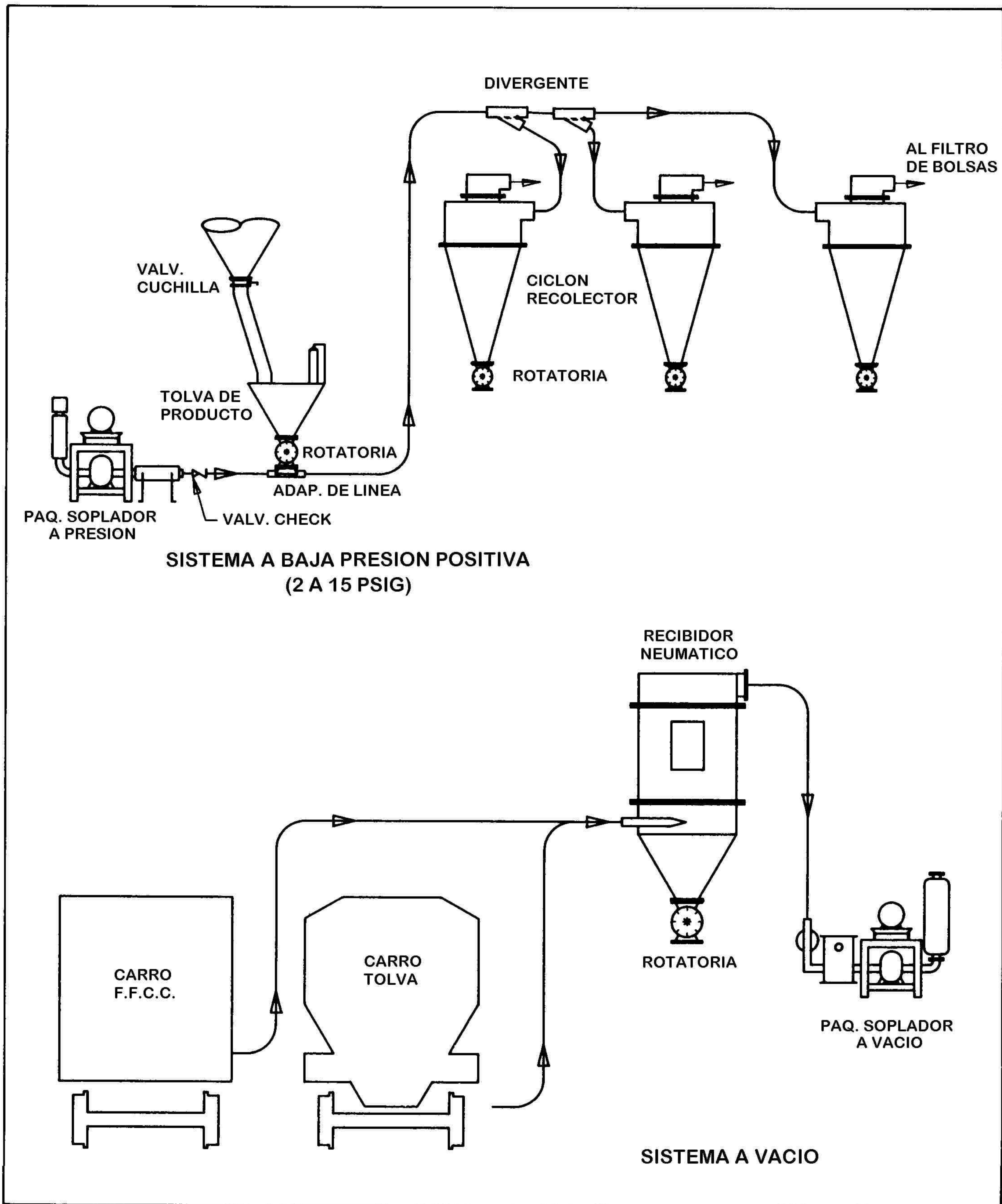


Figura 1.4 Diferentes variaciones del transporte neumático en fase diluida

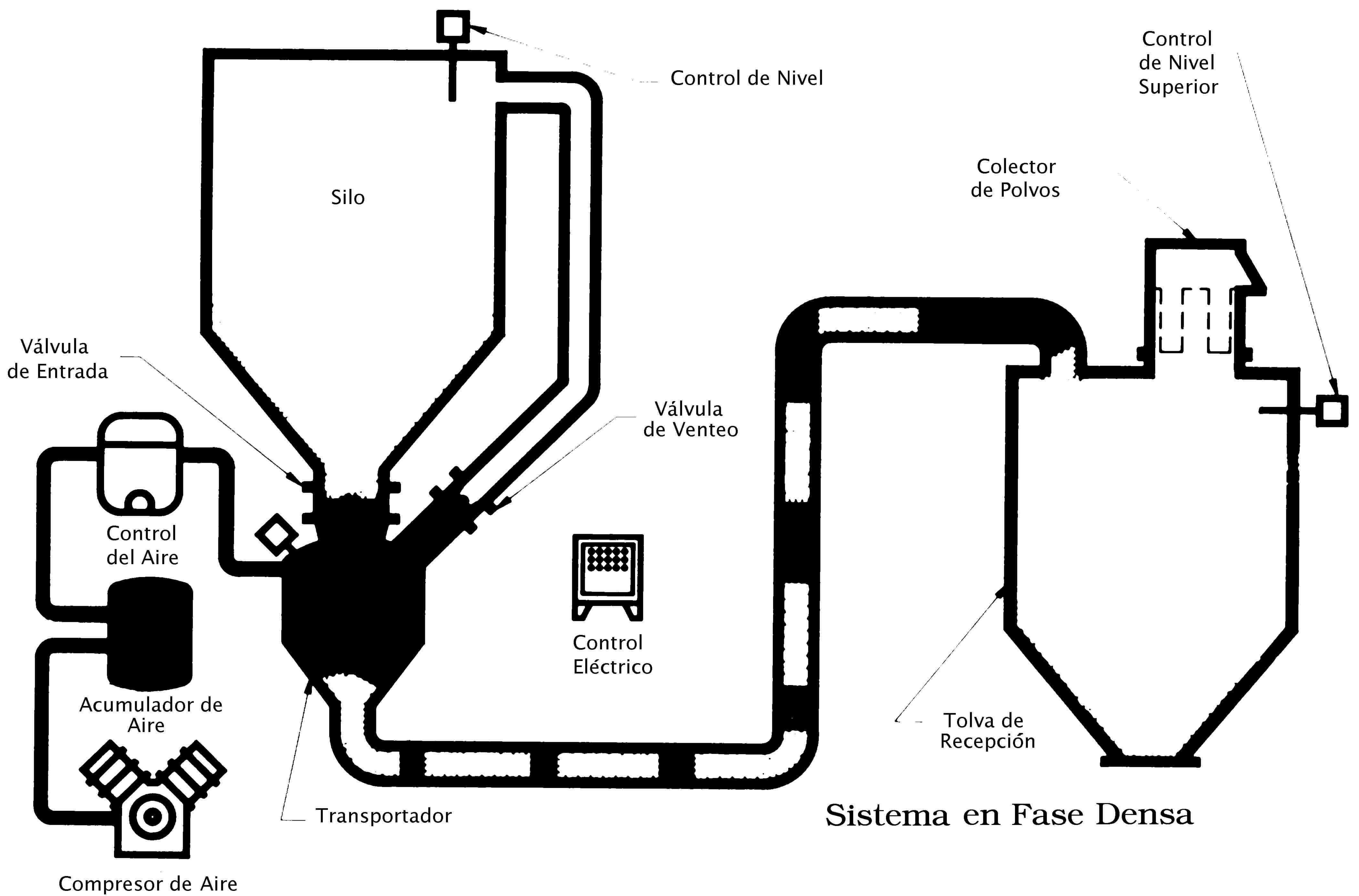
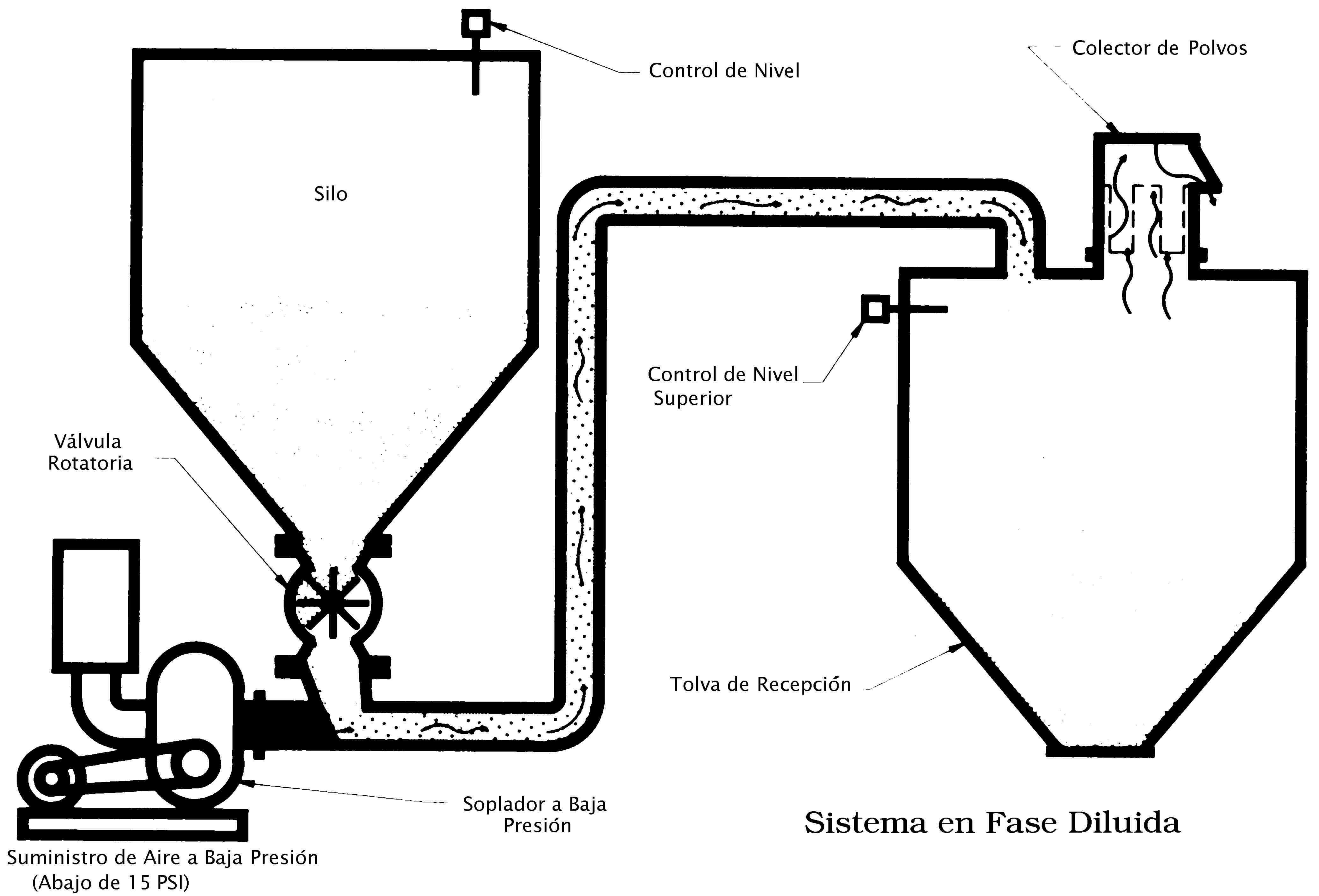


Figura 1.5 Comparación entre un sistema en fase diluida y otro en fase densa.

en fase diluida de sólidos fluyendo por encima de las dunas. Las situaciones de flujo estático resultan en un proceso de transporte “suave”, mientras que la situación inestable se caracteriza por ocasionales fuentes de presión violenta, como el aumento de rupturas del lecho en movimiento.

1.4 Fundamentos teóricos

El diseño de un sistema de transporte neumático requiere de la comprensión teórica del flujo de aire en tuberías y ductos, así como una correcta apreciación de los diferentes movedores de aire usados para proporcionar el aire de transporte.

El aire libre se define a las condiciones atmosféricas prevalecientes en el lugar particular en cuestión. La densidad del aire varía de acuerdo a las condiciones del lugar y a la localización.

La presión y temperatura estándar se definen como el aire a una presión de 14.7 psi (abs.) y una temperatura de 77 °F.

Las condiciones de referencia estándar se definen como aire seco a una presión de 14.7 psi (abs.) y a una temperatura de 59 °F.

La entrega de aire libre es el volumen, medido en las condiciones del lugar, en donde el soplador o compresor toman el aire, lo comprimen y lo descargan a la presión de descarga especificada. El compresor entregará aire comprimido con un volumen menor que el que toma.

El aire o cualquier otro gas fluye dentro de una tubería siempre desde una presión absoluta superior hacia una presión absoluta inferior.

Si	$P_i > P_f$	existe flujo de aire
	$P_i = P_f$	no existe flujo de aire

Donde P_i es la presión inicial y P_f es la presión final.

La cantidad de gas que pasa por una tubería dada es función del diferencial de presión que exista a través de ella.

El gas sufre una descompresión desde P_i hasta P_f ; si la temperatura no varía (isotérmica) y la variación de volumen sigue la Ley General de los Gases

$$PV = RT \quad \text{donde} \quad T = \text{constante}$$

$$P_i V_i = P_f V_f$$

y así, el volumen final (V_f) será igual a:

$$V_f = \frac{V_i P_i}{P_f}$$

Donde R es la constante de los gases, V es el volumen y T la temperatura.

Al pasar (fluir) el aire, encuentra como resistencia la fricción del gas contra las paredes del tubo; esta presión hace que la presión disminuya y crea el diferencial necesario para mantener el flujo del gas.

La fricción (resistencia al paso del gas) se puede calcular de acuerdo a la fórmula de Darcy y es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del gas que está fluyendo. Así, para obtener la caída de presión general tenemos:

$$\Delta P = \lambda_L \rho L V^2 / 2D$$

donde λ_L es el factor de fricción de Fanning (0.015 – 0.02), ρ es la densidad del aire, L es la longitud del tubo, V es la velocidad del gas y D es el diámetro del tubo.

En la mayoría de los sistemas de transporte neumáticos modernos es generalmente aceptado el uso de compresores de tornillo o reciprocantes, así como sopladores de desplazamiento positivo como movedores principales de aire.

Movedor principal	Proceso del gas
Compresor reciprocante (ideal) con enfriador de agua	Isotérmico
Soplador de desplazamiento positivo	Adiabático

En esencia, el compresor reciprocante con enfriador de agua comprime el aire a una temperatura constante – isotérmica. El soplador de desplazamiento positivo comprime “explosivamente” el aire sin dar tiempo a que el aire se comprima y enfríe en forma adiabática.

En una compresión isotérmica, el producto de la presión y el volumen permanece constante:

$$PV = \text{constante} = RT$$

En la compresión adiabática, la presión permanece constante mientras que el volumen cambia por dV , cambiando también la temperatura por PdV/R . La cantidad de calor absorbido por el proceso de presión constante es el calor específico C_p multiplicado por el cambio de temperatura ($C_p PdV/R$).

Igualmente, si la presión cambia mientras el volumen permanece constante, el calor absorbido será $C_v VdP/R$, donde C_v es el calor específico a volumen constante. Por lo tanto, tenemos:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/k}$$

donde $C_p/C_v = k$ (calor específico de la relación).

En la compresión adiabática durante la elevación de la temperatura se tiene:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k}$$

Con lo anterior se puede obtener la eficiencia del soplador, quedando como sigue:

$$\text{Eficiencia del soplador} = \frac{C_p \left(r^{(k-1)/k} - 1 \right)}{R(r-1)}$$

donde $r = P_2/P_1 =$ relación de presión y $k/(k-1) = C_p/R$.

El siguiente resumen de ecuaciones es un complemento de los fundamentos anteriores, que forman parte de diferentes disciplinas y en general de conceptos prácticos de uso común en la industria.

- 1) Caída de presión debido al movimiento del producto.
 - a) Aceleración del producto (energía cinética)

$$\text{Energía Cinética} = \frac{1}{2} \text{ masa } (\text{velocidad})^2$$

Donde la masa es la capacidad entre la gravedad (32.2) y la velocidad está entre un intervalo de 2500 – 6000 fpm (en tabla del rango F_a , capítulo 2.1)

- b) Elevación del producto (energía potencial)

$$\text{Energía Potencial} = \text{Capacidad (lb/min)} \cdot \text{Distancia vertical (ft)}$$

- c) Fricción del producto sobre la pared del tubo

$$\text{Pérdidas por fricción} = \text{Capacidad (lb/min)} \cdot \text{Dist. Horizontal} \cdot \text{Fricción}$$

Donde, en general, Fricción = 1

- d) Pérdidas en los codos

$$\text{Pérdidas en codos} = \frac{\text{Cap. (lb/min)} \left(\frac{\text{Velocidad}}{60} \right)^2 2 \pi \text{ radio Fricción } N}{\text{Gravedad Radio } 4}$$

Donde N es la cantidad de codos en el sistema, π y radio son para el área del codo.

- 2) Pérdida total de presión debido al material

$$\begin{aligned} \text{Pérdida total} &= \text{Energía cinética} + \text{Energía potencial} \\ &+ \text{Pérdidas fricción} + \text{Pérdidas codos} \end{aligned}$$

- 3) Cálculo del volumen de aire requerido en CFM (pies cúbicos por minuto)

$$\text{CFM} = \text{Velocidad} \cdot \text{Area del tubo}$$

- 4) Transporte

$$\text{Presión H}_2\text{O} = \frac{P \text{ total}}{5.2 \text{ CFM}}$$

$$\text{Presión PSIG} = \frac{P \text{ H}_2\text{O}}{27.7}$$

- 5) Caída de presión debido al movimiento del aire

- a) Pérdidas en la entrada

$$\text{Pérdidas en la entrada} = \text{Coef. de entrada} \cdot \text{Presión velocidad}$$

Donde coeficiente de entrada en general es 1.24 y la presión velocidad es $(\text{velocidad}/4000)^2$

b) Pérdidas por fricción en el tubo

$$\text{Pérdidas en tubo} = \left(\frac{\text{velocidad}}{1000} \right)^{1.9} \left(\frac{0.02055 \text{ Longitud}}{\text{Diám.}^{1.22}} \right)$$

Donde Longitud es la suma de la dist. Vertical y la dist. Horizontal; el diámetro es del tubo.

c) Caída de presión en el colector de polvos

$$\text{Pérdidas en colector} = \text{Coef. del filtro} \cdot \text{Presión velocidad}$$

Donde el coef. del filtro es en general 4.0.

6) Caída de presión total en el sistema

$$\text{Sub total} = \text{Presión H}_2\text{O} + \text{Pérdidas en la entrada} + \text{Pérdidas en tubo}$$

$$\text{PERDIDAS TOTALES} = \text{Sub total} + \text{Pérdidas en colector}$$

$$\text{PSIG} = \frac{\text{PERDIDAS TOTALES}}{27.7}$$

1.5 Industria del plástico

Es difícil establecer qué tuvo el impacto más grande, si el transporte neumático en la industria del plástico o esa industria en el transporte neumático. El primer sistema data de aproximadamente 1930 y fue usado para transportar resinoides fenólicos, seguido por aserrín y usado también para llenar las moldeadoras de resinas para fabricar las partes de los teléfonos, componentes para radio y aisladores eléctricos. Los fabricantes de esas resinas fueron los primeros en usar los transportes neumáticos para sus operaciones de transporte dentro de sus plantas entre los diferentes segmentos de sus procesos de manufactura.

A medida que se fueron desarrollando otros materiales plásticos, de inmediato estos fabricantes vieron las ventajas de usar los transportes neumáticos en cada vez más aplicaciones en

sus plantas. Estos materiales incluyen a las resinas vinílicas, nuevos polietilenos, polipropileno, poliestireno, nylon, acetales, compuestos de poliéster, etc. Cuando la inyección y la extrusión de estos plásticos se incrementaron hasta el punto en que esas operaciones garantizaron el manejo a granel, los sistemas de transporte neumático fueron cada vez más indispensables.

Entre los fabricantes y los transformadores, los métodos de transporte neumático son muy usados para proteger los materiales de todos los peligros que los rodean, como la humedad, la luz del sol, el polvo, los cambios de temperatura, los solventes químicos, etc. A esto se debe el desarrollo de carros de ferrocarril y camiones tolva para transportar los plásticos a granel, así como los sacos de hasta 50 kg para el manejo al menudeo y los supersacos hasta de una tonelada para el manejo a semigranel. Todos estos medios de transporte entre los fabricantes y los transformadores están diseñados para un transporte libre de contaminación.

En la transportación neumática de los plásticos se requieren consideraciones y equipos especiales. La contaminación es uno de los aspectos más importantes a considerar y debe mantenerse al mínimo, no solo de materia extraña, sino también el manejo debe mantener separados a todos los plásticos de diferentes colores y tipos, pues no se deben mezclar. La experiencia ha permitido ver que la mayoría de los transformadores utilizan en ocasiones diferentes tipos de plásticos, como polietileno, poliestireno y PVC para un solo producto, siendo por ejemplo en un envase el cuerpo de PVC, la tapa de polietileno y algún inserto de poliestireno. También es común el uso de diferentes plásticos coloreados (master batch) o aditivos, los cuales es absolutamente necesario que no se mezclen entre sí, lo cual podría ocasionar productos de mala calidad o inservibles. Los transportes neumáticos, además de su capacidad para autolimpiarse, minimizan la posibilidad de daños al personal y al producto.

El material del aire de transporte, o cualquier otro medio, deberá controlarse cuidadosamente, en especial en los sistemas a presión. En algunas operaciones, el calor de compresión del aire u otros medios aumentará en la descarga del soplador, el cual podría afectar las características físicas del plástico a transportar. Los plásticos se dividen en tres categorías:

Termoplásticos (la gran mayoría)

- Ejemplos: polietileno, poliestireno, PET, PVC, ABS, PC, polipropileno, etc.

- Sus características son: Fusibles
- Solubles
- Blandos o duros
- Frágiles o tenaces.
- Amorfos o semicristalinos.
- Son reciclables.

Termofijos:

- Ejemplos: Resina epóxi, resina fenólica, poliuretano, baquelita, etc.
- Sus características son: Infusibles.
- Duros.
- Insolubles.
- Frágiles.
- No son reciclables.

Elastómeros (vulcanizados a partir de una formulación en frío):

- Ejemplos: Neopreno, hule natural, vitón, caucho, EPDM, látex, buna, etc.
- Sus características son: Blandos.
- Infusibles.
- Insolubles.
- Elevada elasticidad.
- Hinchable en solventes.
- No reciclables.

Los materiales termoplásticos tienen la propiedad de fundirse bajo la aplicación de calor y son rígidos a temperaturas normales. Son éstos el tipo de plásticos que requieren un control de la temperatura durante el transporte neumático, pues se debe mantener normalmente por debajo de la temperatura de distorsión y así evitar que se llegue a fundir o a degradar dentro de la

tubería. Las siguientes temperaturas de distorsión por calor (temperatura de ablandamiento), por supuesto sujetas a variaciones, indican la necesidad de un transporte neumático con temperatura controlada:

Polietileno baja densidad (PEBD)	115 a 150 °F
Polietileno alta densidad (PEAD)	115 a 150 °F
Polipropileno (PP)	165 a 200 °F
Poliestireno (PS)	150 a 230 °F
Cloruro de polivinilo (PVC)	150 a 180 °F
Nylon (PA)	165 a 170 °F
Polietilen tereftalato (PET)	230 a 270 °F
Policarbonato (PC)	210 a 225 °F

Mientras que esas temperaturas están en el punto cuando el material comienza a reblandecerse, en un tiempo relativamente corto el material está sujeto a cualquier elevación de la temperatura debido al transporte neumático, por lo que es necesario considerar la máxima temperatura de la corriente de aire en la tubería. La transformación completa no es instantánea a temperaturas inferiores y pueden aún ocurrir cambios en la superficie del material, afectando su fluidez y su reacción dentro de la línea de transporte.

Como se puede observar, la temperatura del polietilen tereftalato (PET) es de las más elevadas, por lo que en este caso en particular y por ser el material que se va a utilizar en el desarrollo de esta tesis, no es necesario un control muy estricto de la temperatura en la línea de transporte, salvo el correcto diseño del soplador, para así evitar la degradación del plástico.

Por otro lado, el PET es sumamente susceptible a la humedad durante su transformación, por lo que es absolutamente necesario el uso de secadores de plástico en la misma tolva de alimentación de la inyectora. La humedad puede causar que los productos pierdan

sus propiedades mecánicas y su transparencia, aspectos básicos para el enorme uso de éste plástico en la industria del envase de bebidas carbonatadas.

El PET pertenece a la familia de los poliésteres. Desde 1970 se comercializó el Polibutilen Tereftalato (PBT). Su importancia en el sector de inyección fue mayor en un principio que la del PET, sin embargo, el grupo de poliésteres lineales se amplió con los copolímeros del PET. A principios de 1980, la línea de productos de poliésteres saturados tuvo una gran expansión, en especial en los sectores electrónico, eléctrico y automotriz, pues se tenía una gran demanda de productos cada vez más tenaces y sin deformaciones a temperaturas de trabajo.

Por su consumo, el PET es considerado como un plástico de uso masivo y su mayor mercado se encuentra en la industria del envase, razón por la cual ha tenido un mayor desarrollo que el PBT.

Para la fabricación de estos poliésteres termoplásticos se parte de tres compuestos: ácido tereftálico, etilenglicol y 1,4-butanodiol. Con el ácido tereftálico y el etilenglicol se obtiene el PET y con el ácido tereftálico y el 1,4-butanodiol, se obtiene el PBT.

El PET tiene un alto grado de cristalinidad gracias a diferentes tipos de procesos y a la incorporación de aditivos. A estos productos se les suele llamar C-PET, A-PET y PET-G, que son como actualmente se conocen. Para la fabricación de los diferentes grados de PET se usa la misma tecnología.

Los poliésteres termoplásticos se pueden clasificar de acuerdo a su contenido de monómero.

- Homopolímeros
 - PET
 - PBT

- Copolímeros
 - PETG, modificado con glicol
 - PETG, modificado con hexanodimetanol y glicol

Los homopolímeros son el resultado de la polimerización del éster tereftálico, formado al reaccionar ácido tereftálico y un glicol.

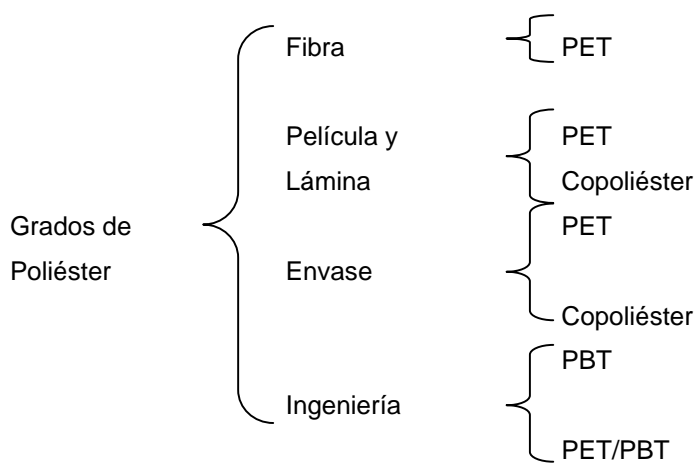
Por su parte, los copoliésteres son modificados agregando un ácido o un glicol durante la polimerización.

Otro criterio es por su cristalinidad, clasificándose en semicristalinos y amorfos.

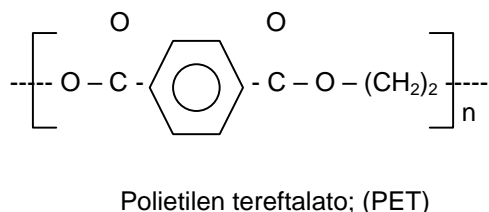
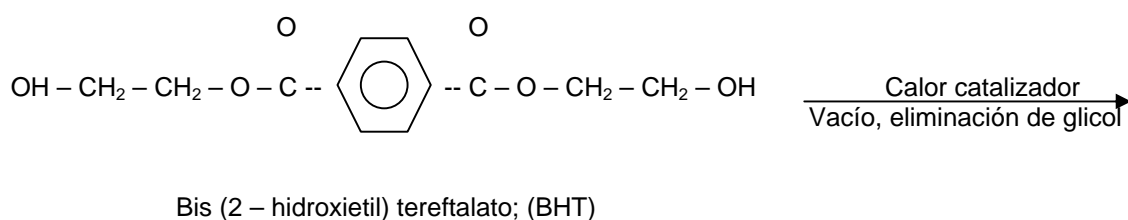
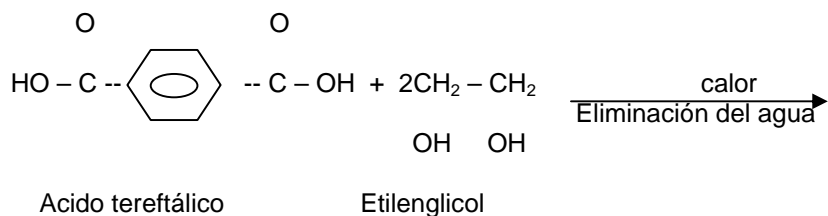
- Semicristalino
 - PBT
 - C-PET

- Amorfo
 - A-PET
 - Copoliésteres de glicol

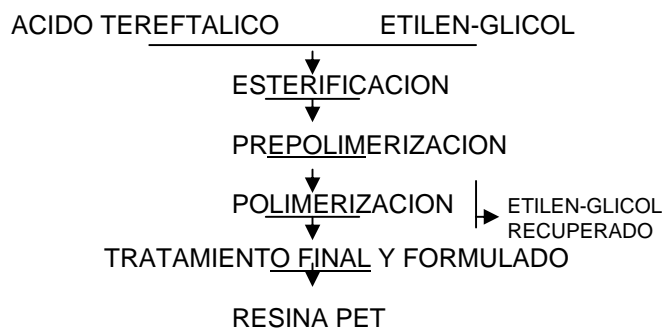
En la industria se conoce mejor a estos materiales por su grado y aplicación, que está en función del peso molecular y, por lo tanto, de su viscosidad intrínseca.



La síntesis para la elaboración del PET se encuentra resumida en la siguiente ecuación:



El método más simple para la obtención del PET es mediante la reacción directa de esterificación del ácido tereftálico con el etilenglicol. Para la fabricación de los diferentes grados de PET se emplea la misma tecnología. A continuación se muestra un diagrama para la obtención de PET.



El PET no se usa solo en la producción de envases, también tiene otros nichos de mercado importantes, como:

Envase y empaque. Por sus buenas propiedades de barrera a gases y resistencia química, se usa en la fabricación de botellas, tarros y frascos para envasar bebidas, alimentos, productos cosméticos y farmacéuticos.

Electrodomésticos. En carcasas de aparatos de mediano y pequeño tamaño, como tostadores, hornos de convección, freidoras, planchas, secadores de cabello y asas.

Eléctrico-electrónico. En carcasas para motores eléctricos, engranes, bases de relevadores, transformadores, copadoras y capacitores.

PET grado película. Cuando la película se destina al empaque de alimentos, se emplea como base para laminados termosellables o metalizados.

PET grado fibra. Debido a su resistencia se usa en llantas, telas tejidas y cordeles, partes para cinturones de seguridad, hilos de costura y refuerzo en llantas, también por su baja elongación y tenacidad, en refuerzos para mangueras.

En cuanto al PET grado botella, los pellets (gránulos) solidificados poseen tres factores que limitan su uso en la industria y como consecuencia se requiere de un proceso final en la fase de fabricación.

Dichos factores son:

*Amorfo

*Tiene alto contenido de acetaldehído

*Tiene bajo peso molecular

El proceso final recibe el nombre de polimerización sólida y consiste en calentar el granulado en una atmósfera inerte, con lo que se mejoran simultáneamente las tres propiedades, dando mayor facilidad y eficiencia en el secado, moldeado de la preforma, producción y calidad de la botella.

Algo muy importante que hay que saber es que en la actualidad las tapas para los envases de bebidas carbonatadas no son de PET, sino de Polietileno. Así, debido a que el Polietileno no tiene

buenas propiedades de barrera al CO₂ y también al hecho de que la boca del envase tiene que soportar la mayor presión del gas, pues es el único lugar por donde podría haber fugas, es necesario la utilización de un inserto de otro plástico diferente con la propiedad de barrera contra CO₂ suficiente para impedir su paso. Debido a que de entre los plásticos de uso masivo (Polietileno, Poliestireno, Polipropileno y PET) el PET es, por mucho, el más caro de entre todos ellos, la mayoría de los fabricantes han optado por usar polietileno para el cuerpo de la tapa y EVA (etil vinil acetato) como el inserto que va en contacto directo con la boca del envase, ya que este último tiene unas propiedades de barrera contra CO₂ sumamente altas. Así, debido al alto volumen de producción de estas tapas, los ahorros obtenidos son vitales para competir en este mercado.

El párrafo anterior sirve como explicación de porqué en este diseño de planta aparecen tres inyectoras de más y porqué usan materia prima totalmente diferente, pues su uso exclusivo es para la elaboración de tapas, además de la aparición de los mezcladores, pues las tapas tienen diferentes colores.

En esta planta no se elaboran los insertos de EVA, pues debido a los altos volúmenes de producción y a sus características especiales de secado, mezclado, calentado, etc., no sería posible ni rentable tener más máquinas inyectoras para su producción. Se pensó en mandarlas maquilar, ya que se ahorra tiempo, dinero y esfuerzo, los cuales se centrarían en la elaboración de lo más importante de esta planta, que son las preformas y las tapas. Inclusive, muchas compañías que producen envases solo se dedican a las preformas, mandando maquilar las tapas.

Con respecto al material usado en la fabricación de las tapas, el polietileno, se tiene lo siguiente:

El polietileno es el plástico de uso masivo por excelencia, el de mayor uso y el más económico en el mercado. El polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las olefinas. Estas provienen de los hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces C-C. Ejemplos de estos son el etileno, el propileno y el isobutileno.

El polietileno se obtiene del petróleo y del gas natural mediante desintegración (cracking) a temperaturas elevadas. Otra forma de obtención es mediante la separación de las primeras fracciones obtenidas en la destilación primaria del petróleo.

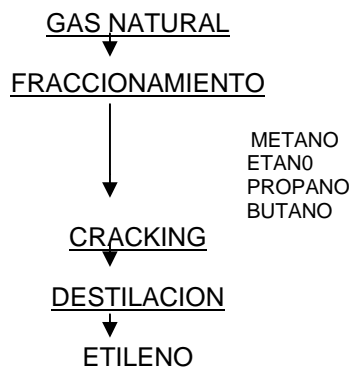


Tabla 1.1 Obtención de etileno a partir de gas natural.

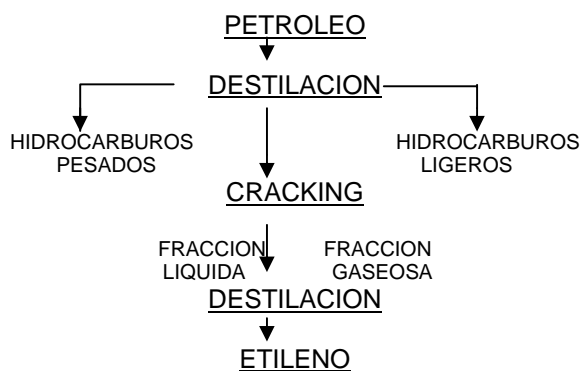
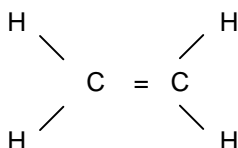


Tabla 1.2 Obtención de etileno a partir del petróleo.

El etileno, también llamado eteno, es un hidrocarburo que pertenece a la familia de los alquenos, ya que tiene un doble enlace entre los carbonos. Gracias a este doble enlace se lleva a cabo la polimerización. La estructura química del etileno es la siguiente:



El etileno es un gas incoloro con olor dulce y temperatura de autoignición de 450 °C. A una pureza no menor de 96% en volumen, es ligeramente soluble en agua, alcohol y éter etílico. Es poco tóxico y extremadamente inflamable.

Los polietilenos se clasifican por:

*Contenido de monómeros

-Homopolímero

-Copolímero

*Densidad

-Baja densidad

-Alta densidad

*Peso molecular

-Alto peso molecular

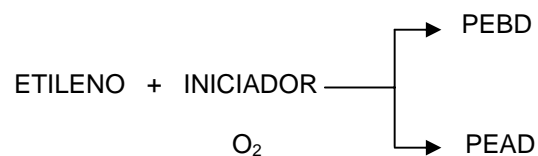
-Ultra alto peso molecular

Las tres clasificaciones, además de la distribución de los pesos moleculares, son características de las poliolefinas, que de alguna manera definen el uso y tipo de procesamiento de cada una de ellas.

En cuanto al contenido de monómeros tenemos:

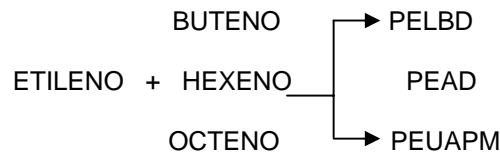
a) Homopolímero

Es un polímero obtenido de un monómero, que con la ayuda del iniciador (oxígeno) realiza su polimerización:



b) Copolímero

Es un polímero que se produce por la adición de dos o más monómeros diferentes:



Los polietilenos se clasifican de acuerdo al código ASTM, por su densidad como:

BAJA DENSIDAD	De: 0.910 – 0.940 g/cm ³
PEDB	Polietileno baja densidad
PELBD	Polietileno lineal de baja densidad
ALTA DENSIDAD	De: 0.941 – 0.965 g/cm ³
PEAD	Polietileno alta densidad
PED-APM	Polietileno alta densidad y alto peso molecular
PEUAPM	Polietileno de ultra alto peso molecular

En la producción del polietileno existen dos procesos:

*Proceso de alta presión

-Polietileno de baja densidad

*Proceso de baja presión

-Polietileno de alta densidad

-Polietileno lineal de baja densidad

-Polietileno de alto peso molecular

-Polietileno de ultra alto peso molecular

Para las tapas mencionadas en este proceso, el polietileno utilizado para su fabricación es el denominado polietileno de baja densidad (PEBD). En este proyecto el objetivo es la elaboración sólo de las preformas y las tapas, ya que el área de soplado es completamente ajena a este proceso.

2 SELECCION DEL EQUIPO

2.1 Componentes de un sistema de transporte neumático

Como se hizo mención en el anterior capítulo, el sistema seleccionado para este proceso en particular es el denominado Transporte Neumático en fase diluida a vacío/presión y a vacío. Esta selección se debe a la experiencia de su uso en todas las compañías transformadoras de plásticos conocidas que tienen un sistema centralizado de manejo de materia prima.

Existen dos consideraciones principales para determinar la viabilidad y el diseño de un sistema de transporte neumático; primera las características del material y segunda los parámetros del diseño.

Las características del material son aquellos atributos que afectan directamente su capacidad de ser transportados neumáticamente y aquellos atributos que tienen efectos indeseables.

Las características que afectan directamente el transporte de un material son la fluidez, el peso del material, el tamaño de partícula y la abrasividad.

- La fluidez es un valor subjetivo generalmente basado en experiencias pasadas y en pruebas de laboratorio y es afectada cuando el material es adhesivo, cohesivo y por el contenido de humedad.
- El peso del material en general se denomina como la densidad de bulto (o densidad a granel) en libras por pie cúbico (lbs/ft³). Un sistema típico para determinar la densidad de bulto de un material es considerar esta densidad en cuatro diferentes estados: almacenado en una tolva o compactado, aereado, al momento de ser vaciado y cuando se ha asentado. Aquí se puede observar que algunos materiales aumentan su volumen por un factor de dos o más desde un estado compactado hasta un estado aereado.
- El tamaño de partícula puede determinarse rápidamente mediante una inspección visual y clasificarse dentro de cinco tamaños generales: muy fino, que pase una malla

tamaño 100 (100 micrones); fino, que pase una malla de 1/8"; granular, que pase una malla de 1/2"; terrones, partículas más grandes de 1/2"; irregular, materiales fibrosos. Los productos que no caen dentro de las categorías de finos o muy finos podrían requerir de un cribado (separación de partículas) para determinar una distribución y tamaño precisos.

- La abrasividad de un material normalmente se basa en experiencias pasadas con el mismo material o con algún otro similar. En algunos casos la dureza del material se puede determinar y expresar con valores numéricos sobre la escala de dureza MOH; 1 y 2, no abrasivos; 3, ligeramente abrasivo; 4 y 5, medio abrasivo; 6 y 7, muy abrasivo. Los materiales de la categoría muy abrasivos deben manejarse con mucha precaución en un sistema de transporte neumático en fase diluida y de preferencia optar por la fase densa.

Las características que tienen efectos indeseables son la temperatura crítica, friabilidad y si el material es higroscópico.

- Varios materiales tienen temperaturas críticas bajas, como el azúcar y algunos plásticos, los cuales pueden ser afectados adversamente por el aire calentado debido a la compresión del paquete soplador.
- Si el material es friable (fácilmente se quiebra), puede afectar su uso general o comercial posterior. Si la degradación del material no es permitida, no es posible el uso de un transporte neumático en fase diluida. La mejor manera para seleccionar el transporte neumático adecuado es mediante pruebas de laboratorio.
- Si el material es higroscópico (absorbe humedad), es necesario considerar algunas características especiales, como el uso de secadores en la línea de transporte y sistemas de transporte neumático cerrados.

Las características en su manejo de los materiales peligrosos (explosivos, inflamables, tóxicos, cancerígenos o irritantes) son en extremo importantes. Es necesario que tales materiales se manejen con mucho cuidado en los sistemas de transporte neumático. En este caso se consulta al fabricante en cuanto a las medidas a tomar cuando se manejen este tipo de materiales.

Un estudio crítico para los parámetros de diseño de un sistema de transporte neumático puede hacer la diferencia entre un sistema pobre y otro que cumpla todos los requerimientos.

Las capacidades de transporte pueden ser sobre especificadas por varias razones. Un ejemplo de esto podría ser un sistema de descarga de carros de ferrocarril, donde se requiere descargar un carro en cuatro horas y después de esto que el carro quede ocioso. A menos que exista la necesidad de descargar dos carros de ferrocarril estacionados en la misma espuela, un sistema más pequeño que pudiera descargar un carro en 8 horas sería más económico, tanto en su costo inicial como en el operativo.

El sistema y sus componentes deberán ser estudiados cuidadosamente para proporcionar un rendimiento óptimo. La ruta más directa y la más corta de la línea de transporte siempre resulta en el sistema más económico y el más eficiente. Es prioritario nunca trazar una línea de transporte inclinada; estas líneas deberán ser siempre verticales u horizontales.

La mayoría de los sistemas de transporte neumático usan líneas de transporte de entre 2" y 6" de diámetro y menos de 75 h.p. Sin embargo, existen una gran cantidad de sistemas de gran capacidad y largas distancias (1000 - 2000 ft) que usan motores mayores a los 100 h.p. y trabajan en forma continua. Por supuesto, estos grandes sistemas requieren de componentes grandes y en la mayoría de los casos especiales para asegurar un rendimiento óptimo. Actualmente, es posible automatizar casi cualquier sistema de transporte neumático. Aquí se puede observar que un sistema automatizado tiene un costo inicial más alto y que en general sus costos de mantenimiento deben compararse contra los ahorros de trabajo para decidir qué tan práctico sería un sistema automatizado.

Debe observarse un especial cuidado cuando los sistemas de transporte se usen en áreas de temperaturas extremas. Las aplicaciones en áreas o con materiales con temperaturas encima de los 400 °F o por debajo de 20°F, pueden afectar seriamente los equipos. La expansión debida a los cambios de temperatura puede destruir a los equipos rotatorios, como alimentadores rotatorios, válvulas, etc. Es posible usar ciertos sellos y lubricantes especiales, los cuales se pueden usar sólo en algunos extremos. Las áreas o materiales que exceden ciertas temperaturas deben exponerse al fabricante para su evaluación.

El punto final se refiere a que el material a granel debe evaluarse apropiadamente, así como las necesidades reales del proyecto, para así poder diseñar un sistema competitivo y satisfactorio.

En los siguientes párrafos se hará mención de los equipos involucrados en los sistemas de transporte neumático en general y para manejo de plásticos en particular. Aunque es necesario aclarar que no todos los equipos aquí mencionados deben formar parte absolutamente de estos sistemas, se hace mención de equipos que en alguna ocasión podrían aparecer en un sistema en particular, pues los diferentes tipos de materiales y su entorno especial del proceso requiere más o menos equipos.

Paquete soplador - El soplador más usado en los transportes neumáticos es un soplador de lóbulos de desplazamiento positivo, el cual tiene dos álabes en forma de ocho (también llamados "cacahuates") girando en direcciones opuestas dentro de un alojamiento con tolerancias muy bajas (fig. 2.1). Este tiene un desplazamiento positivo y un volumen constante, operando a diferentes presiones. Su función principal es tomar un volumen de aire en la entrada y comprimirlo lo suficiente para que pueda pasar sin restricciones a través de una tubería, a una presión máxima de 20 psi. El paquete soplador completo está integrado por el soplador, el motor, la transmisión de poleas y bandas, filtros silenciadores en la entrada o la descarga, manómetro, válvula de alivio de presión y base de metal. El soplador se dimensiona de acuerdo a la cantidad de aire que se quiere suministrar, en pies cúbicos por minuto (CFM).

Filtro en línea - Siempre que se usa un paquete soplador a vacío, antes de la entrada del aire al soplador es indispensable colocar un filtro en línea, esto quiere decir, un filtro que va entre el colector de polvos y el soplador. Aunque el aire que llega al soplador generalmente viene de un filtro recibidor o un colector de polvos, esto quiere decir que se supone que es aire limpio, siempre alcanzan a pasar algunas partículas, por lo que es necesario captarlas antes de que lleguen al soplador, pues ya dentro y debido a las altas velocidades de compresión en el interior, pueden destruir los lóbulos o el cuerpo del soplador, pues las fricciones y, por lo tanto la abrasión, aumentan considerablemente. En ocasiones este es un equipo estándar que viene con el paquete soplador (fig. 2.2).

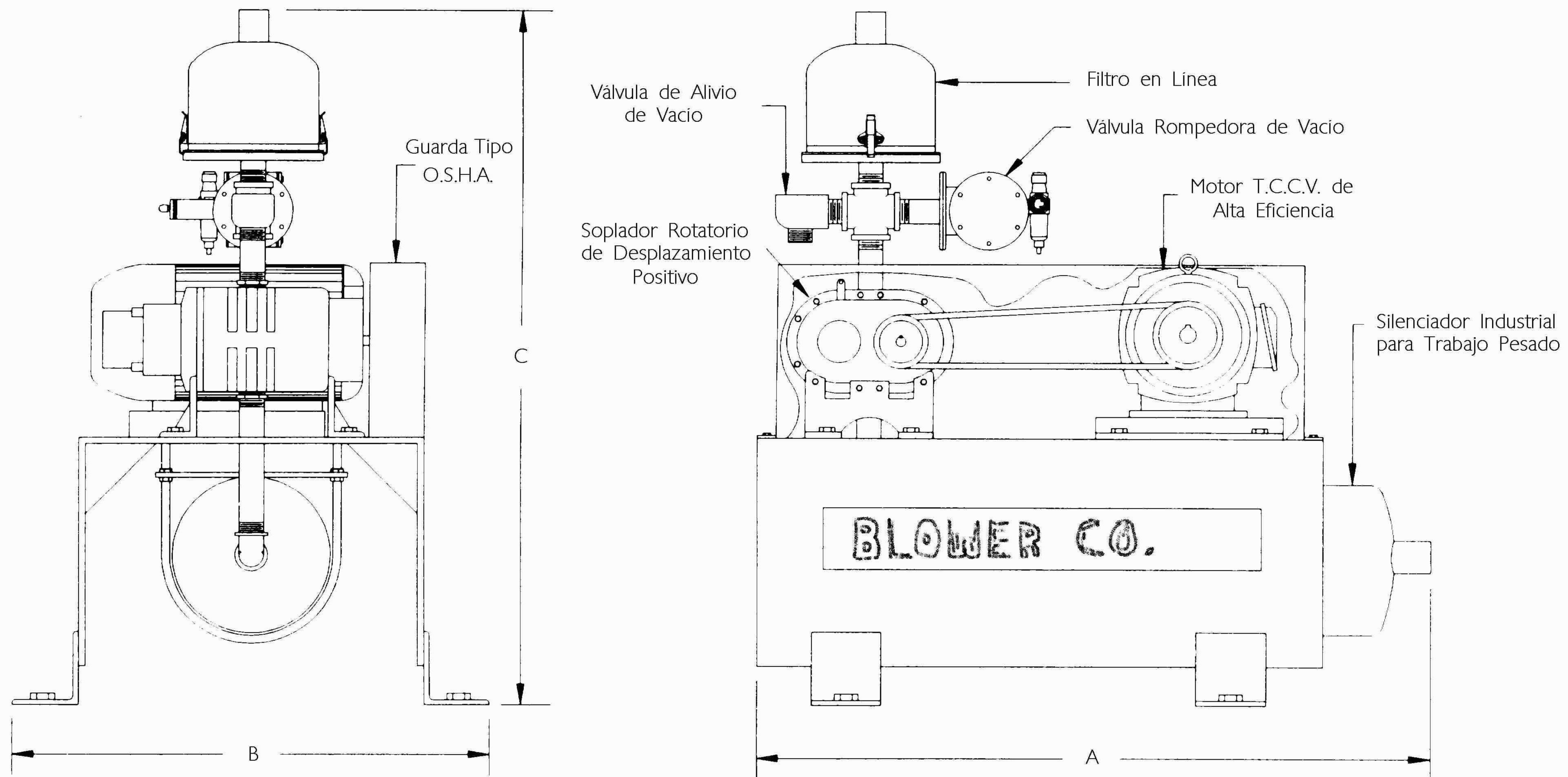


Figura 2.1 Paquete soplador completo

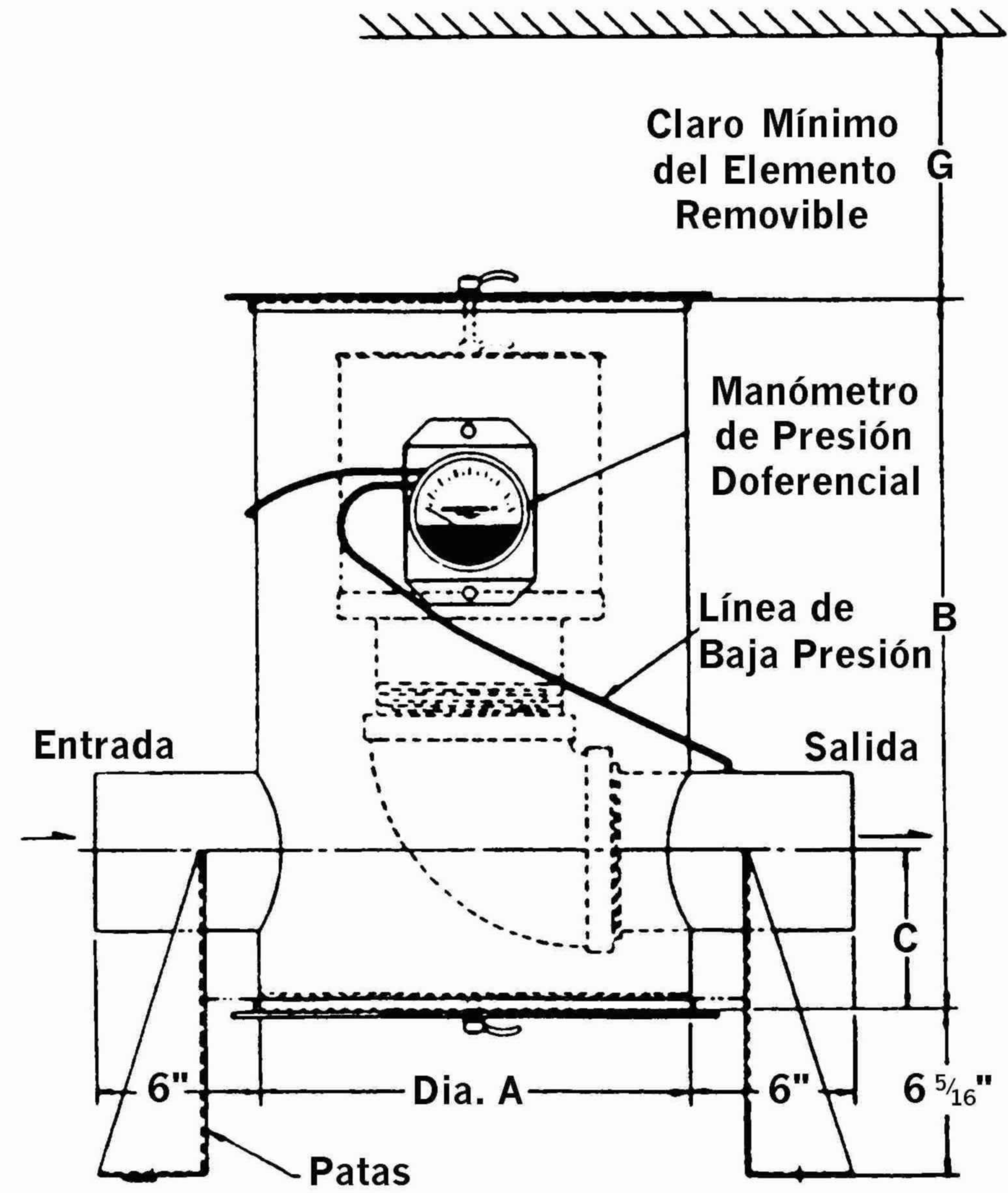
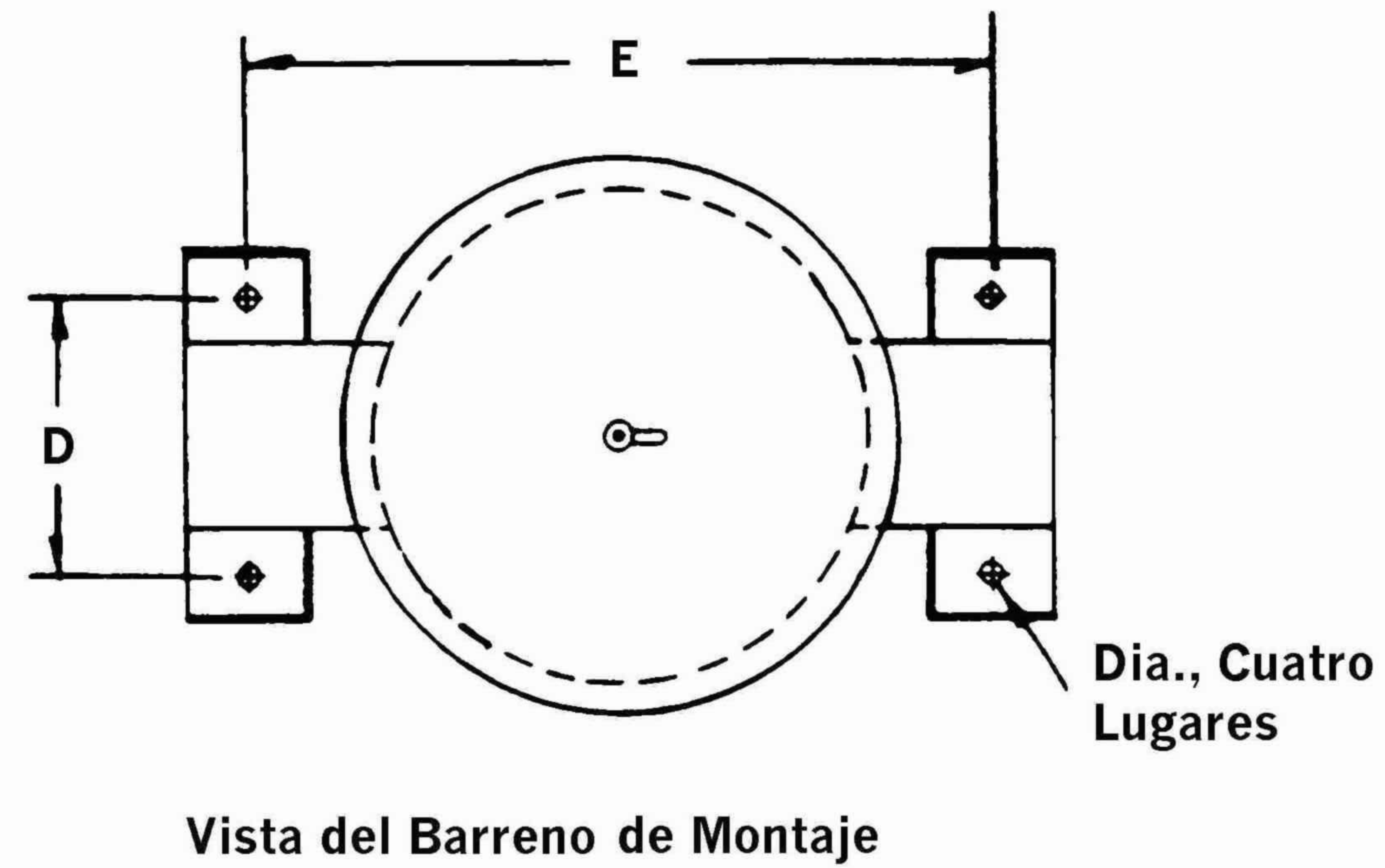


Figura 2.2 Filtro en línea

Filtros recibidores - Los filtros recibidores se usan para separar el material que viene en la corriente de aire en los sistemas a vacío. Su operación es simple, al entrar aire con material a la cámara, pasa a través de los filtros hasta la descarga de aire limpio. Los filtros, que en general son bolsas de diferentes tipos de tela (véase la tabla 2.1), reciben impulsos de aire comprimido, que hacen que el material se separe de las bolsas y caiga, mientras el aire limpio pasa a través de ellas (fig. 2.3). El material cae al fondo de la cámara y para poder desecharlo es necesario detener el ventilador o soplador, ya que se necesita mantener un vacío en la cámara o de lo contrario el material nunca saldrá del filtro. Una manera para desechar el material y mantener al mismo tiempo el vacío es mediante el uso de una válvula rotatoria. Esta combinación es una de las más usadas en los sistemas de transporte neumático, pues permite succionar y empujar un material al mismo tiempo (fig. 2.4).

Tabla 2.1 Propiedades de algunas telas filtrantes.

Tela	Temperatura de operación, °F	Resistencia química	
		Acidos	Alcalis
Algodón	180	Pobre	Buena
Lana	200	Buena	Pobre
Nylon	200	Pobre	Buena
Polipropileno	200	Excelente	Excelente
Orlón	250	Buena	Aceptable
Dacrón	275	Buena	Aceptable
Fibra de vidrio	550	Excelente	Pobre
Nomex	390	Aceptable	Buena
Polietileno	165	Buena	Buena
Teflón	390	Excelente	Excelente

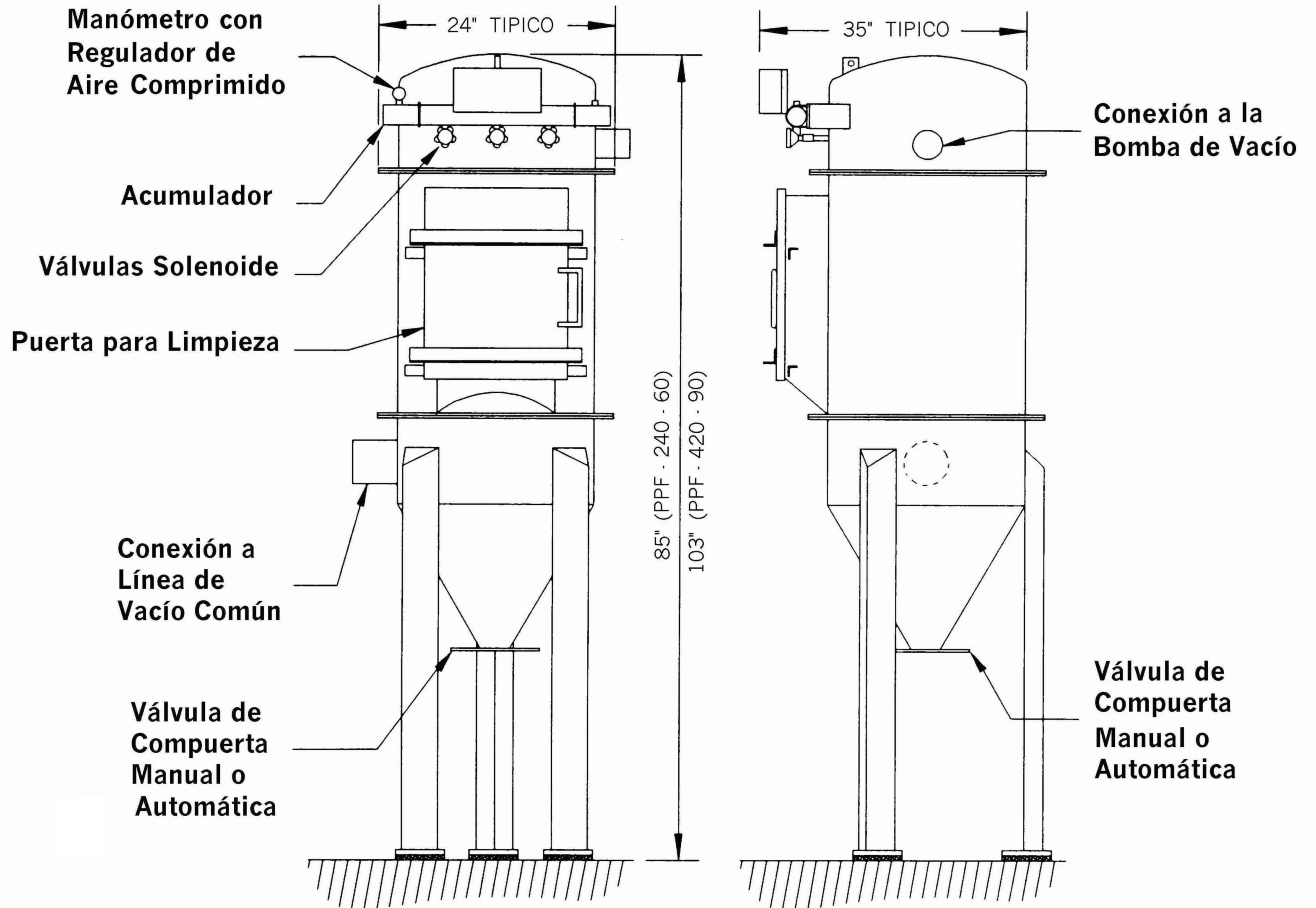


Figura 2.3 Colector recibidor

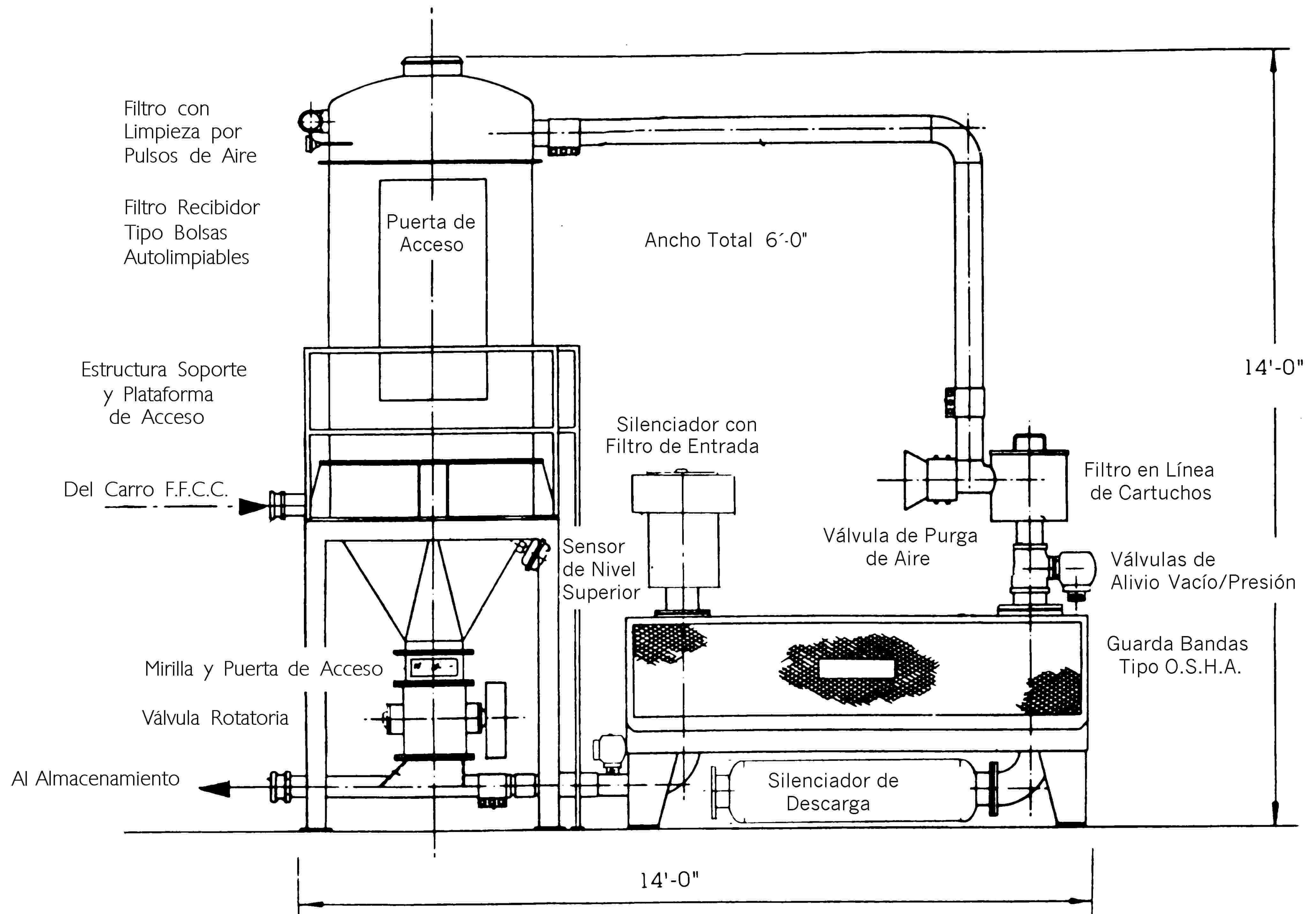


Figura 2.4 Acoplamiento entre el paquete soplador y el filtro recibidor

En general, para el diseño de un filtro recibidor, se necesitan el flujo de aire que pasará a través de él en CFM, la cantidad de granos (partículas) por libra de aire-material, el tamaño de partícula, la temperatura, la presión de operación, la relación de carga de material en el polvo (por ejemplo, 5:1 quiere decir que de cada cinco granos, uno va a las bolsas del colector y los otros cuatro a su destino), los filtros recibidores se miden en área de filtrado.

Ciclón recibidor - Los ciclones se usan en separaciones aire-material en sistemas neumáticos de baja o mediana presión. No se usan para retener el 100% de polvos. Su uso se limita sólo para materiales que no contengan finos (fig. 2.5). Al ser mucho más baratos que un filtro recibidor, son la mejor opción en el manejo de materiales granulares, además de tener una alta eficiencia. En su descarga siempre se usa algún tipo de sello continuo, como una válvula rotatoria o una válvula de contrapeso. Los ciclones se diseñan en base al volumen en CFM que pasa a través de ellos.

Válvulas rotatorias (alimentadores) - Uno de los equipos más importantes en un sistema de transporte neumático es sin duda la válvula rotatoria, en ocasiones llamada alimentador rotatorio pues muchas veces es la parte que alimenta de material al sistema y cuando inclusive se le dota de un motor con velocidad variable, se convierte fácilmente en un equipo dosificador del tipo volumétrico (fig. 2.6). Esta válvula rotatoria siempre aparece en la descarga de una tolva y sus múltiples aspas le permiten que al girar, mientras unas aspas descargan el material, las otras hacen el sello de la tolva, evitando que se rompa el vacío en un filtro recibidor o que se introduzca presión a la tolva cuando descarga a una línea de transporte neumático. En términos simples, es una válvula de sellado y alimentación continua y combinada. Cuando se usan en un sistema de transporte neumático, se requiere utilizar las denominadas HD (heavy duty) para trabajo pesado o MD (multy duty) para trabajo mediano, pues son las únicas que garantizan un sellado efectivo. En general estas denominaciones son de uso estándar. Esta válvula se determina en base a la cantidad de material que pasará a través de ella en lb/hr; en la capacidad volumétrica, ft³/revolución, en el factor de llenado de las aspas y en el tipo de material a manejar.

Línea de transporte – En un sistema de transporte neumático en fase diluida la tubería de uso común es de pared delgada, donde su tamaño se denomina en OD (diámetro exterior) y su pared es en algún calibre.

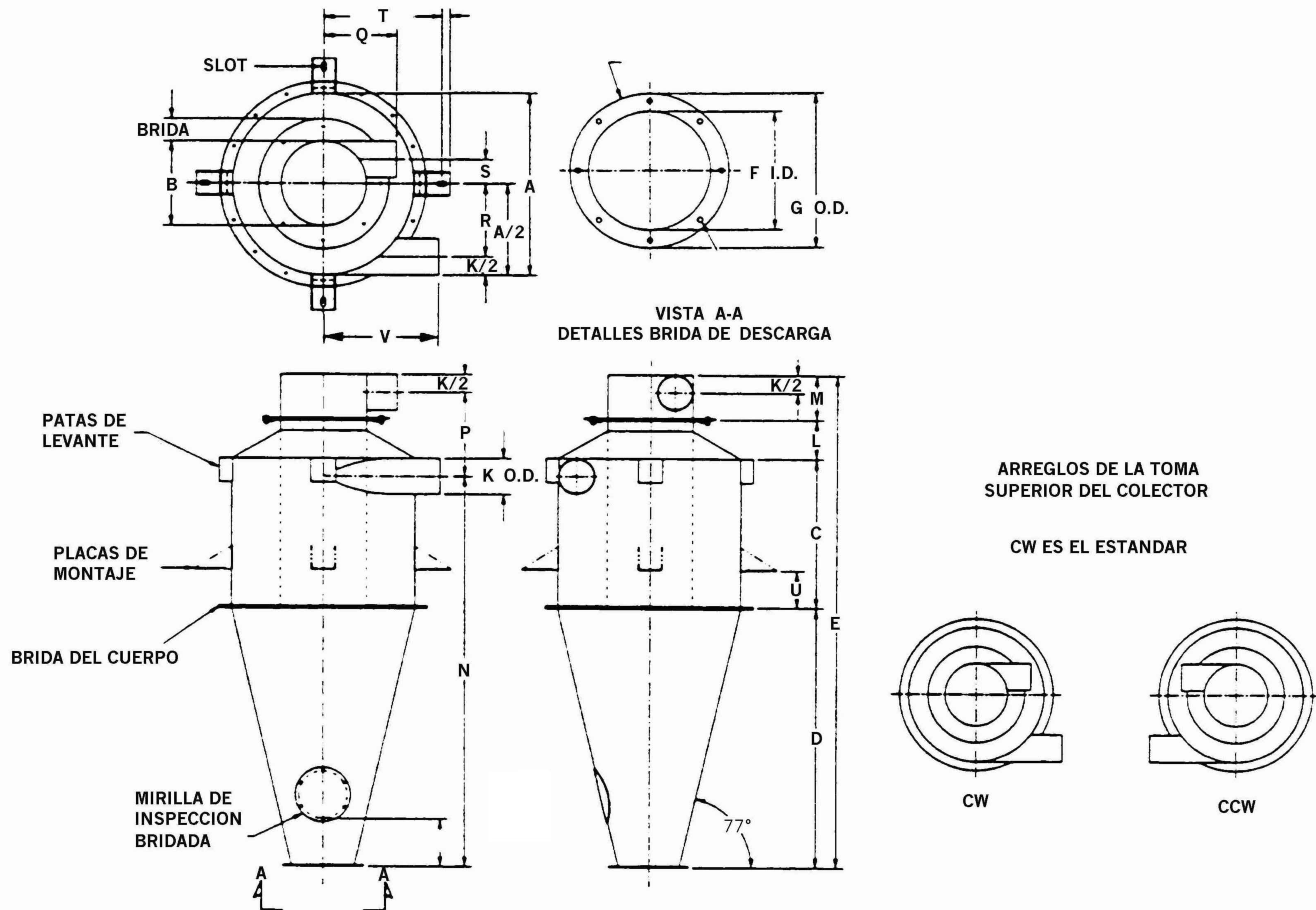


Figura 2.5 Ciclón recibidor

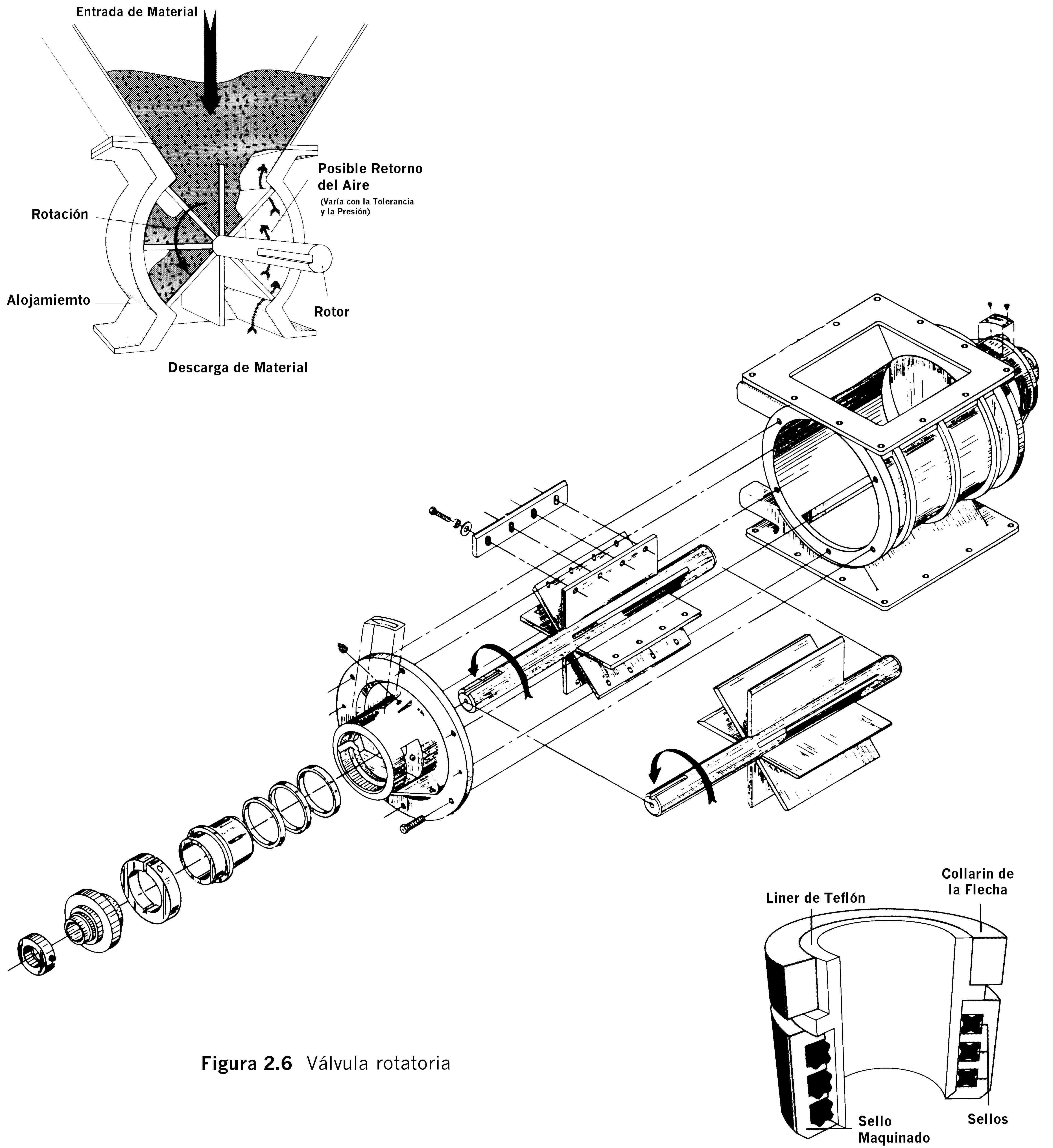


Figura 2.6 Válvula rotatoria

Normalmente son tubos con costura, de acero al carbón, aluminio o acero inoxidable T-304. Las uniones se hacen por medio de coples de compresión, no se usan bridas. Los codos son de radio largo y de una sola pieza, con pared lisa y uniforme. La manguera flexible solo se usa en tramos cortos, ya sea para toma de material o para desvío, tiene alma de acero en espiral y se ajusta a la tubería mediante abrazaderas. Los tamaños más comunes para este tipo de tubería son desde 2 a 6" y normalmente no se fabrican en México (fig. 2.7).

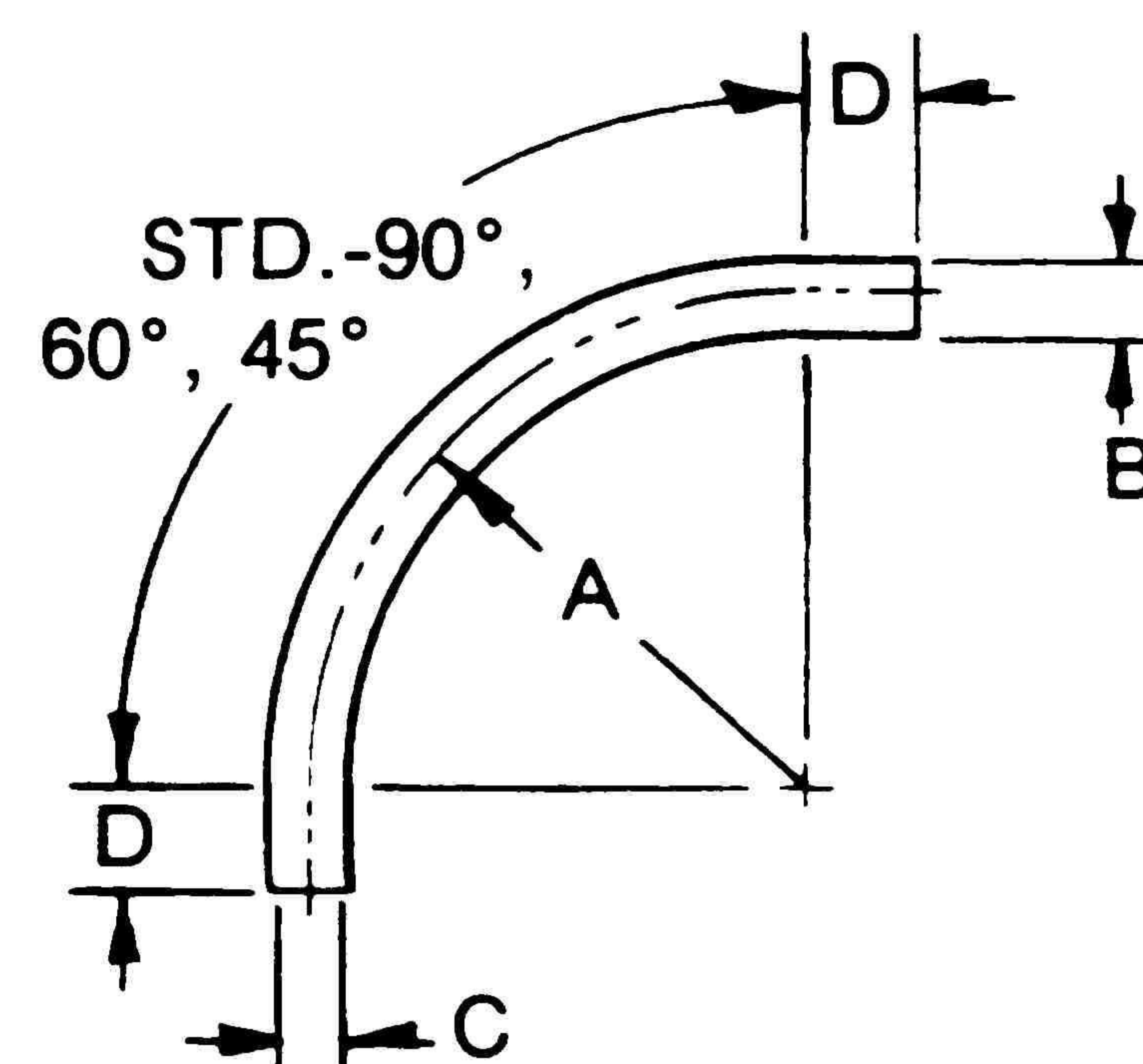
Válvulas divergentes - El desvío de líneas de transporte o válvulas divergentes, como comúnmente se les llama, se usa para desviar la corriente de material desde una sola línea hasta dos o más líneas separadas, o a la inversa. Existen diferentes tipos en el mercado, para trabajo ligero, mediano o pesado, diferentes materiales de construcción, manuales o automáticas, con desviadores tipo paletas o tipo túnel. Hay a 30, 45, 60 ó 90° o inclusive configuraciones especiales. En la fase diluida son de uso común las de tipo paleta y trabajo ligero (fig. 2.8).

Silos de almacenamiento - Cuando se recibe material a granel, ya sea en camión tolva o en furgones de ferrocarril, es necesario tener algún contenedor en la planta para almacenarlo, no es posible tomar el material para su proceso directamente de los camiones o furgones, pues sería poco práctico y sumamente caro ya que en general son propiedad de los fabricantes y se rentan por horas o días. En transportes neumáticos es necesario contar con silos de almacenamiento, siendo de uso común los silos atornillables y fabricados en acero al carbón con algún recubrimiento epóxico en su interior. La ventaja de estos silos es que se arman en campo y cuando es necesario un cambio de lugar, simplemente se desmontan para volverse a armar en el nuevo sitio. Su capacidad puede variar desde 10 hasta 500 toneladas. La configuración de su tolva puede variar, aunque los más comunes son de 45 y 60° de inclinación (fig. 2.9). Esta clase de silos siempre tienen techo. Para su montaje es necesaria una base de concreto. Aquí es muy importante el lugar físico de la instalación, pues se debe tomar en cuenta la zona sísmica. Así, no es lo mismo un silo para Altamira, Tamps., donde casi no tiembla, que otro en la Ciudad de México, donde se considera una zona sísmica alta. Así, aunque los dos silos sean del mismo tamaño y volumen, el de la Ciudad de México será más robusto y, por lo tanto, más caro que el de Altamira.

CODOS DE RADIO LARGO		
TUBING (TAMAÑOS O.D.)	RADIO DE CURV. (PULGADAS)	CALIBRE
2"	24, 36, 48	11, 14, 16
2.5"	24, 36, 48	11, 14, 16
3"	24, 36, 48	11, 14, 16
4"	24, 36, 48, 60	11, 14, 16
5"	24, 36, 48, 60, 72	11, 14
6"	24, 36, 48, 60, 72	11
8"	48, 60, 72	11
10"	50, 60, 72, 96	11
TUBO (TAMAÑOS I.D.)	RADIO DE CURV. (PULGADAS)	CALIBRE
2" (2.375 O.D.)	24, 36, 48	Sch. 5, 10, 40, 80
3" (3.500 O.D.)	24, 36, 48	Sch. 5, 10, 40, 80
4" (4.500 O.D.)	24, 36, 48	Sch. 5, 10, 40, 80
5" (5.563 O.D.)	24, 36, 48, 60, 72	Sch. 10, 40, 80
6" (6.625 O.D.)	36, 48, 60, 72	Sch. 10, 40, 80
8" (8.625 O.D.)	48, 60, 72	Sch. 10, 40, 80
10" (10.750 O.D.)	50, 60, 72	Sch. 10, 40, 80

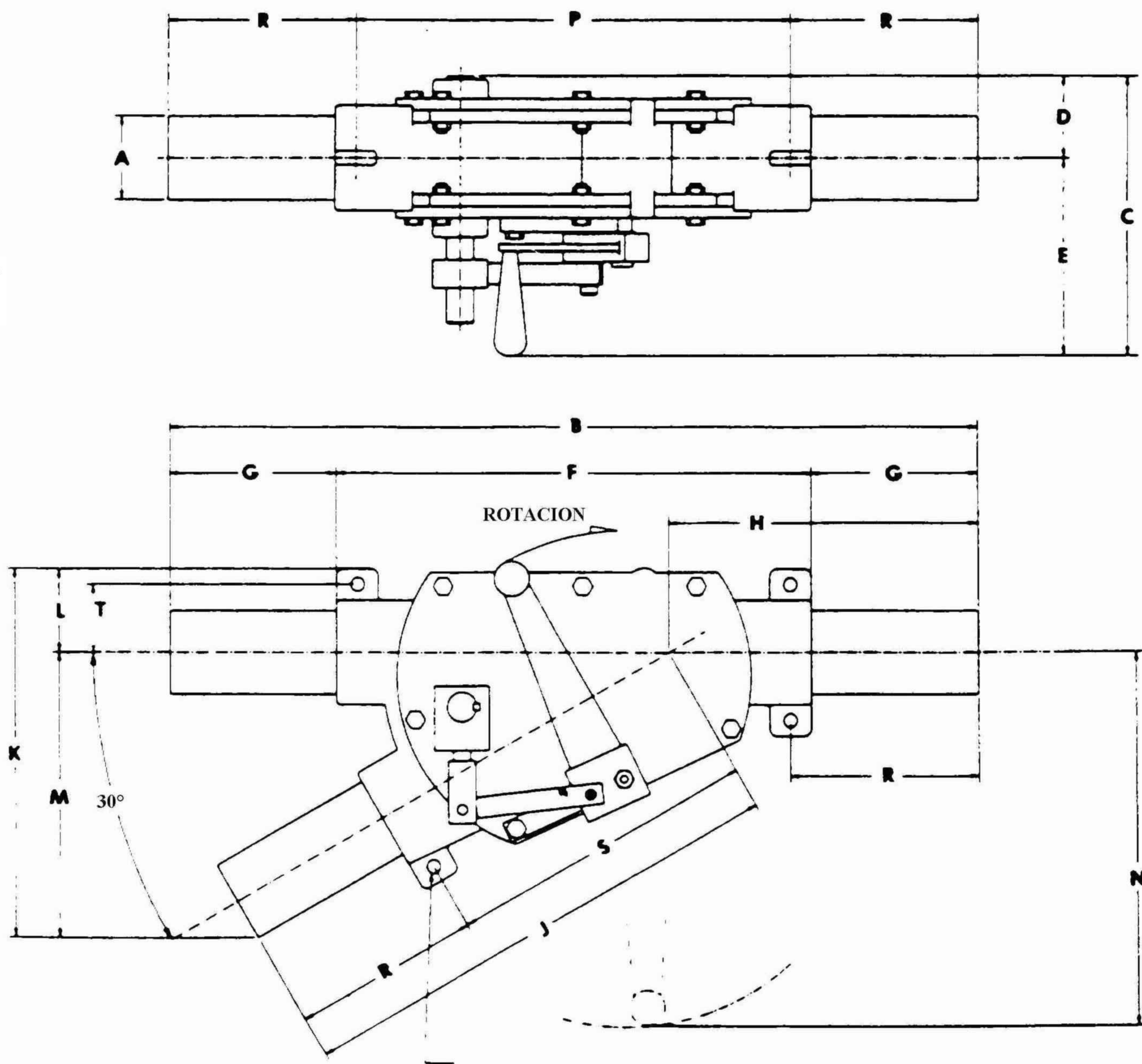
TUBING	
O.D.	CALIBRE
2"	11, 14, 16
2.5"	11, 14, 16
3"	11, 14, 16
3.5"	11, 14, 16
4"	11, 14, 16
5"	11, 14, 16
6"	11, 14, 16
8"	11, 14, 16
10"	11, 14

TUBO	
DIAMETRO	CEDULA
2" I.D. (2.375 O.D.)	5, 10, 40, 80
3" I.D. (3.500 O.D.)	5, 10, 40, 80
4" I.D. (4.500 O.D.)	5, 10, 40, 80
5" I.D. (5.563 O.D.)	5, 10, 40, 80
6" I.D. (6.625 O.D.)	5, 10, 40, 80
8" I.D. (8.625 O.D.)	10, 40, 80

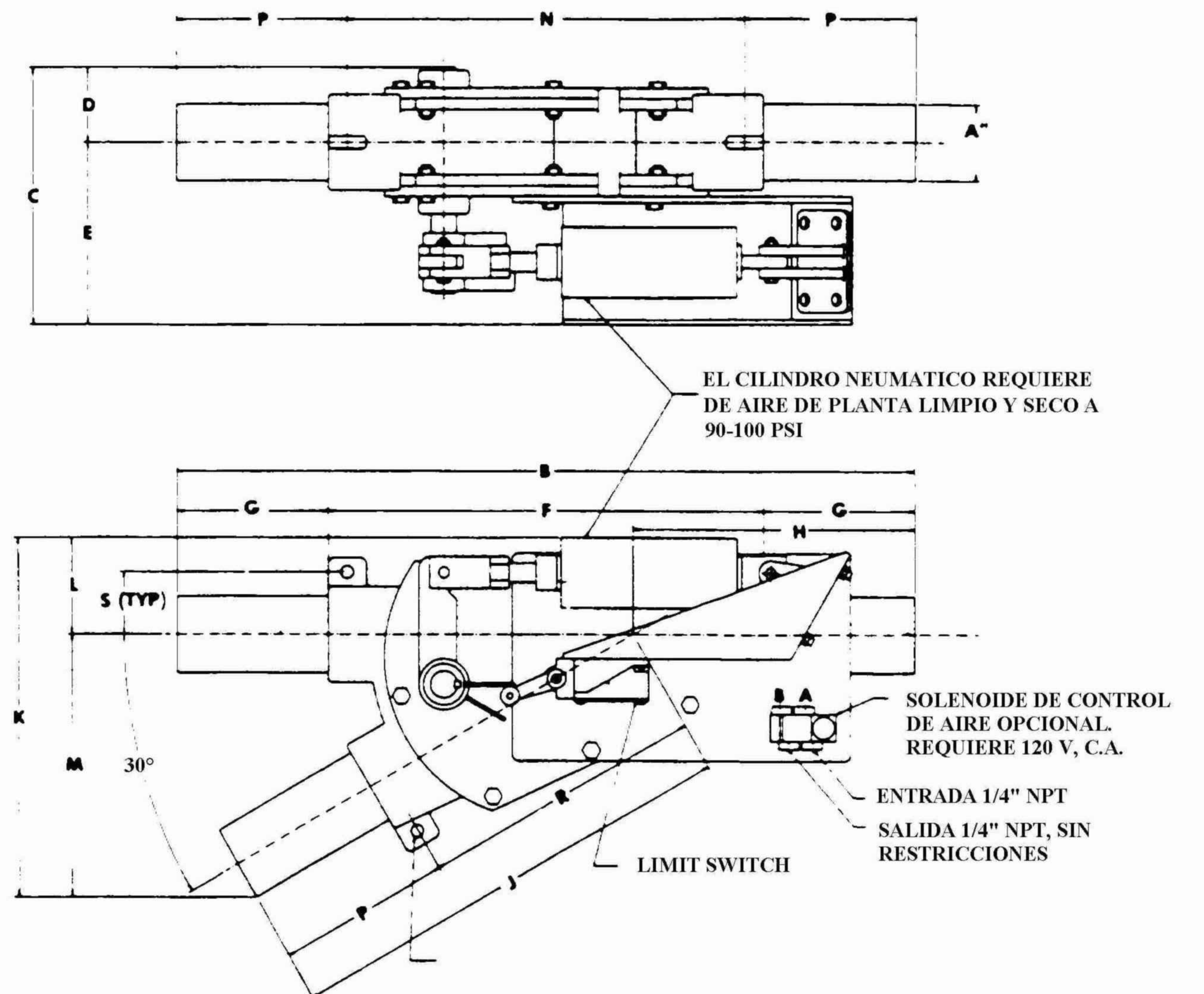
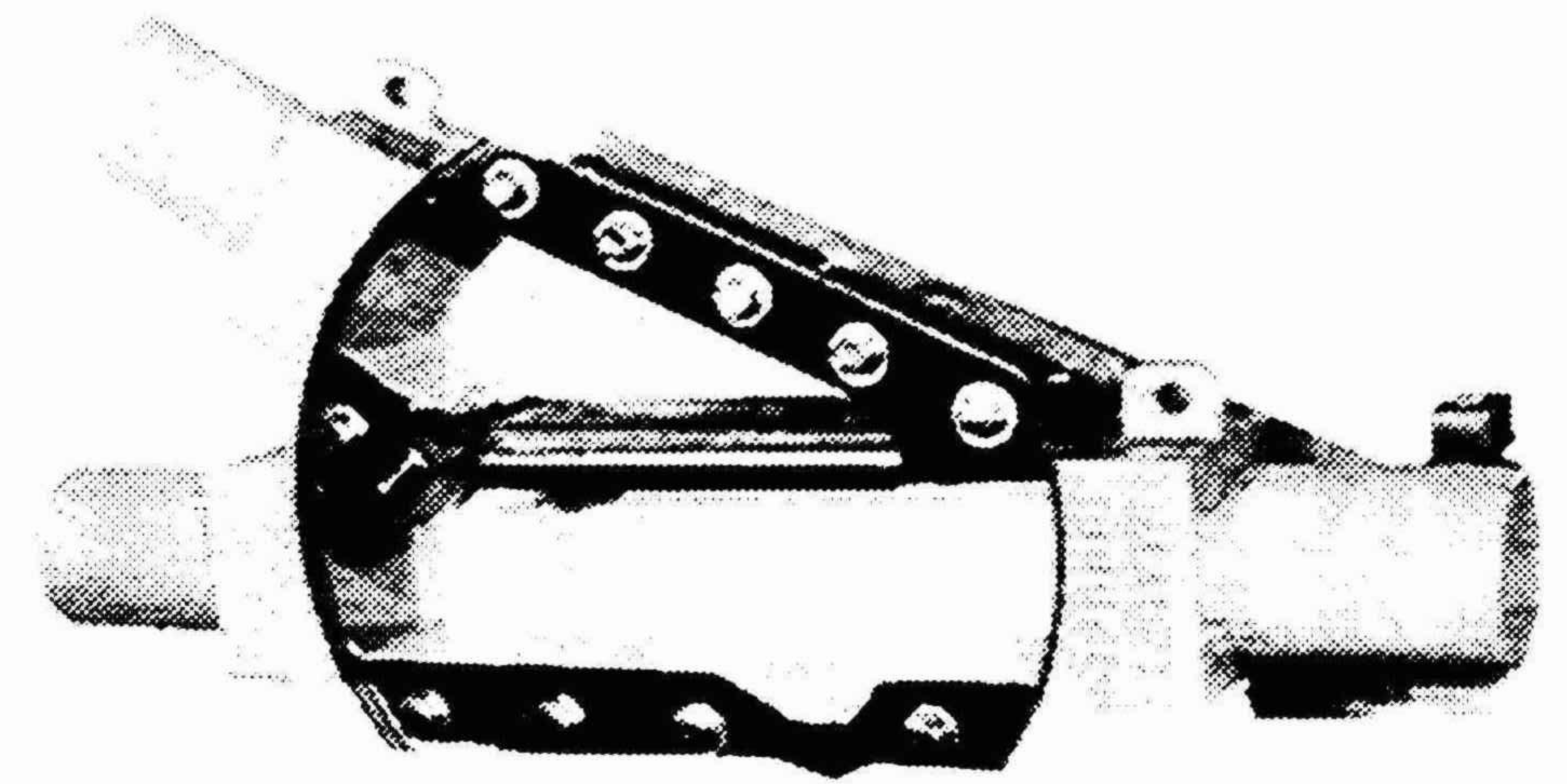


- A = Radio
- B = Diámetro Exterior
- C = Diámetro Interior
- D = Longitud Tangencial Nominálmente
2 Veces el Tamaño O.D.

Figura 2.7 Tubería de transporte



VALVULA DIVERGENTE MANUAL



VALVULA DIVERGENTE NEUMATICA

Figura 2.8 Válvulas divergentes.

Estos sistemas están diseñados para transportar pellets de plástico virgen, con tamaños de 1/16 a 3/16", pesando aproximadamente 45 lbs. por pie cúbico, desde un carro de ferrocarril hasta silos de almacenamiento.

Cada sistema incluye los siguientes equipos para llenar un silo de almacenamiento, como se ilustra:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Venteo para el furgón | 7. Válvula rotatoria |
| 2. Adaptador de descarga | 8. Filtro en línea |
| 3. 15 pies de manguera | 9. Paquete soplador |
| 4. 20 pies de manguera | 10. 10 pies de manguera |
| 5. Coples de línea | 11. Tablero de control |
| 6. Recibidor neumático | 12. Silo de almacenamiento |

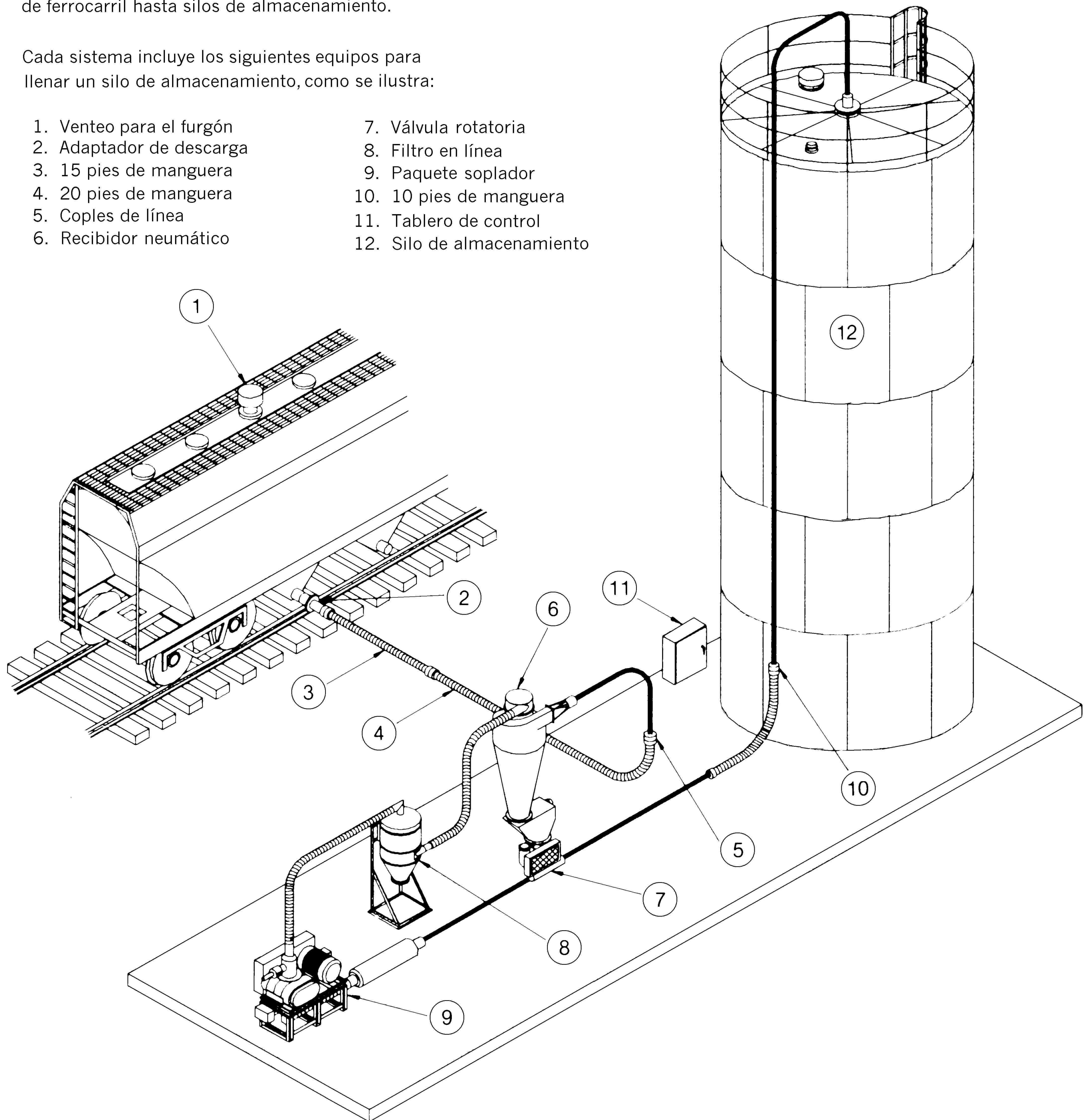


Figura 2.9 Sistema de descarga de materiales a vacío-presión, donde se muestra el silo de almacenamiento

Indicadores de nivel - Todas las tolvas o silos de almacenamiento necesitan un sistema que les permita controlar su nivel de llenado o de vaciado, pues hay que recordar que son objetos opacos y en muchas ocasiones con tapas y que los sólidos no son uniformes como los líquidos, lo que impide el uso de rotámetros o indicadores de mirilla. Los indicadores o sensores de nivel ayudan a controlar en nivel de material presente en una tolva o silo, evitando derramamientos o falta de material para alimentación. Existen en el mercado diferentes tipos de indicadores de nivel, por ejemplo, para determinar el nivel en un punto específico se usan del tipo rotatorio, de capacitancia, piezo-vibratorio, de diafragma, por microondas, etc.; para indicación continua se usan de capacitancia, microondas, tipo yo-yo, sónicos, etc.; como detectores de flujo se usan de microondas, por interruptor de límite, sónicos, etc. (fig. 2.10).

Tableros de control - Dependiendo de la complejidad del sistema de transporte neumático, será también la del tablero de control. Hay controles que prácticamente sólo sirven para encender o apagar el motor del soplador cuando el sistema es muy sencillo, pero existen sistemas sumamente complejos que involucran una gran cantidad de funciones y de equipo, lo que hace necesario un tablero de control más completo, en ocasiones con un PLC integrado. Con un tablero de este último tipo se pueden hacer prácticamente todas las funciones de un sistema de transporte neumático, desde encender o apagar el soplador, elegir destinos, detectar a los indicadores de nivel, conocer los cambios de presión o vacío, conectar los colectores de polvo, observar las revoluciones de la válvula rotatoria, etc. (fig. 2.11).

Equipos auxiliares para la industria del plástico - También llamados “equipos periféricos”, los equipos para transporte neumático en la industria del plástico se consideran como una especialidad, pues son de uso exclusivo para esta industria y las compañías que los ofrecen, además de ser especializadas son pocas, aunque últimamente y debido a la expansión de la industria del plástico, ha aumentado su número e importancia. Dentro de esta clase de equipos auxiliares se consideran los siguientes.

Recibidor de pellets - Tolva de recibo, aunque en realidad es una válvula de paso, que sirve para captar una cierta cantidad de material y alimentar directamente a la máquina inyectora o extrusora mediante cargas. Es un equipo sellado y su programador se puede ajustar para controlar la

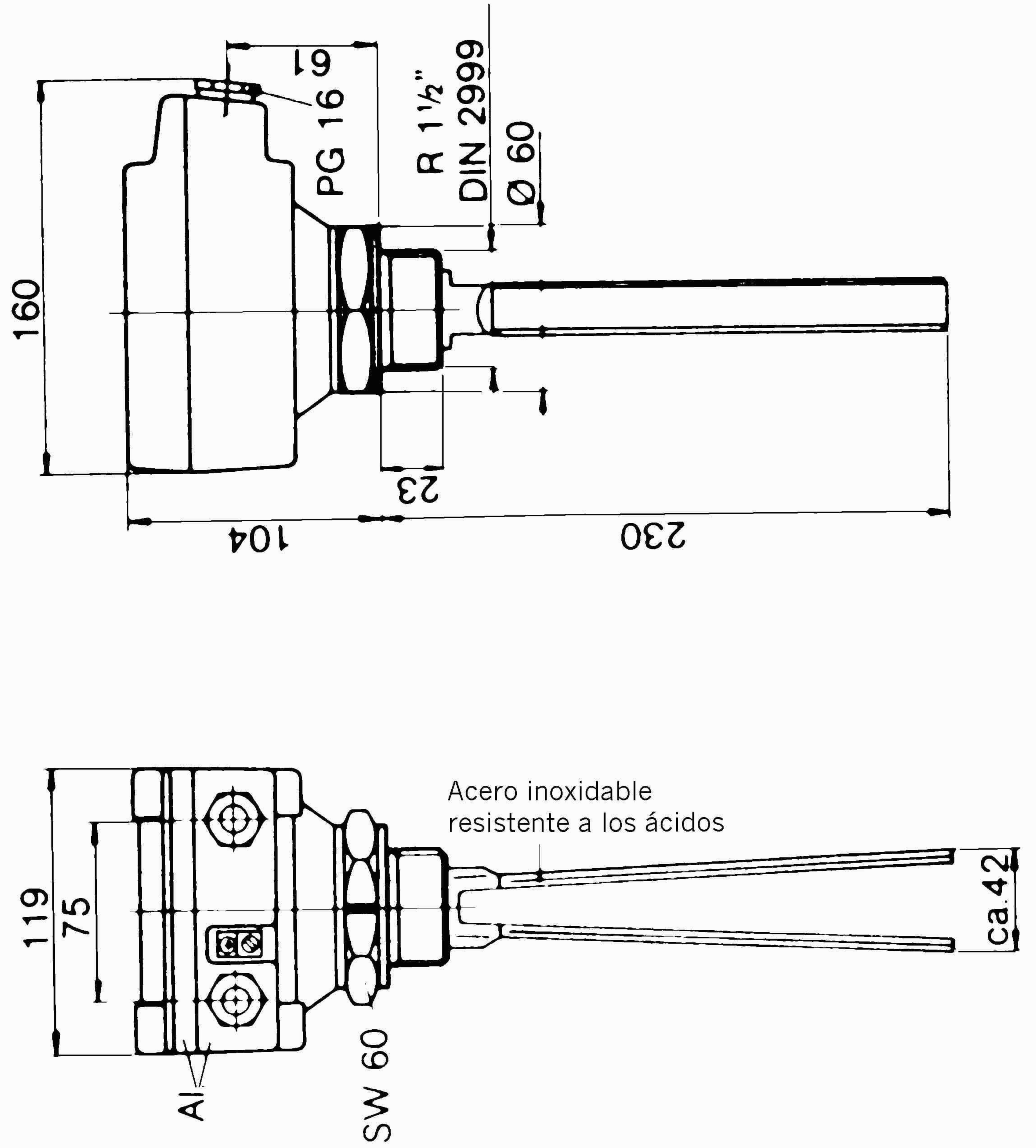
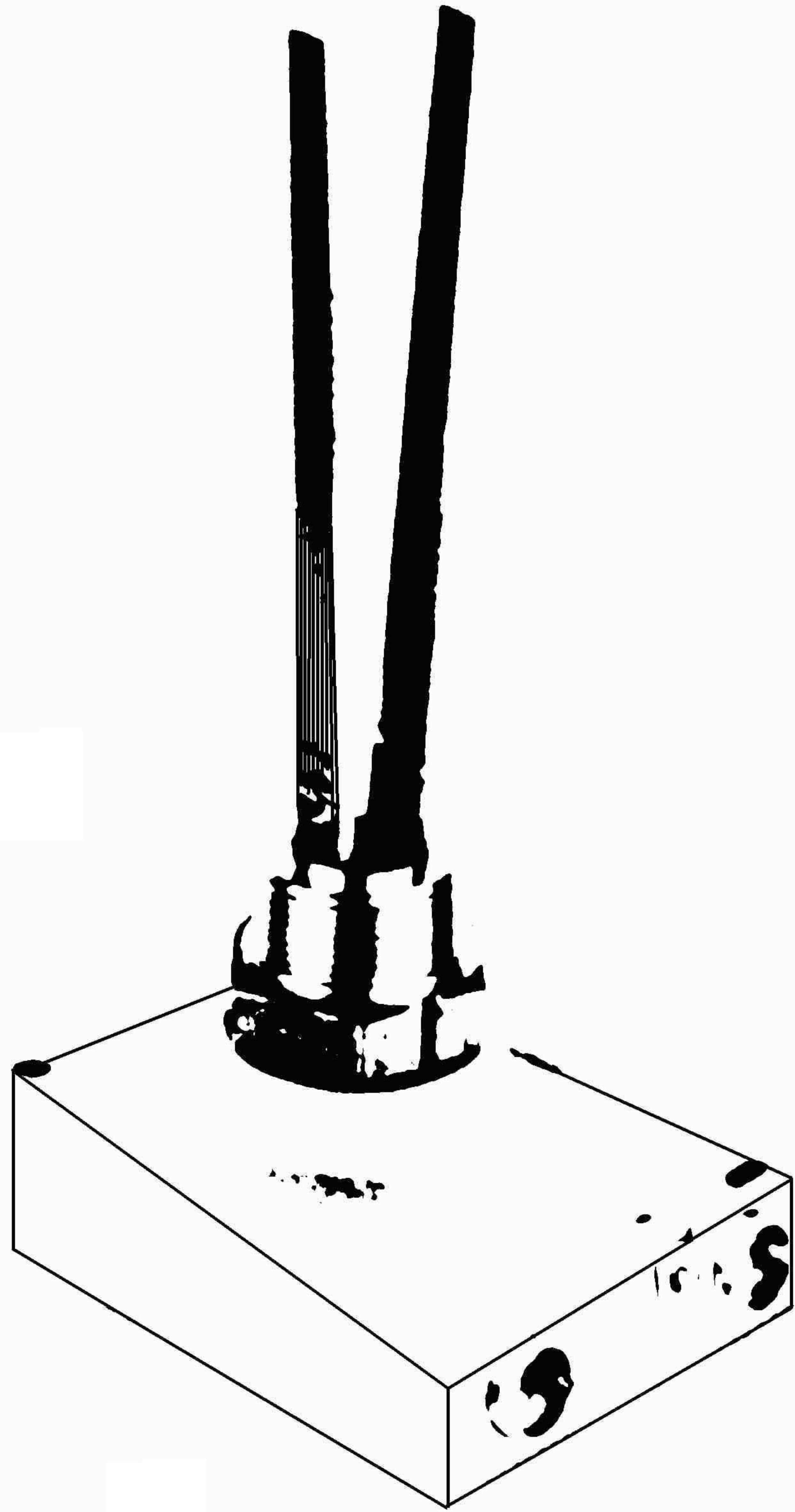


Figura 2.10 Indicador de nivel para sólidos, del tipo piezo-vibratorio

El tablero de control proporciona una operación de arranque/paro con corte automático a la señal de llenado de un sensor de nivel. Se incluye un selector para los diferentes destinos del sistema. Puede incluir una salida de 4-20 mA para una computadora remota o un PLC. El gabinete es en el NEMA deseado, de metal o plástico.

La parte exterior incluye botones, selectores, diagrama mímico del sistema y luces piloto. La parte interior incluye arrancadores de motores, relays lógicos y un transformador del control de 120 ó 460 volts. Se proporciona un interruptor principal.

49

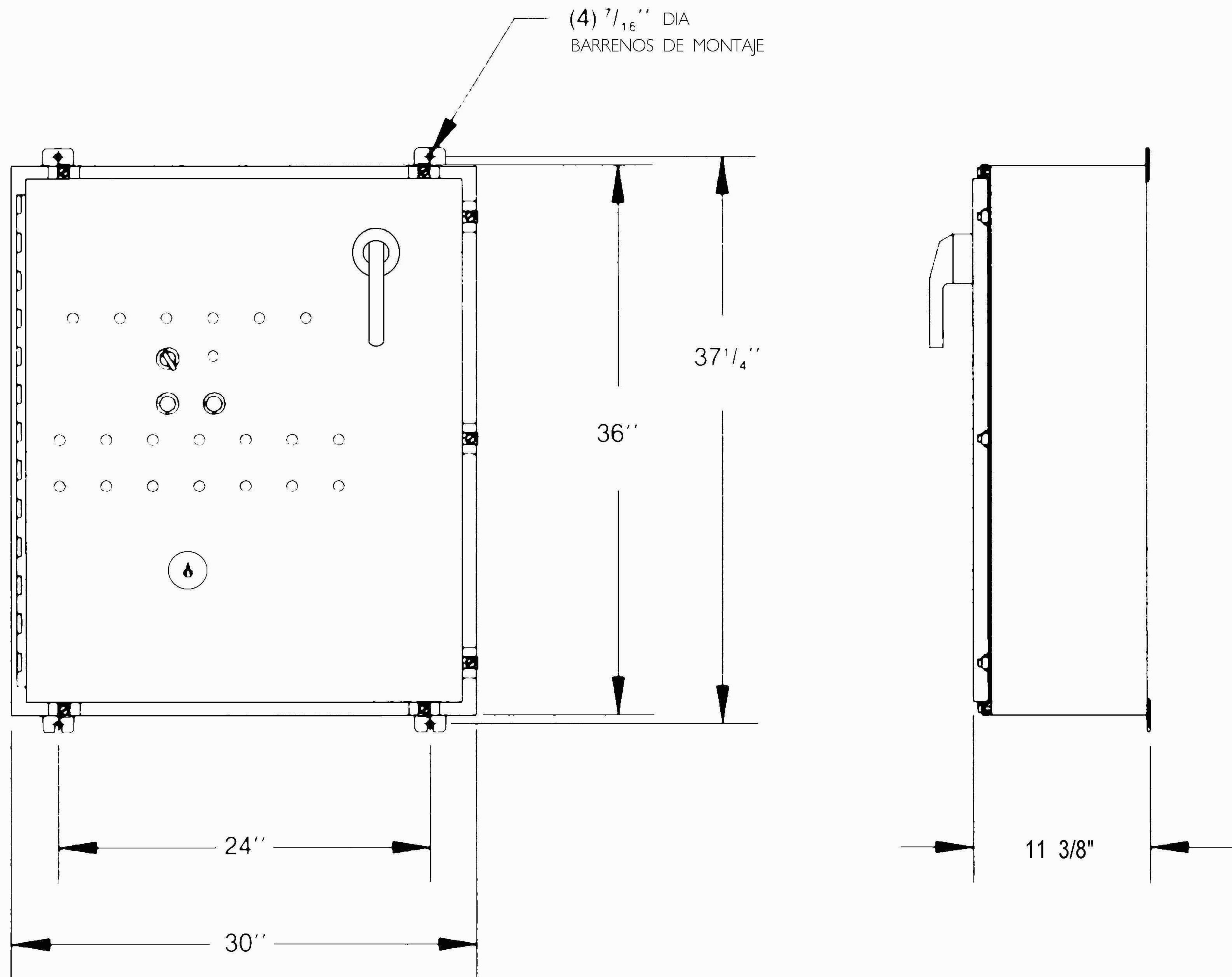


Figura 2.11 Tablero de control típico

cantidad de la carga, lo que le permite alimentar en forma continua y exacta a la boquilla de la inyectora o extrusora. Cuando es necesario alimentar varias máquinas a la vez, es posible colocar un receptor de producto en cada una de las máquinas en línea a un sistema de transporte neumático central y ajustarlos para que reciban el material justo cada uno y no falte en ninguna de las máquinas inyectoras o extrusoras. Con un solo tablero de control es posible controlar al mismo tiempo hasta 16 receptores de producto a la vez (fig. 2.12).

Mezcladores volumétricos o gravimétricos - En la industria del plástico es muy común la combinación de materiales vírgenes con recuperados, reciclados, aditivos, colorantes, colorante, etc., por lo que es necesario el uso de mezcladores. Cuando se requiere una mezcla algo homogénea y con un cierto grado de exactitud, se puede pensar en un mezclador volumétrico, el cual sólo dosifica los diferentes materiales mediante un tornillo y los mezcla. Cuando se requiere un mezclado altamente homogéneo y exacto, se debe pensar en un mezclador gravimétrico el cual, además de dosificar, también pesa los materiales para detectar las diferencias en densidades que suelen acompañar a los mismos materiales de distintas capas o fabricantes. Tanto los mezcladores volumétricos como los gravimétricos tienen la capacidad de almacenar un gran número de formulaciones, lo cual es sumamente útil cuando se producen diferentes tipos de productos. Esta clase de equipos cuentan con tableros de control basados en PLC. En la figura 2.13 se muestra un mezclador volumétrico estándar y en la 2.14 un mezclador gravimétrico típico.

Secadores/deshumidificadores de plástico - Muchos plásticos, como el PET, no pueden ser procesados si no han sido secados previamente, pues la humedad les confiere pérdida de propiedades físicas. Para evitar esta situación es necesario el uso de secadores o deshumidificadores, los cuales realizan su función mediante aire caliente y cámaras de deshumidificación. Estos equipos pueden estar separados de las máquinas inyectoras o extrusoras o directamente encima de ellas, para eficientar el proceso. Los secadores se diseñan en base al tipo de material y la capacidad a manejar (fig. 2.15).

Dosificador de aditivos - En la fabricación de artículos de plástico muchos procesos requieren de agregar algún colorante o aditivos, como bloqueadores u.v., fungicidas, retardantes a la flama, eliminadores de estática, suavizadores, etc., los cuales son agregados mediante una segunda

PARA UN PRODUCTO

PARA DOS PRODUCTOS

51

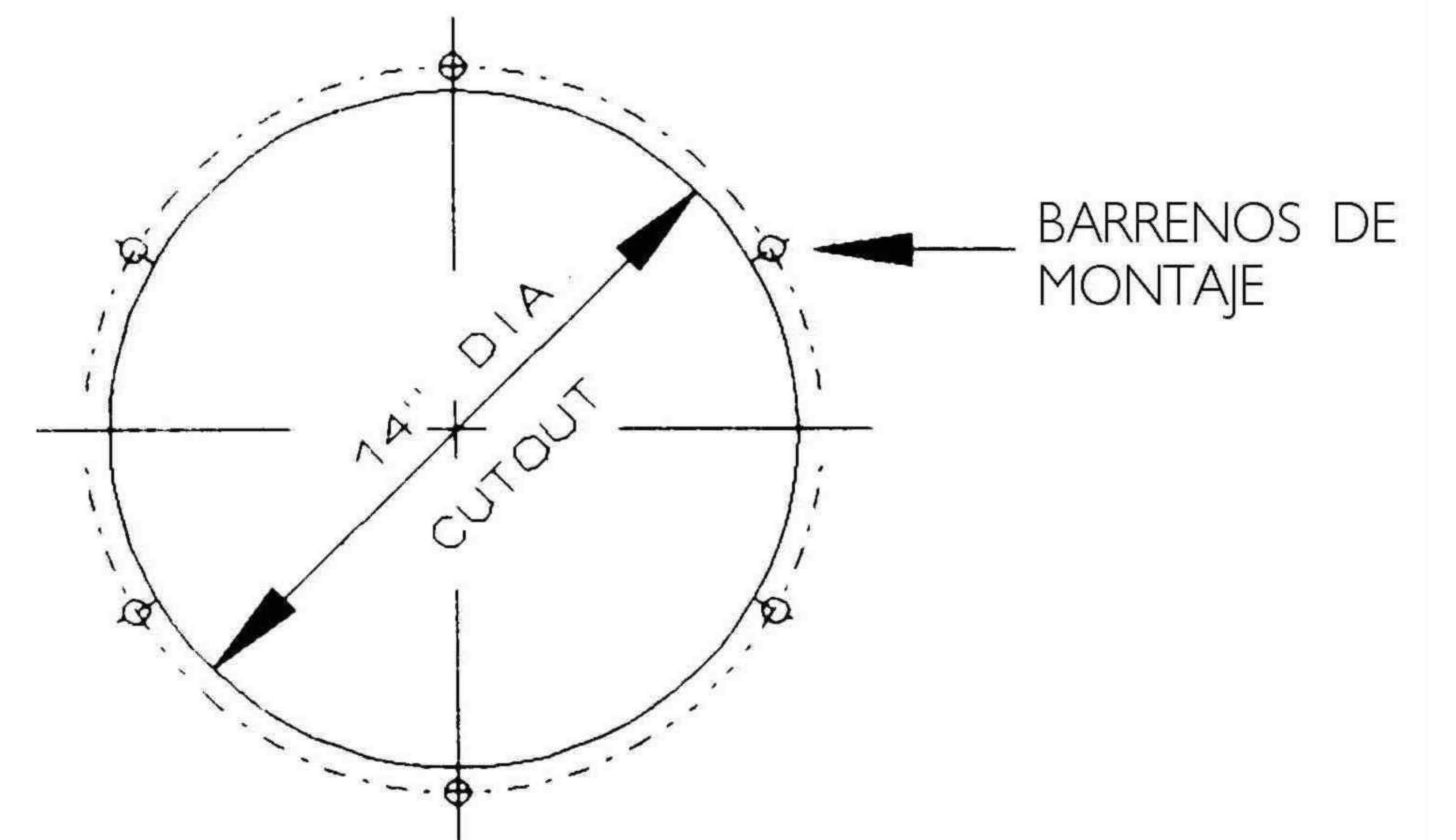
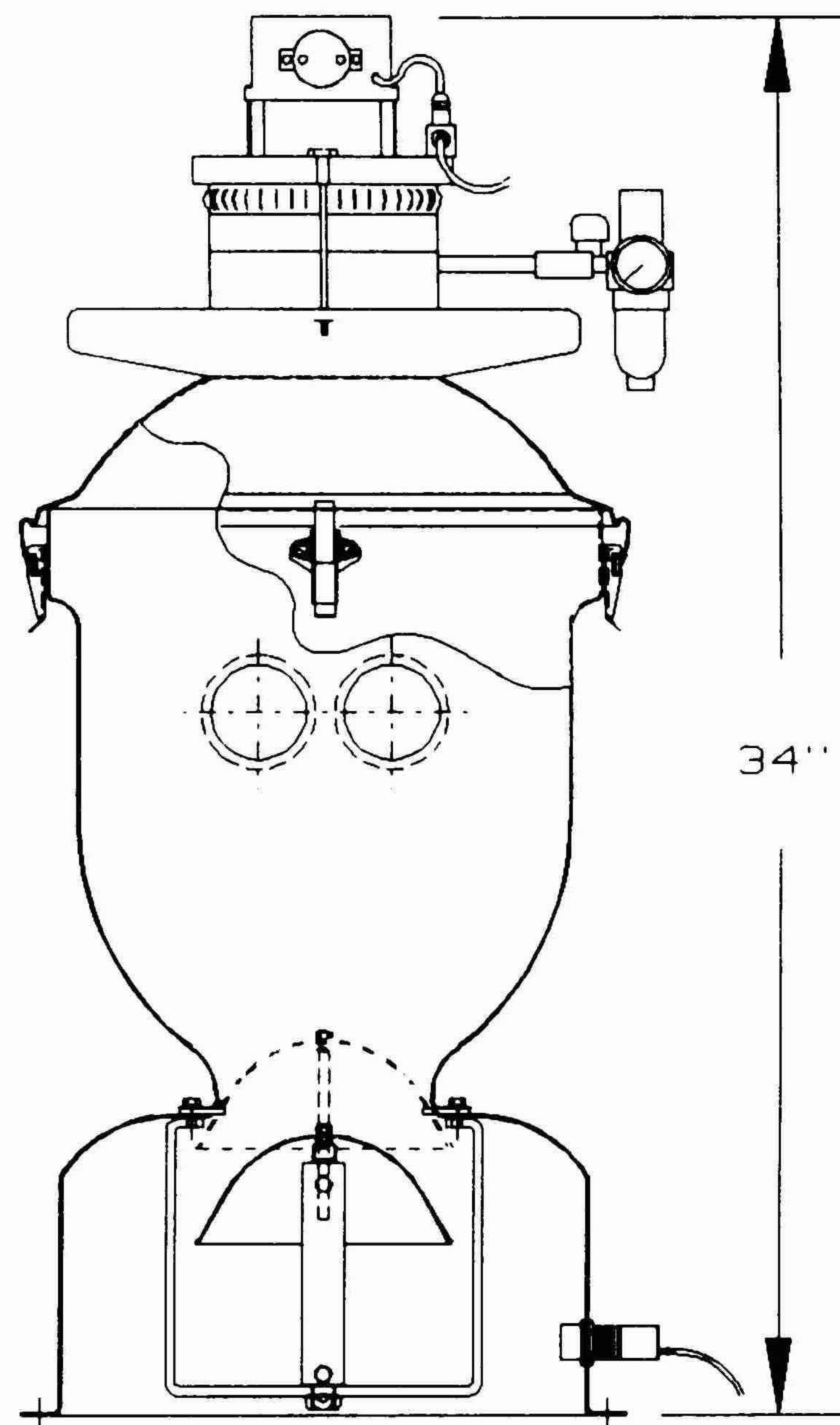
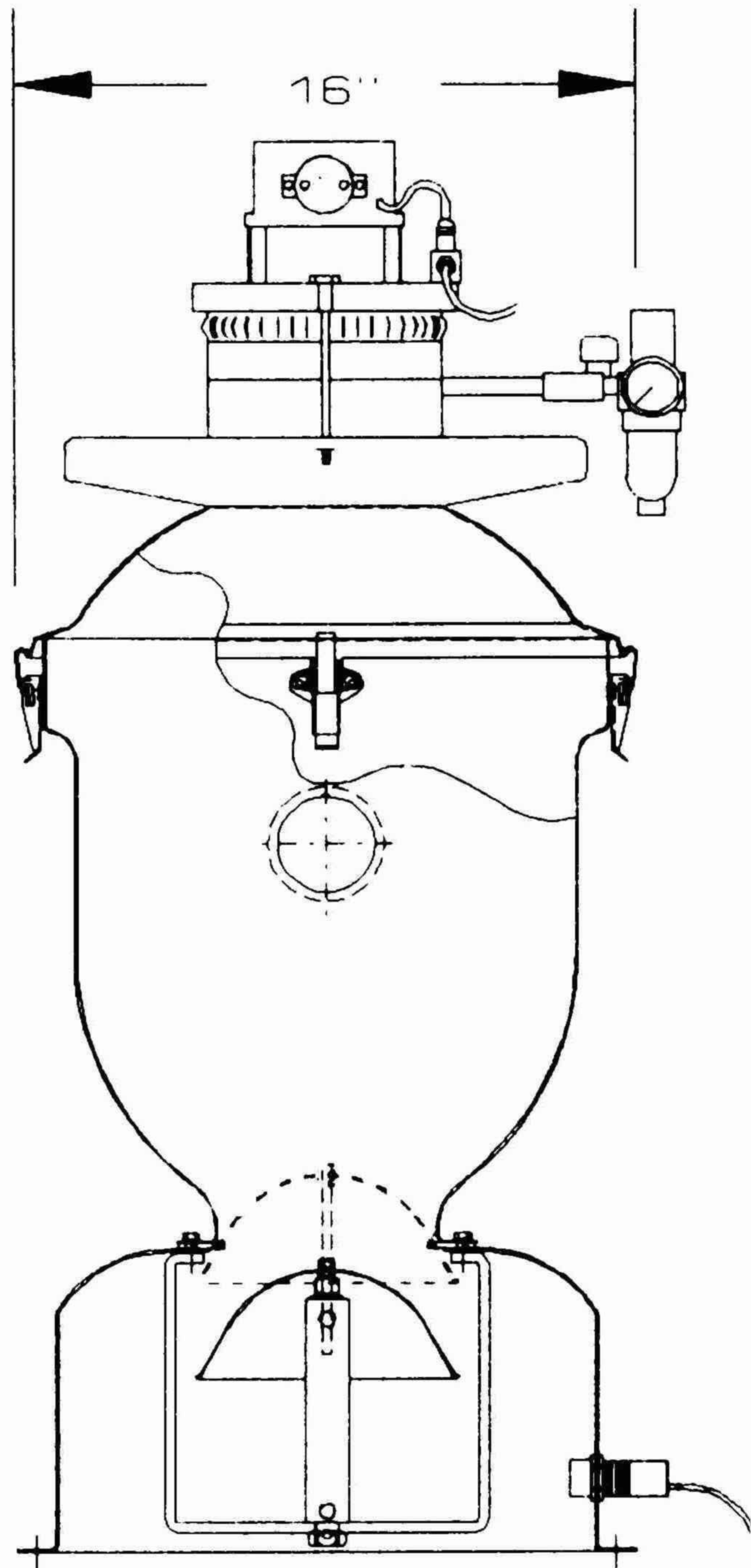


Figura 2.12 Recibidor de pellets

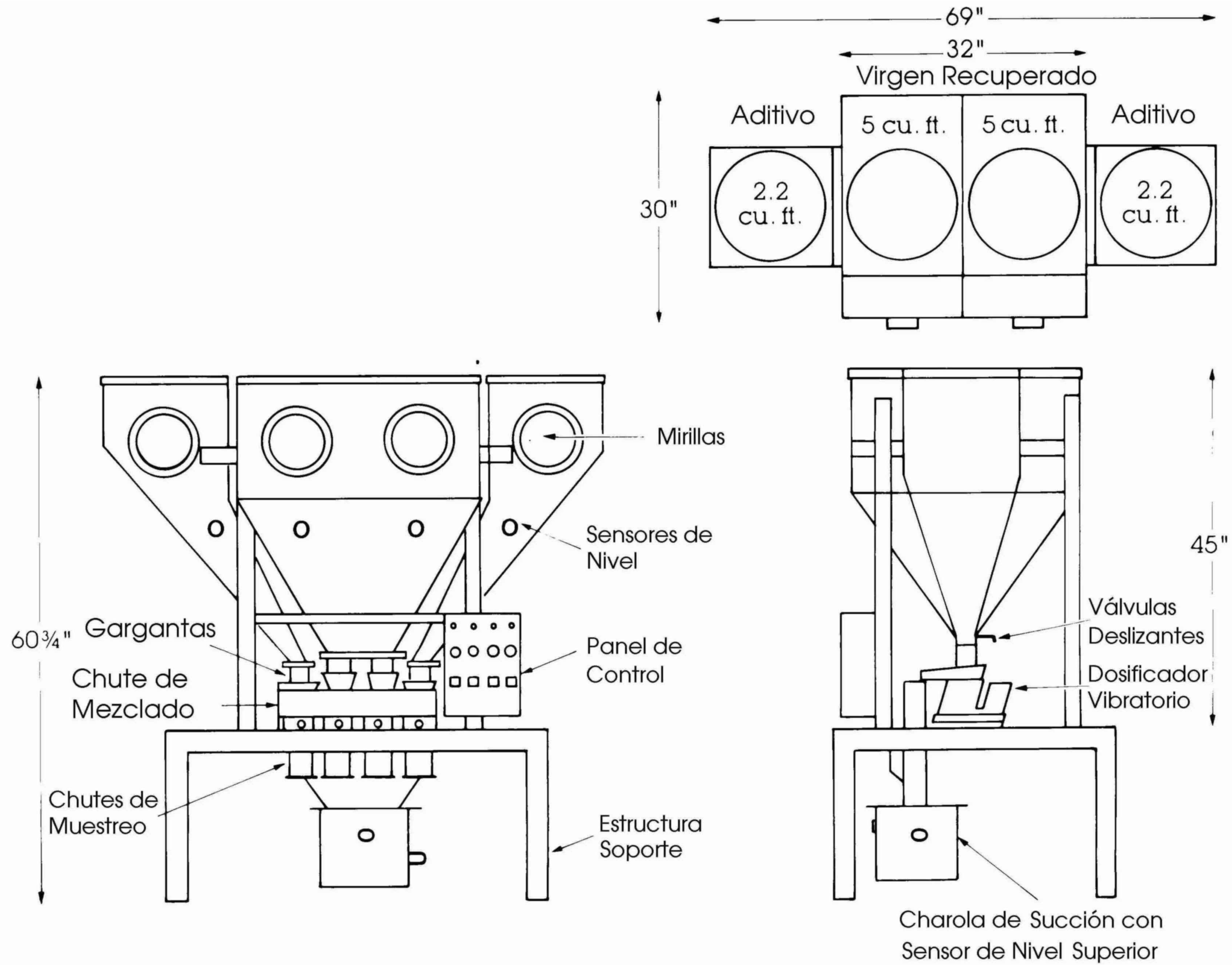
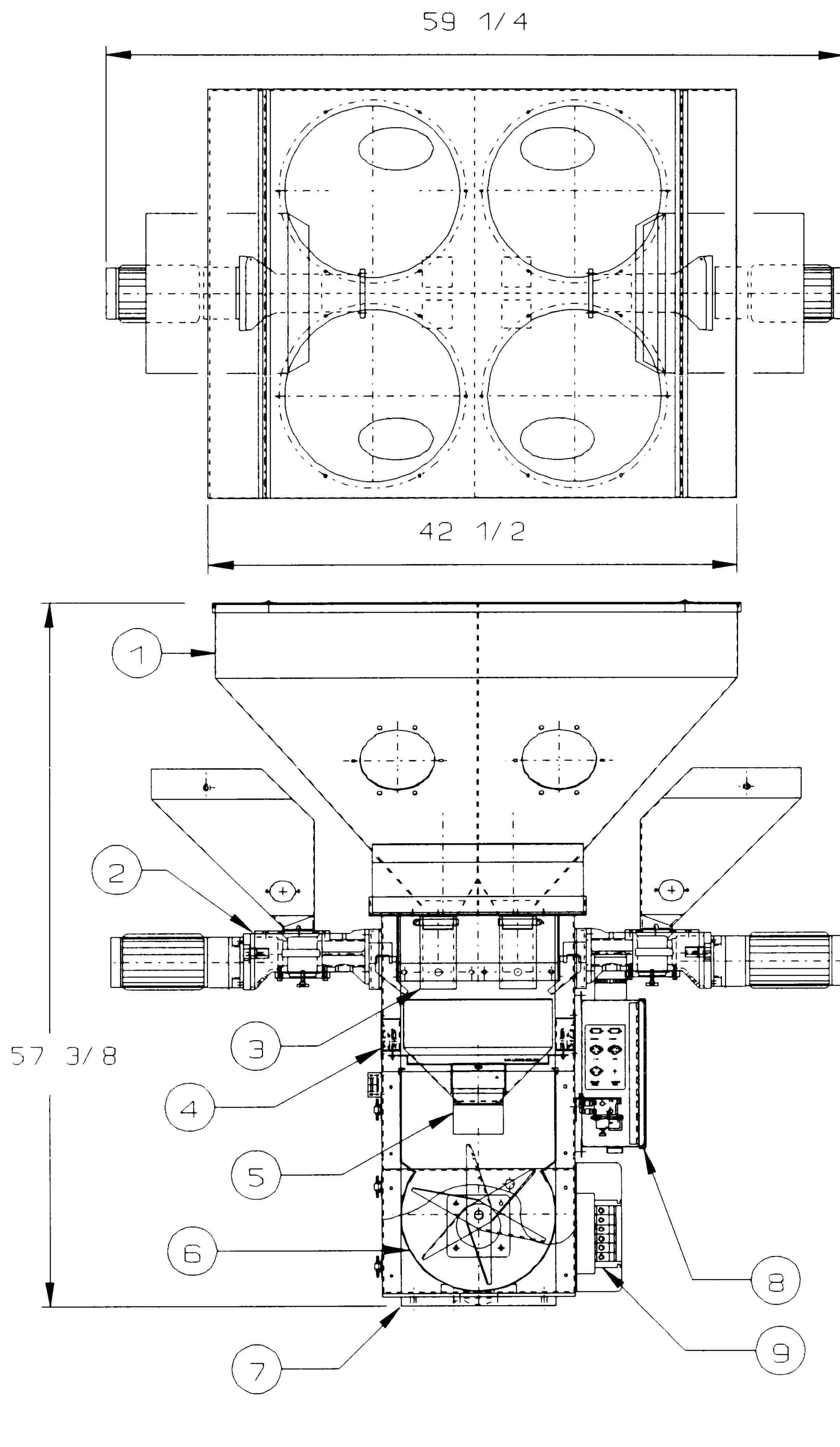


Figura 2.13 Mezclador volumétrico



- 1 Compartimiento p/4 Productos
- 2 Dosificador de Aditivos
- 3 (4) Válvula de Pinchar
- 4 (2) Celdas de Carga a 180°
- 5 Válvula Deslizante en Tolva de Pesaje
- 6 Cámara de Mezclado
- 7 Válvula Deslizante
- 8 Tablero de Control
- 9 Válvulas Solenoides
- 10 Motor del Mezclador

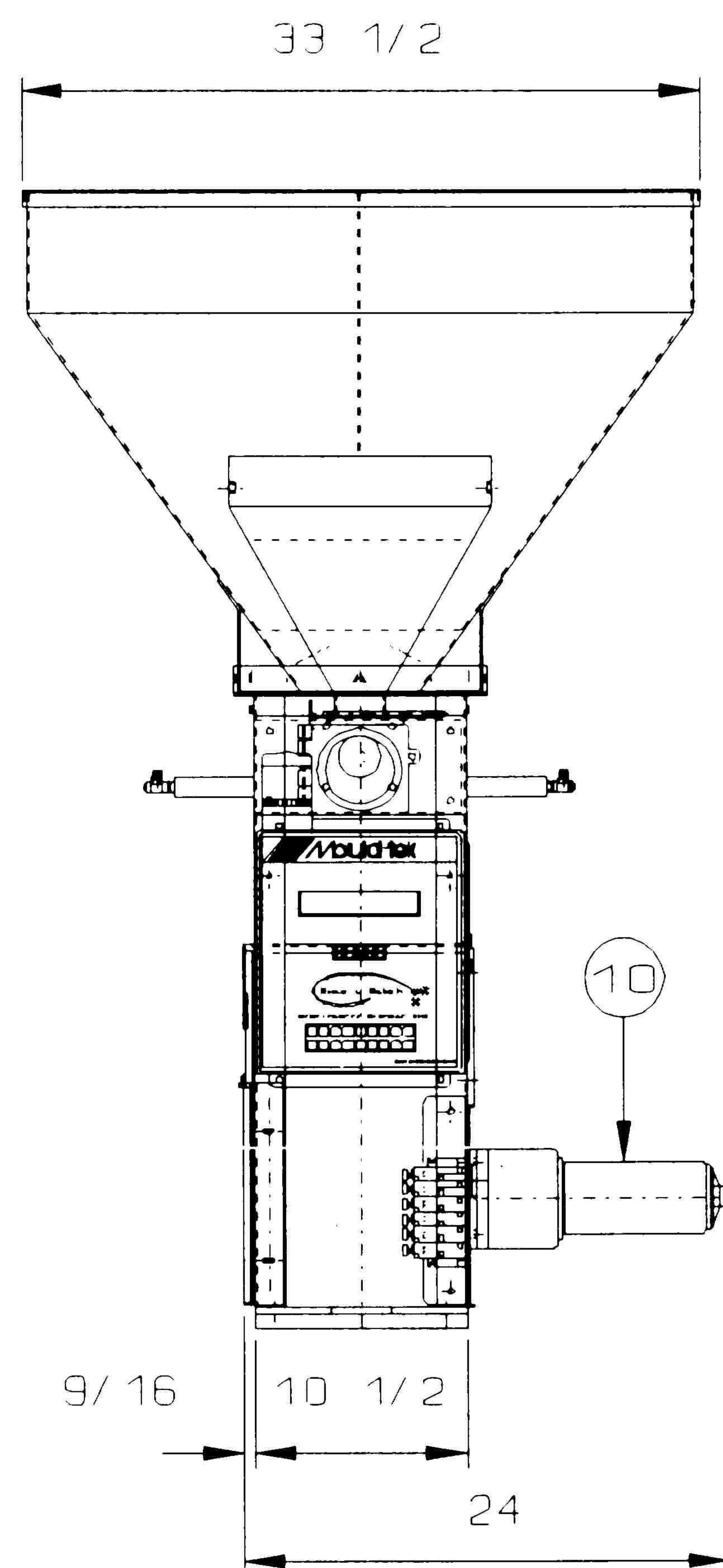
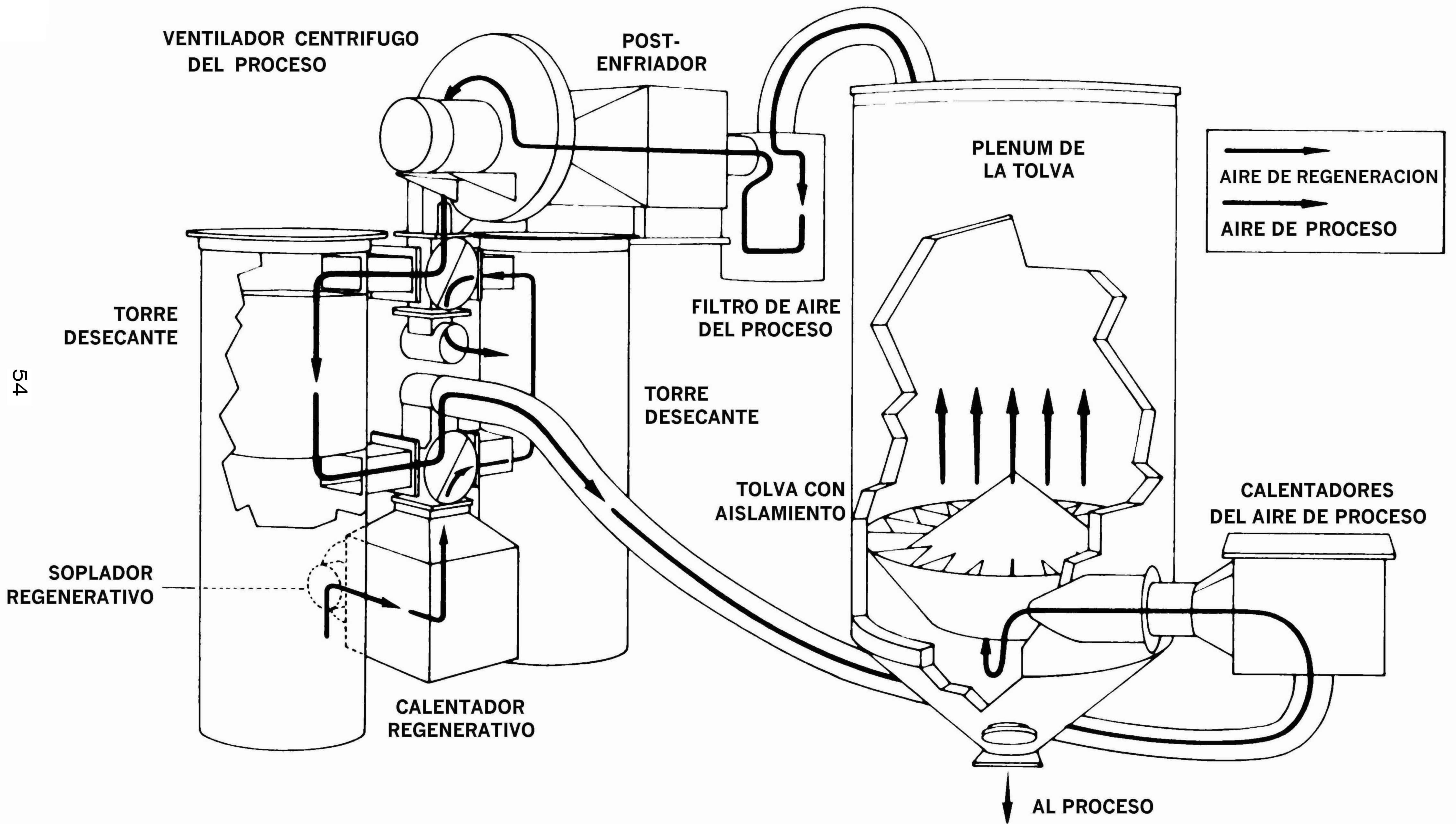


Figura 2.14 Mezclador gravimétrico típico



54

Figura 2.15 Secador/Dehumidificador, mostrando el flujo de aire de secado

boquilla de alimentación dentro de la inyectora o extrusora. Los equipos para alimentar este tipo de agregados se llaman dosificadores volumétricos, los cuales son simplemente un alimentador de tornillo conectado a un motor de velocidad variable (fig. 2.16).

Tablero de control - Esta clase de sistemas de transporte siempre son automáticos, por lo que es necesario un tablero de control para su correcta y sincronizada operación. Esta clase de controles casi siempre están basados en un microprocesador. Desde este tablero se pueden hacer indiscriminadamente cambios en el proceso como elegir destinos, modificar capacidades, visualizar fallas o llevar a cabo un inventario. Inclusive se puede enviar la señal a una sala de control centralizado (fig. 2.17).

2.2 Uso de hojas de datos

En la actualidad, la mayoría de las compañías que ofrecen sistemas completos para transporte neumático, por lo general hacen sus cálculos por computadora, basados en programas diseñados para un seguimiento paso a paso de los mismos. También es posible hacer los cálculos manualmente, siempre que se tenga la suficiente información, como tablas, fórmulas, datos del material, etc. Para el desarrollo de esta tesis los cálculos se harán en forma manual, mostrando la información utilizada, así como las hojas de datos básicas para tal desarrollo, la cual se muestra en la fig. 2.18.

Los cálculos son necesarios para poder llenar estas hojas, pero es importante primero entender los requisitos previos y los conceptos, los cuales se consideran conocidos en el momento de realizar los cálculos. Por esta razón, a continuación se presenta la forma en que se van a llevar a cabo las operaciones, así como una explicación de los conceptos.

- A. Necesidades y especificaciones del cliente o usuario. Definen en forma concreta y finita la magnitud y especificidad de las bases de cálculo y modelos de selección. De ellas se deben determinar:

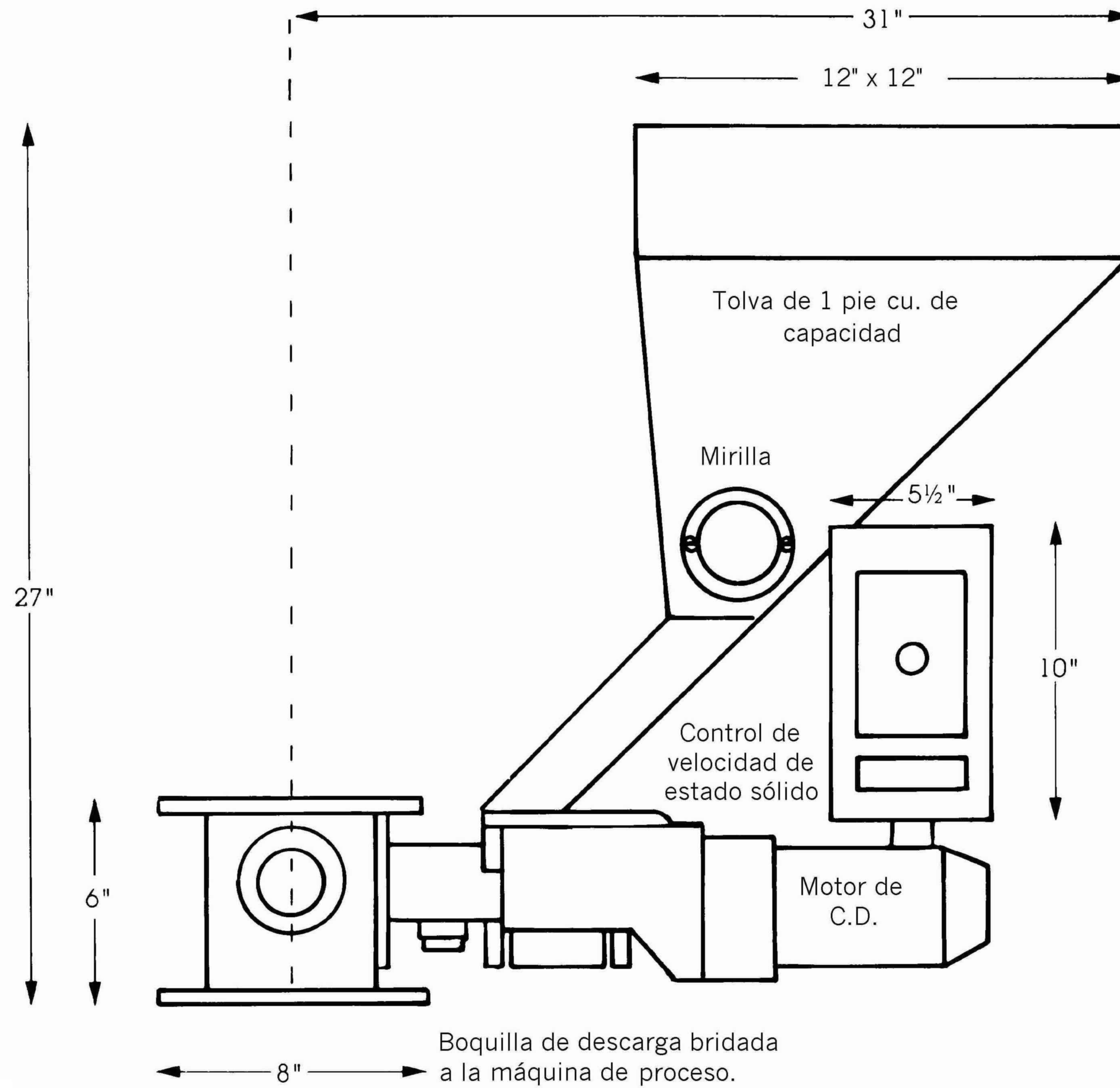


Figura 2.16 Dosificador de aditivos típico

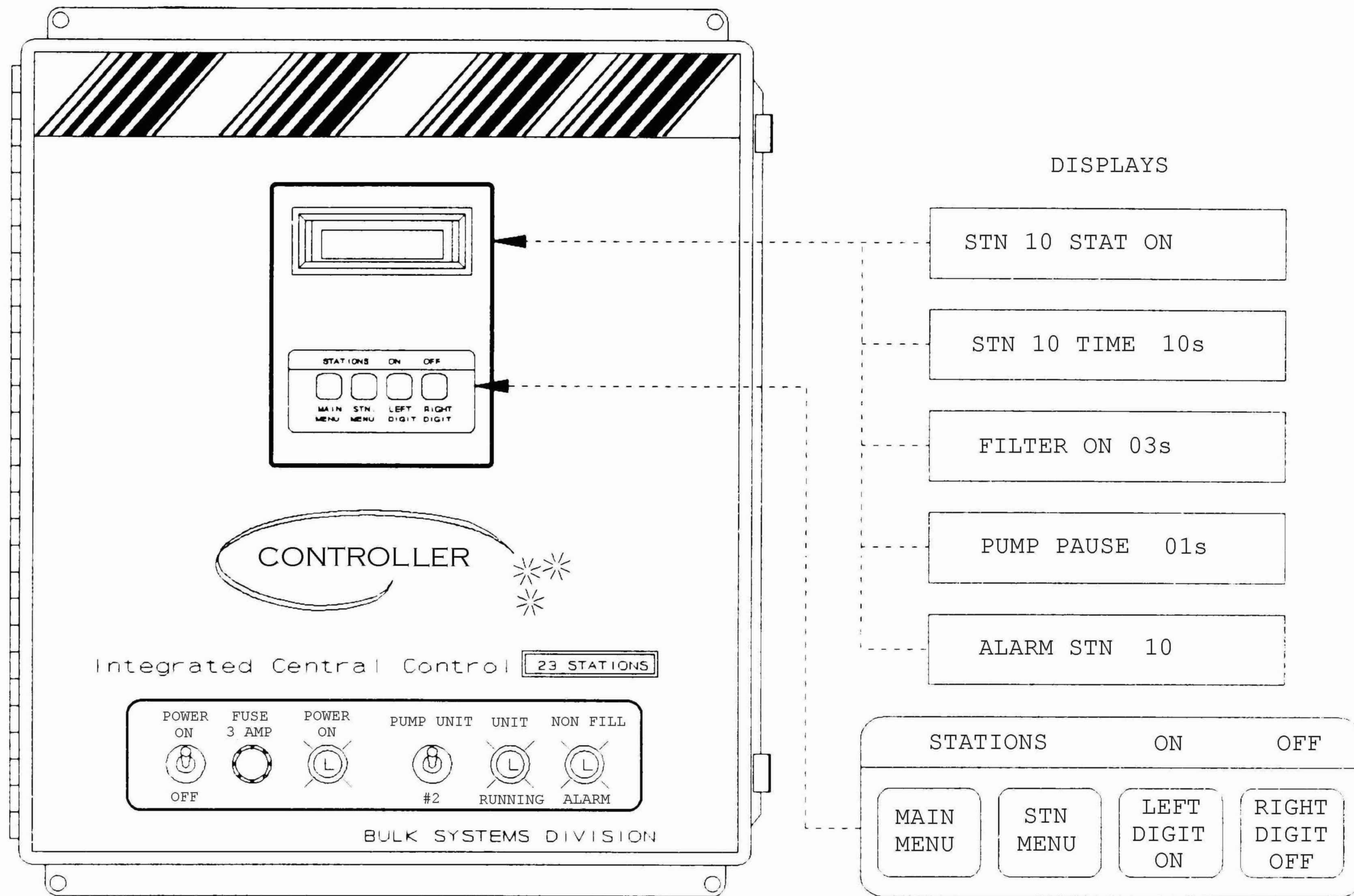


Figura 2.17 Tablero con microprocesador típico en manejo de plásticos (en inglés, como es común)

CALCULOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

Cliente _____

Dirección _____

Ciudad, Edo., C.P. _____

Por, Fecha _____

Propuesta No. _____ **Orden No.** _____

Material _____, **Densidad** _____ **lb/ft³**, **capacidad** _____

F_n (Sólo sistemas a vacío, ver la TABLA 4.1)

Rango F_a _____ (Ver TABLA 4.1)

F_d _____; _____ **Ft. totales en el Sistema**

F_e _____; _____ **Grados totales de Codos**

F_v _____; _____ **Ft. totales de la Vertical** _____

F_t = F_a + F_d + F_e + F_v + F_n = _____

Tamaño de la Rotatoria _____ **Efic.** _____

Modelo No. _____ **con** _____ **ft.³/Rev.**

Opciones

Diám. Línea _____

PSIG _____

Pérdidas de Presión en la Entrada

L₁ = _____

Pérdidas de Presión en la Descarga

L₀ = _____

Elevación de la Presión

ΔP del Soplador _____

CFM = _____

Pérdidas en la Rotatoria

CFM = _____

CFM Totales = _____

Tamaño del Filtro:

Especif. del Soplador

Marca _____

Modelo _____

RPM _____ **H.P.** _____

Cálculos del Soplador:

Figura 2.18 Hoja de cálculo de transporte neumático típica

- a. Material a transportar
- b. Capacidad deseada del sistema
- c. Densidad aparente del producto
- d. Distancia horizontal total del sistema
- e. Número de codos de 90° en el sistema
- f. Distancia vertical total del sistema

B. Rangos de Material, parámetros obtenidos mediante pruebas de laboratorio por varios fabricantes de equipo, basados en las características físicas y de transporte para cada producto en particular, se elige el producto y los factores en la tabla de Factores de Rangos de Material, correlacionados con aspectos de transporte, capacidad, presión, distancias, etc., para cada sistema específico.

- a. Fa - Rango de aceleración
- b. Fd - Rango de distancia
- c. Fe - Rango de codos
- d. Fv - Rango de la vertical
- e. Densidad aparente
- f. Eficiencia de la rotatoria

C. Factores de aceleración Fn y Fa. En la siguiente tabla se indica cómo con el rango Fa se pueden obtener dichos factores para un rango de aceleración dado.

- a. Fn - se usa solo en sistemas a vacío, donde tiene la función de boquilla
- b. Fa - Factor de aceleración

Tabla 2.1
Factor de Aceleración

Rango Fa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Factor Fn	0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.33	0.36	0.38	0.41	0.43
Factor Fa	0.37	0.42	0.46	0.51	0.56	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80

NOTA: Cuando se usa manguera flexible, considere un factor de 2X .

D. La gráfica 2.1 representa el Factor de Distancia Fd en las abscisas, éste se determina intersectando la longitud total de tubo en el sistema (pies totales) con la línea del rango o clase de material correspondiente.

E. Gráfica 2.2 del Factor de Codos. Se basa en los grados totales de los cambios de dirección en la línea de transporte. La determinación es similar:

- a. Se localizan los grados totales de los codos en el sistema, se sigue la línea hacia la izquierda hasta intersectar la clase o rango de material Fe y trazando una vertical hacia abajo se lee el Factor Fe en las abscisas.

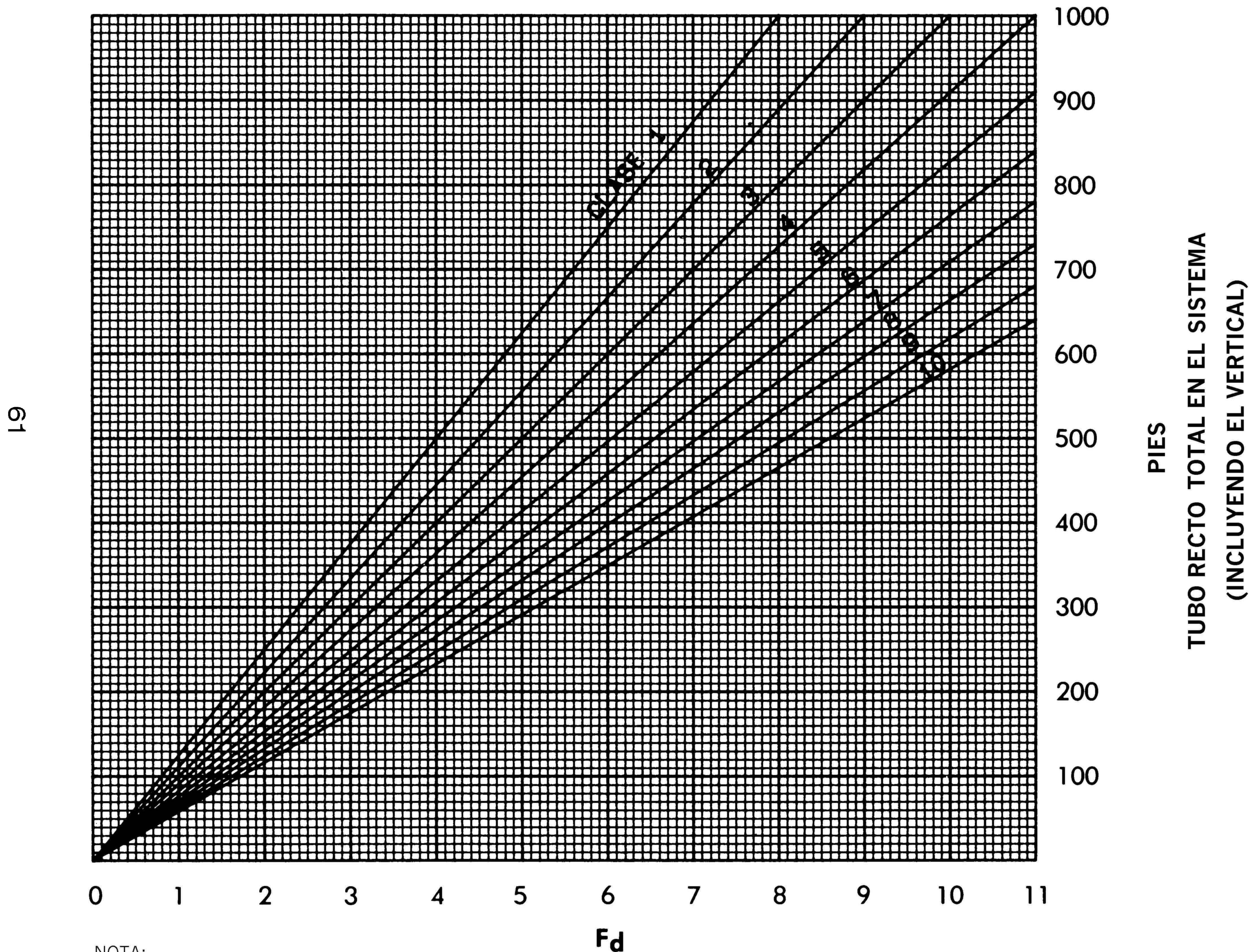
F. Gráfica 2.3 Factor Vertical.

- a. Se localiza la elevación vertical en pies del sistema en las ordenadas y se intersecta con la clase del material Fv y se lee el Factor Fv.

G. Con toda la información vaciada en la sección de factores de la hoja de datos, se calcula Ft, que es la longitud total equivalente del sistema debido a las características de aceleración, tramos rectos, desviaciones y elevaciones; que lo definen en particular:

$$F_t = F_a + F_d + F_v + F_e + F_n$$

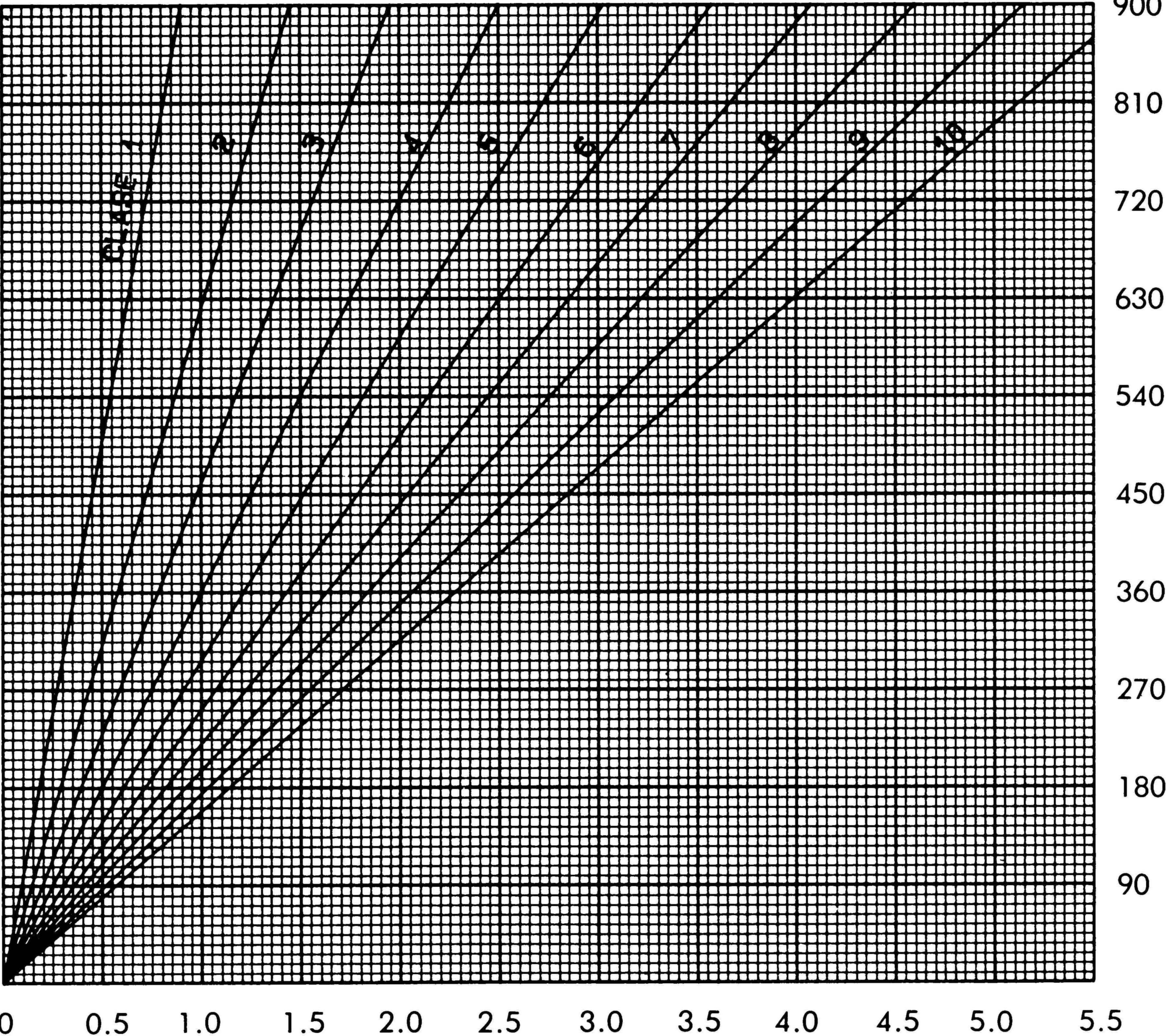
GRAFICA 2.1 Factor de distancia, Fd



NOTA:

En esta gráfica, CLASE = RANGO de material

GRAFICA 2.2 Factor de codos, Fe



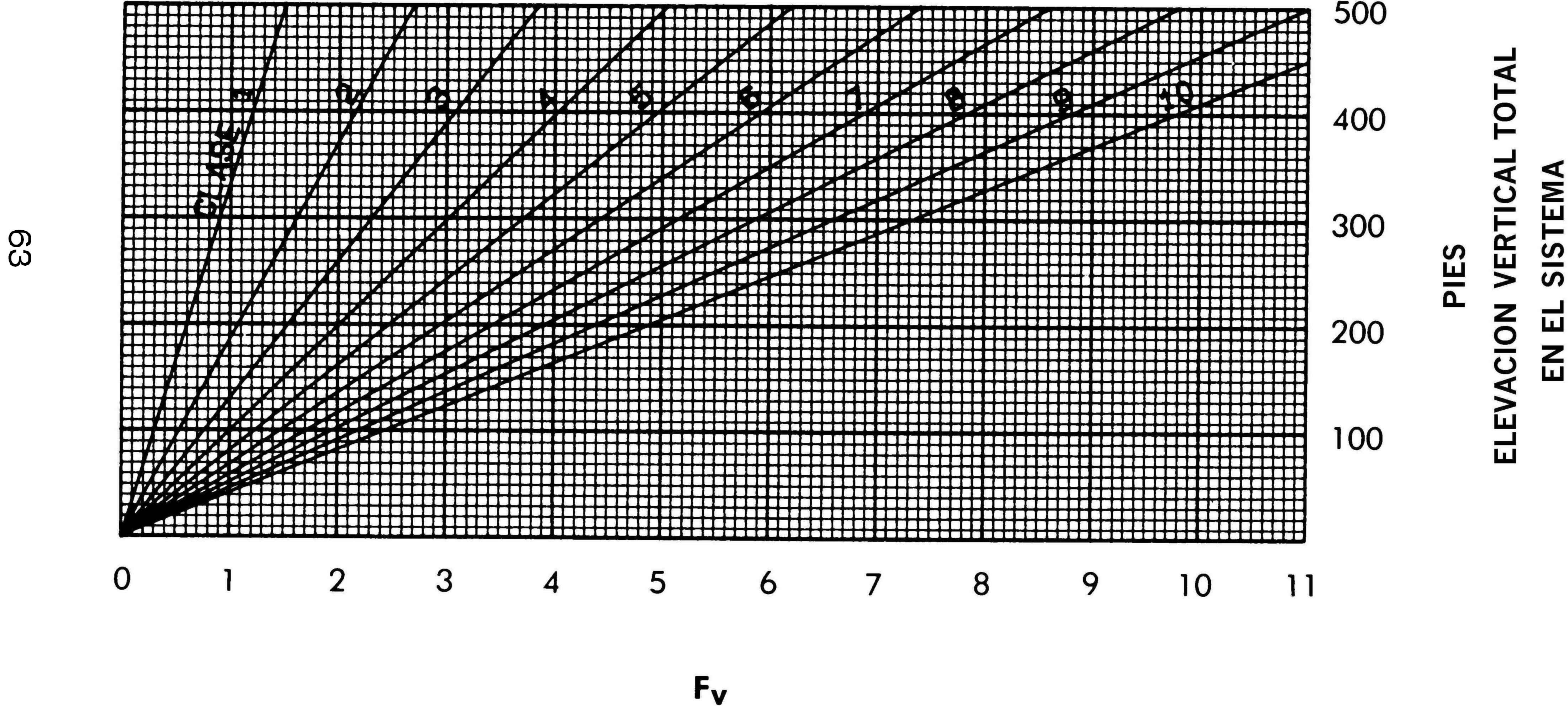
62

GRADOS
CAMBIOS TOTALES DE DIRECCION EN EL SISTEMA
(CODOS CON CURVATURA ESTANDAR)

NOTA:
En esta gráfica, CLASE = RANGO de material

F_e

GRAFICA 2.3 Factor de verticalidad, F_v



NOTA:
En esta gráfica, CLASE = RANGO de material

H. Para determinar la presión y el tamaño de la línea se usa la gráfica 2.4, donde:

- a. Se localiza la capacidad del sistema o gasto de masa deseado en el lado derecho inferior de la gráfica (en lb/h). Se sigue una línea hacia la izquierda hasta intersectar la curva del tamaño de la línea deseada, de este punto se traza una línea vertical hasta la intersección de la curva Ft y después hacia la derecha hasta la presión del sistema, en psig.
- b. Si la presión del sistema es mayor que lo deseado, se usa el tamaño de línea inmediato mayor y se modifica la presión del sistema. Véase la Tabla 2.2 para la capacidad máxima por tamaño de línea.

TABLA 2.2

Capacidades máximas por línea recomendadas en lb/h

Tamaño de línea	Vacío	Presión
2"	3000	3000
2 1/2"	7000	9000
3"	14000	17000
4"	20000	25000
5"	26000	35000
6"	30000	50000

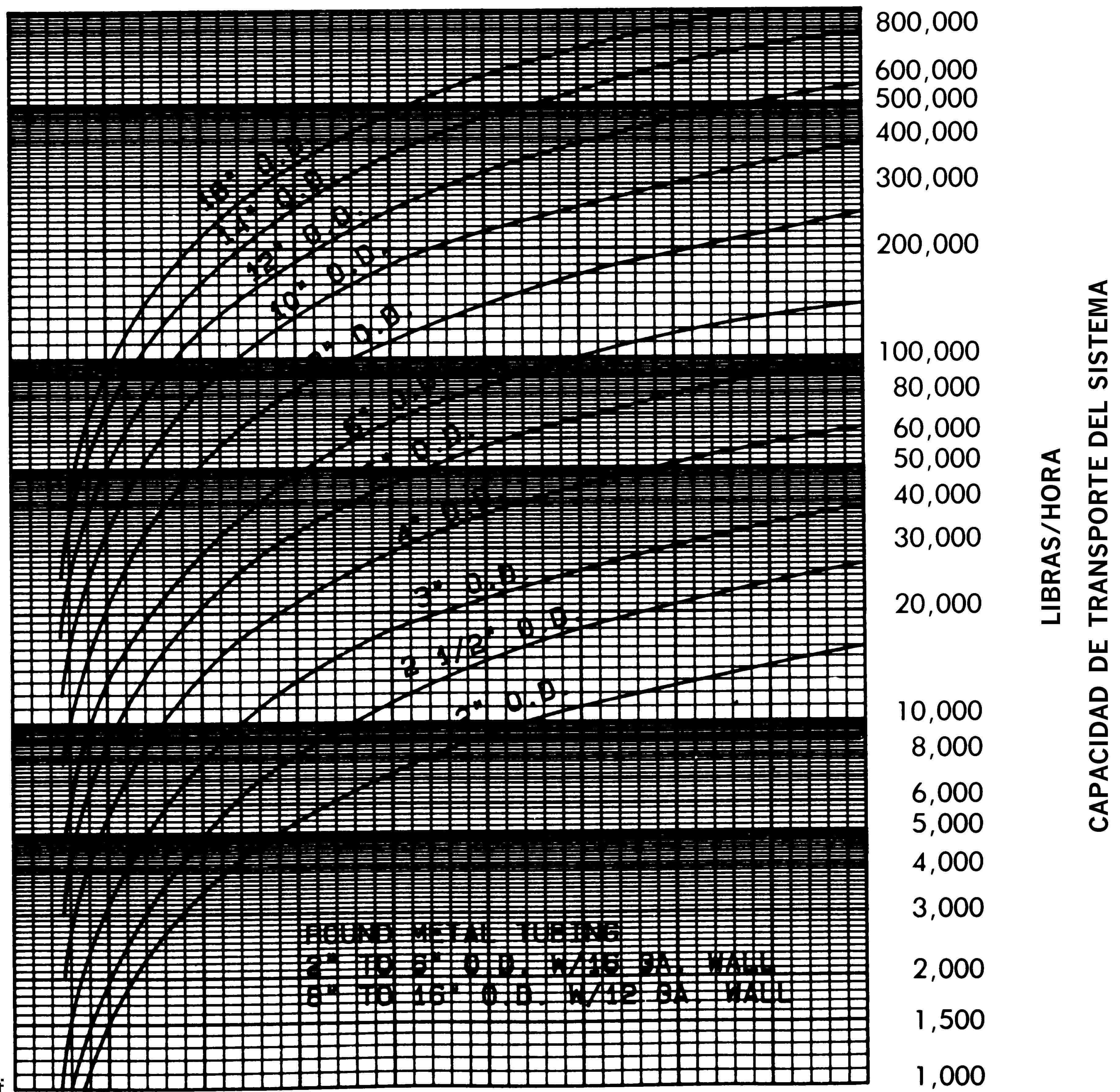
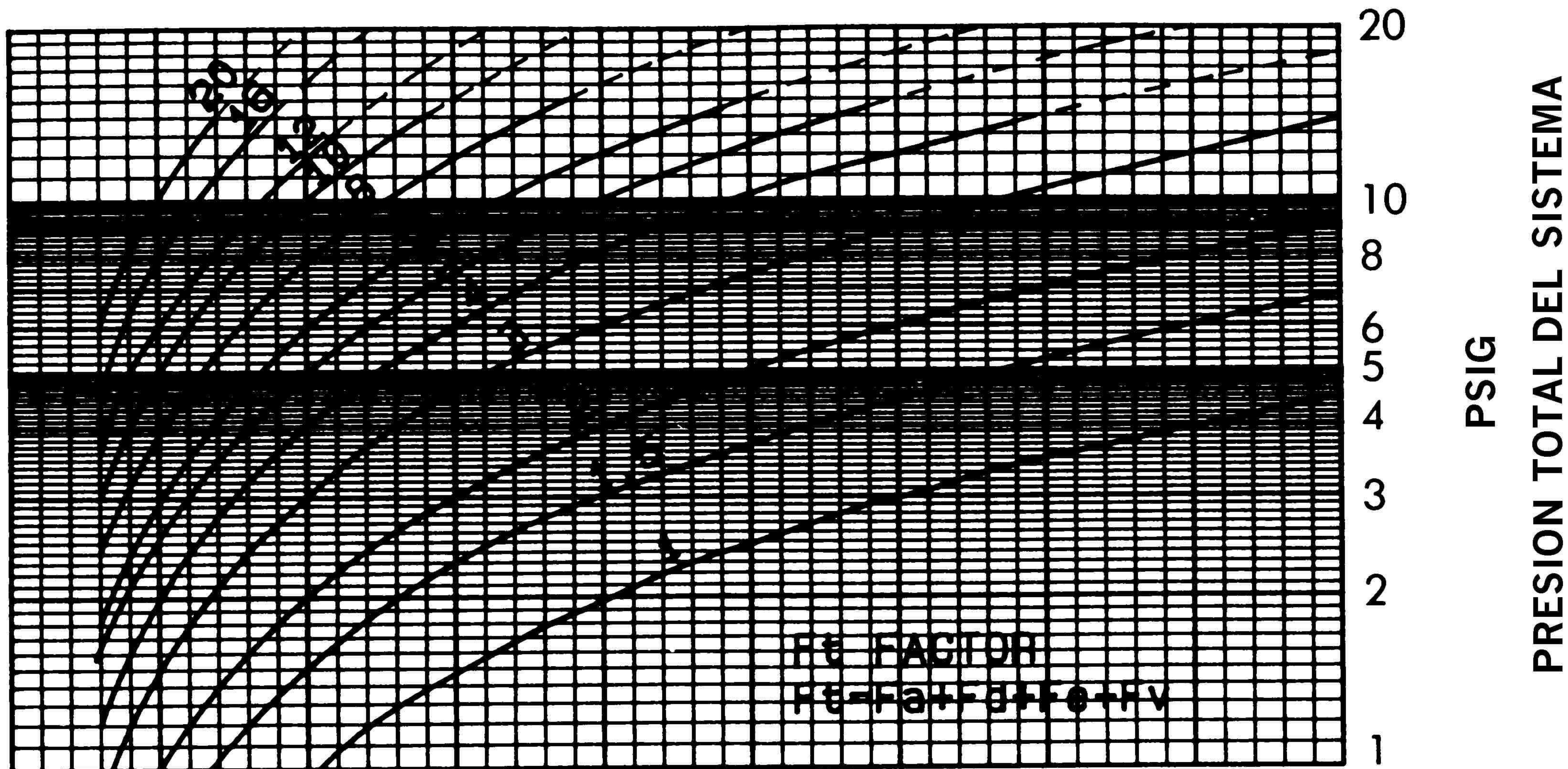
NOTA: Algunas condiciones, como la distancia y la densidad del producto, podrían aumentar estos valores

I. Cálculo del gasto volumétrico en CFM (pies cúbicos por minuto) para el sistema a presión.

- a. Cada material tiene asignado un Factor de Distancia Fd. Véase la siguiente tabla:

GRAFICA 2.4

PRESION EN EL SISTEMA POR DIAMETRO DE LA LINEA



- NOTAS:
1. O.D. = Diámetro Exterior
 2. ROUND METAL TUBING = Tubo Metálico Redondo
 3. 2" TO 6" = 2" a 6"
 4. W/16 GA. WALL = Con Pared Calibre 16

Velocidad, FPM	3200	3600	4000	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800
Rango Fd	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Esta velocidad del aire a la presión determinada en “H” debe estar presente en el punto de toma del material para así, poder transportarlo.

b. Gasto volumétrico:

$$CFM = \frac{V_{Fd} A_d}{\left(\frac{14.7 - L_1}{14.8 + PSIG + L_0} \right)^{1/K}}$$

Donde:

V_{Fd} = Velocidad Fd en pies por minuto

A_d = Area de la línea de transporte en ft²

* L_1 = Pérdida de presión en PSI en la entrada del soplador

** L_0 = Pérdida de presión en PSI en la descarga del soplador

PSIG = Presión de “H” en gráfica 2.4

K = Relación de calores específicos del aire $C_p/C_v = 1.406$. $1/K = 0.711$

* L_1 deberá incluir la pérdida de presión a través de la entrada del filtro, el silenciador de entrada y la corrección en la altitud.

** L_0 deberá incluir la pérdida de presión para la línea (Tabla 2.4A y 2.4B), silenciador y verificador de descarga, diversora de línea o diversora por pesaje, ciclón colector o receptor neumático y soplador de desplazamiento positivo (Tabla 2.3).

TABLA 2.4A
CEDULAS DE TUBERIA

DIAM NOM	D.I.	VELOCIDAD EN PIES POR MINUTO (PPM)										
		3200	3600	4000	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	
CEDULA 5	2	2.245	6.98	8.74	10.67	12.79	15.09	17.57	20.22	23.06	26.07	29.25
	2½	2.709	5.55	6.95	8.49	10.17	12.00	13.97	16.08	18.33	20.73	23.26
	3	3.334	4.31	5.39	6.59	7.90	9.31	10.84	12.48	14.23	16.09	18.05
	4	4.334	3.13	3.92	4.78	5.73	6.76	7.87	9.06	10.33	11.68	13.11
	5	5.345	2.42	3.03	3.70	4.44	5.24	6.10	7.02	8.00	9.05	10.15
	6	6.407	1.94	2.43	2.97	3.56	4.20	4.89	5.63	6.41	7.25	8.14
	8	8.407	1.39	1.74	2.13	2.55	3.01	3.51	4.04	4.61	5.21	5.84
	10	10.482	1.07	1.33	1.63	1.95	2.30	2.68	3.09	3.52	3.98	4.46
	12	12.420	0.87	1.08	1.32	1.59	1.87	2.18	2.51	2.86	3.23	3.63
CEDULA 10	2	2.157	7.33	9.17	11.21	13.43	15.84	18.45	21.24	24.21	27.37	30.71
	2½	2.635	5.74	7.19	8.78	10.52	12.41	14.45	16.63	18.96	21.44	24.06
	3	3.260	4.43	5.54	6.77	8.11	9.57	11.15	12.83	14.63	16.54	18.55
	4	4.260	3.20	4.00	4.88	5.85	6.91	8.04	9.26	10.55	11.93	13.39
	5	5.295	2.45	3.07	3.75	4.49	5.30	6.17	7.10	8.09	9.15	10.27
	6	6.357	1.96	2.45	3.00	3.59	4.24	4.93	5.68	6.48	7.32	8.22
	8	8.329	1.41	1.76	2.16	2.58	3.05	3.55	4.09	4.66	5.27	5.91
	10	10.420	1.07	1.34	1.64	1.97	2.32	2.70	3.11	3.54	4.01	4.50
	12	12.390	0.87	1.09	1.33	1.59	1.88	2.19	2.52	2.87	3.24	3.64
CEDULA 40	2	2.067	7.72	9.66	11.80	14.15	16.69	19.43	22.37	25.50	28.83	32.35
	2½	2.469	6.22	7.78	9.50	11.39	13.44	15.64	18.01	20.53	23.21	26.04
	3	3.068	4.77	5.97	7.29	8.74	10.31	12.00	13.82	15.75	17.81	19.98
	4	4.026	3.42	4.28	5.23	6.27	7.40	8.62	9.92	11.31	12.78	14.34
	5	5.047	2.60	3.25	3.97	4.76	5.62	6.54	7.53	8.58	9.70	10.89
	6	6.065	2.08	2.60	3.17	3.80	4.49	5.23	6.02	6.86	7.75	8.70
	8	7.981	1.49	1.86	2.27	2.72	3.21	3.74	4.30	4.91	5.55	6.22
	10	10.020	1.13	1.41	1.72	2.06	2.43	2.83	3.26	3.72	4.20	4.72
	12	11.938	0.91	1.14	1.39	1.67	1.96	2.29	2.63	3.00	3.39	3.81

PERDIDAS DE PRESION
PULGADAS DE AGUA POR 100 FT

TABLA 2.4B
DIMENSIONES DE TUBO Y TUBING

TUBING

O.D.	CALIBRE	D.I.	AREA FT ²	PESO/FT APROX.
2	16	1.870	.019	1.34
	14	1.83	.019	1.70
	11	1.76	.017	2.41
2½	16	2.37	.031	1.69
	14	2.33	.030	2.14
	11	2.26	.028	3.05
3	16	2.87	.045	2.04
	14	2.83	.044	2.59
	11	2.76	.042	3.69
4	16	3.87	.082	2.73
	14	3.83	.081	3.47
	11	3.76	.077	4.97
5	14	4.83	.128	4.36
	11	4.76	.125	6.25
6	14	5.83	.187	4.91
	11	5.76	.181	7.54
8	12	7.79	.331	9.16
10	12	9.79	.523	11.45
12	12	11.79	.758	13.74
14	12	13.79	1.037	16.04
16	12	15.79	1.360	18.32

TUBO

DIAM.	CEDULA	O.D.	D.I.	AREA FT ²	PESO/FT APROX.
2	5	2.375	2.245	.027	1.61
	10	2.375	2.157	.025	2.64
	40	2.375	2.067	.023	3.65
2½	5	2.875	2.709	.040	2.48
	10	2.875	2.635	.038	3.53
	40	2.875	2.469	.033	5.79
3	5	3.500	3.334	.061	3.03
	10	3.500	3.260	.058	4.33
	40	3.500	3.068	.051	7.58
4	5	4.500	4.334	.102	3.92
	10	4.500	4.260	.099	5.61
	40	4.500	4.026	.088	10.79
5	5	5.563	5.345	.156	6.35
	10	5.563	5.295	.153	7.77
	40	5.563	5.047	.139	14.62
6	5	6.625	6.407	.224	7.59
	10	6.625	6.357	.220	9.29
	40	6.625	6.065	.201	18.97

TABLA 2.3

Caída de presión en los diferentes componentes

Componente	PSIG	Caída en “Hg	“H2O
Soplador de desplaz. positivo	0.4	0.81	11.1
Filtro en línea	0.1	0.20	2.8
Filtro de entrada y silenciador	0.2	0.41	5.5
Filtro de descarga	0.2	0.41	5.5
Colector ciclónico	0.1	0.2	2.8
Colector recibidor	0.2	0.41	5.5
Válvula divergente	0.1	0.2	2.8
Charola/bayoneta de succión	0.2	0.41	5.1

c. Elevación total de la presión (ΔP) a través del soplador en PSIG:

$$\Delta P = (14.7 + \text{PSIG} + L_0) - (14.7 - L_1)$$

J. CFM para un sistema a vacío.

a. Como en un sistema a presión se usa la velocidad de “toma de material” para el factor F_d del material y la presión determinada en “H”.

b. Se determina el gasto volumétrico:

$$CFM = \frac{V_{Fd} A_d}{\left(\frac{14.7 - [PSIG + * L_1]}{14.8 + ** L_0} \right)}$$

* L_1 deberá incluir las pérdidas de presión en la bayoneta de succión, las pérdidas de la línea, en el recibidor neumático o ciclón, en el filtro en línea y en la corrección de altitud.

**L₀ deberá incluir las pérdidas de presión para el silenciador de descarga y el soplador.

- c. Se determina la elevación total de presión (ΔP) a través del soplador.

$$(14.7 + L_0) - (14.7 - [\text{PSIG} + L_1]) = \Delta P \text{ (PSI)} \times 2.036 = \Delta P \text{ ("Hg)}$$

- K. Antes de calcular el gasto volumétrico total (CFM totales), se necesita obtener el tamaño de la válvula rotatoria.
- L. Ahora deberán calcularse las pérdidas en la rotatoria y agregar los "CFM" para dar los "CFM totales". Estos CFM se denominan como CFM "en la entrada" o como "ICFM" (en la entrada) y en muchas ocasiones los proporcionan los mismos fabricantes de sopladores.
- M. El soplador de desplazamiento positivo se seleccionará usando la ΔP (elevación total de la presión a través del soplador) y los CFM. Para esto se pueden consultar las curvas de potencia de varios fabricantes, las cuales aparecen en la sección de cálculo. Ahí se podrá observar que las curvas para vacío y presión son diferentes.
- a. Se obtienen los CFM en el lado izquierdo de la tabla (p. ej. las tablas 2.21 ó 2.23) y se sigue la línea hasta la intersección con la línea de ΔP (o de vacío). Las curvas de presión están en PSI y las de vacío en "Hg.
- b. De la intersección anterior, se traza una vertical hasta intersectar con otra línea de presión; continúa hacia abajo y lee las RPM (revoluciones por minuto) del soplador en la parte inferior de la tabla; moviéndose hacia la derecha a partir de la intersección inferior se puede leer la potencia del soplador. Estas curvas no incluyen pérdidas de potencia.
- c. Si la elevación de la temperatura del aire es crítica, se sigue hacia arriba en la tabla a partir de la intersección #1 hasta la línea de presión correspondiente y de aquí hasta el lado de la tabla donde aparece la elevación de la temperatura (ΔT). Esto deberá agregarse a la temperatura ambiente o de entrada para determinar la temperatura de descarga del soplador.

d. Algunos fabricantes de sopladores no incluyen las curvas de elevación de la temperatura o sus curvas de presión. En este caso, la elevación de la temperatura se puede calcular como:

$$\Delta T = \frac{T_1 \text{ BHP } (K - 1)/K}{0.436 (14.7 - L_1) \text{ CFM}}$$

ΔT : Elevación de la temperatura en °F

BHP : Temperatura de entrada absoluta (460 + °F)

$(K - 1)/K$: $K = 1.406$ para el aire $(K - 1)/K = 0.289$

$(14.7 - L_1)$: Presión absoluta en la entrada del soplador en PSIA

CFM : De los cálculos anteriores

2.3 Cálculo del sistema

Puesto que esta planta es para una primera fase de introducción del lanzamiento de una nueva marca de refresco, se piensa que con el 55% de la capacidad de operación instalada, como arranque, será suficiente para cubrir la demanda inicial de 6050 lb/h (2745 kg/h). Así, el sistema de manejo de materiales deberá calcularse para el 100% de la capacidad instalada, o sea 11 000 lb/hr (5000 kg/hr). Se pensó que si en un futuro la demanda excede la capacidad instalada actual, deberá pensarse en un sistema de transporte colateral, así como en nuevas máquinas de inyección. Por lo tanto, se procede al cálculo de nuestro sistema:

DESCARGA DE CARRO DE F.F.C.C. A SILOS

SISTEMA COMBINADO VACIO-PRESION

PARTE 1 (SISTEMA DE VACIO) [FIG. 2.19]

A. Especificaciones del cliente:

- a. Material: Pellets de Polietilen Tereftalato (PET).
- b. Capacidad: 30 000 lb/h
- c. Densidad: 42 lb/ft³
- d. Distancia horizontal: 30 ft
- e. 30 ft de manguera flexible y 2 codos de 90°
- f. Distancia vertical: 20 ft

B. Factores del rango del material:

- a. $F_a = 4$
- b. $F_d = 5$
- c. $F_e = 5$
- d. $F_v = 2$
- e. Densidad aparente: 39 lb/ft³
- f. Eficiencia de la rotatoria: H

C. Factores de aceleración (tabla 2.1).

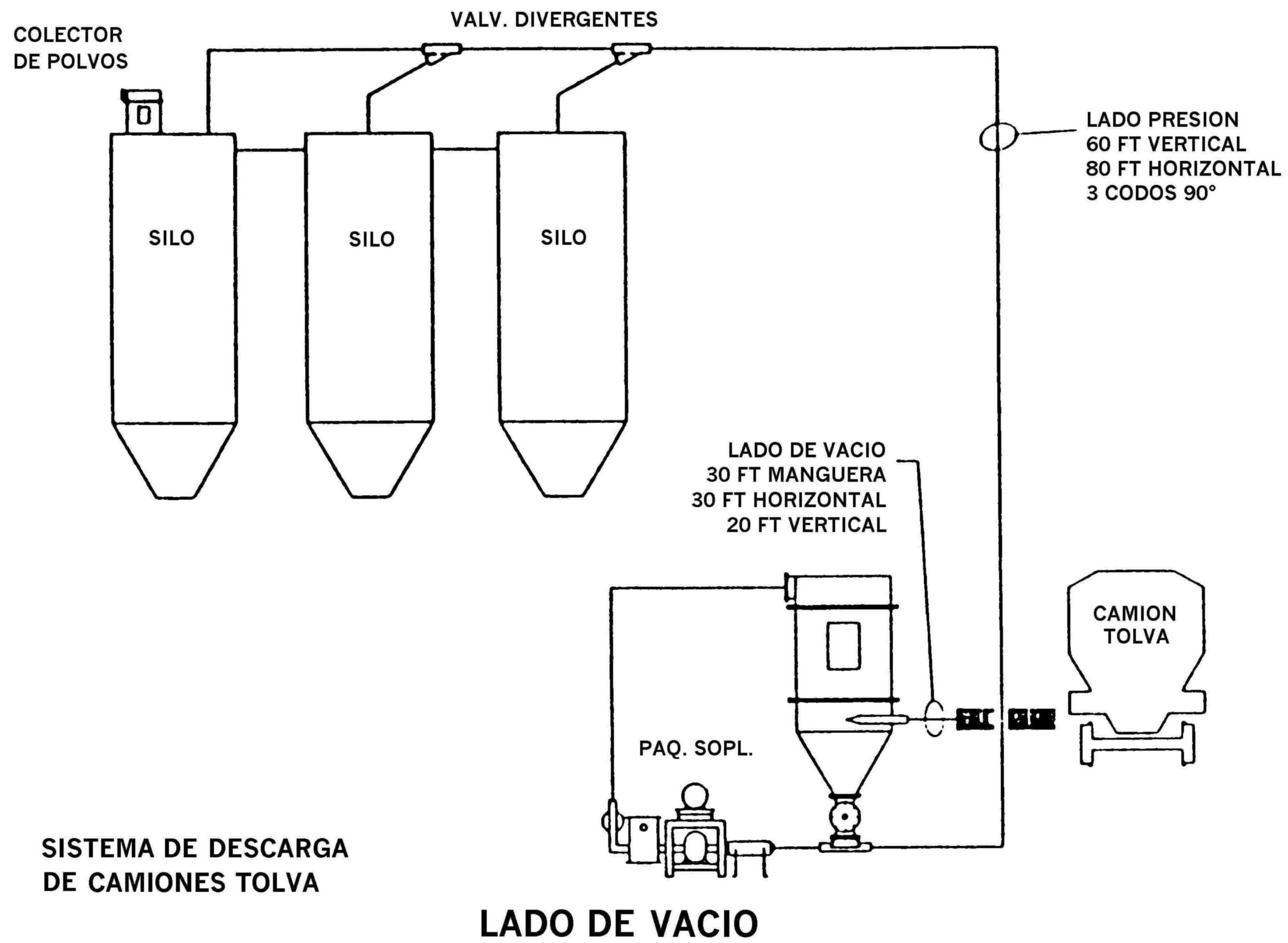
- a. $F_n = 0.28$
- b. $F_a = 0.51$

D. Factor de distancia (gráfica 2.1).

Son en total 50 ft más $30 \times 2 = 60$ ft (ver nota en la Tabla 2.1) de manguera flexible = 110 ft, así, con un rango F_d (clase) de 5, tenemos un factor de distancia de 1.3.

E. Factor de codos (gráfica 2.2).

Se tienen 2 codos de 90°, por lo que el total es de 180°. Según la gráfica 2.2 y con un rango (clase) de codos de 5, tenemos un factor de codos F_e de 0.6.



Propuesta No. _____ Orden No. _____

Material Pellets de PET, Densidad 42 lb/ft³, capacidad 30 000 lb/Hr

F_n (Sólo sistemas a vacío, ver la TABLA 2.1) 0.28 ..

Rango F_a 4 (Ver TABLA 2.1) 0.51 ..

F_d 5; 110 Ft. totales en el Sistema 1.30 ..

F_e 5; 180 Grados totales de Codos 0.60 ..

F_v 2; 20 Ft. totales de la Vertical 0.10 ..

$F_t = F_a + F_d + F_e + F_v + F_n =$ 2.79

Tamaño de la Rotatoria Efic. H

Modelo No. 15 X 15 con 1.20 ft.³/Rev.

Opciones CLI a 13 RPM

Diám. Línea 6"

PSIG 1.90

Pérdidas de Presión en la Entrada

$L_1 =$ 4.17 PSI

Pérdidas de Presión en la Descarga

$L_0 =$ 1.30 PSI

Elevación de la Presión

ΔP del Soplador 11.97 PSIA

CFM = 1430

Pérdidas en la Rotatoria

CFM = 69

CFM Totales = 1499

Tamaño del Filtro: Relación de aire de 10:1
 $1599 / 10 = 159 \text{ ft}^2$

Especif. del Soplador

Marca DUROFLOW

Modelo 7015B

RPM 2350 H.P. 120

Cálculos del Soplador: Elevación de la planta = 7500 ft: 22.65" Hg = 11.12 PSIG 14.7 - 11.12 = 3.58 PSI (Corrección de la altitud)

Figura 2.19 Hoja de cálculo del lado de vacío

F. Factor de vertical (gráfica 2.3)

Tenemos 20 ft de distancia vertical y un rango vertical de 2. Así, tenemos un factor vertical de 0.1.

G. Factor total

$$F_t = F_a + F_d + F_v + F_e + F_n = 0.51 + 1.6 + 0.1 + 0.6 + 0.28 = 3.09$$

H. Tamaño de línea y presión (gráfica 2.4). De acuerdo a la tabla 2.2, para un sistema a vacío y 30 000 lb/hr, tenemos una línea de 6 ". En la gráfica 2.4, con la línea de 30 000 lb/hr intersectando con la curva de 6", subimos hasta intersectar de nuevo con la curva de $F_t = 3.09$, lo que nos da una presión del sistema de 3.1 psig.

I. El gasto volumétrico (CFM) a presión no se usa en un sistema combinado vacío-presión.

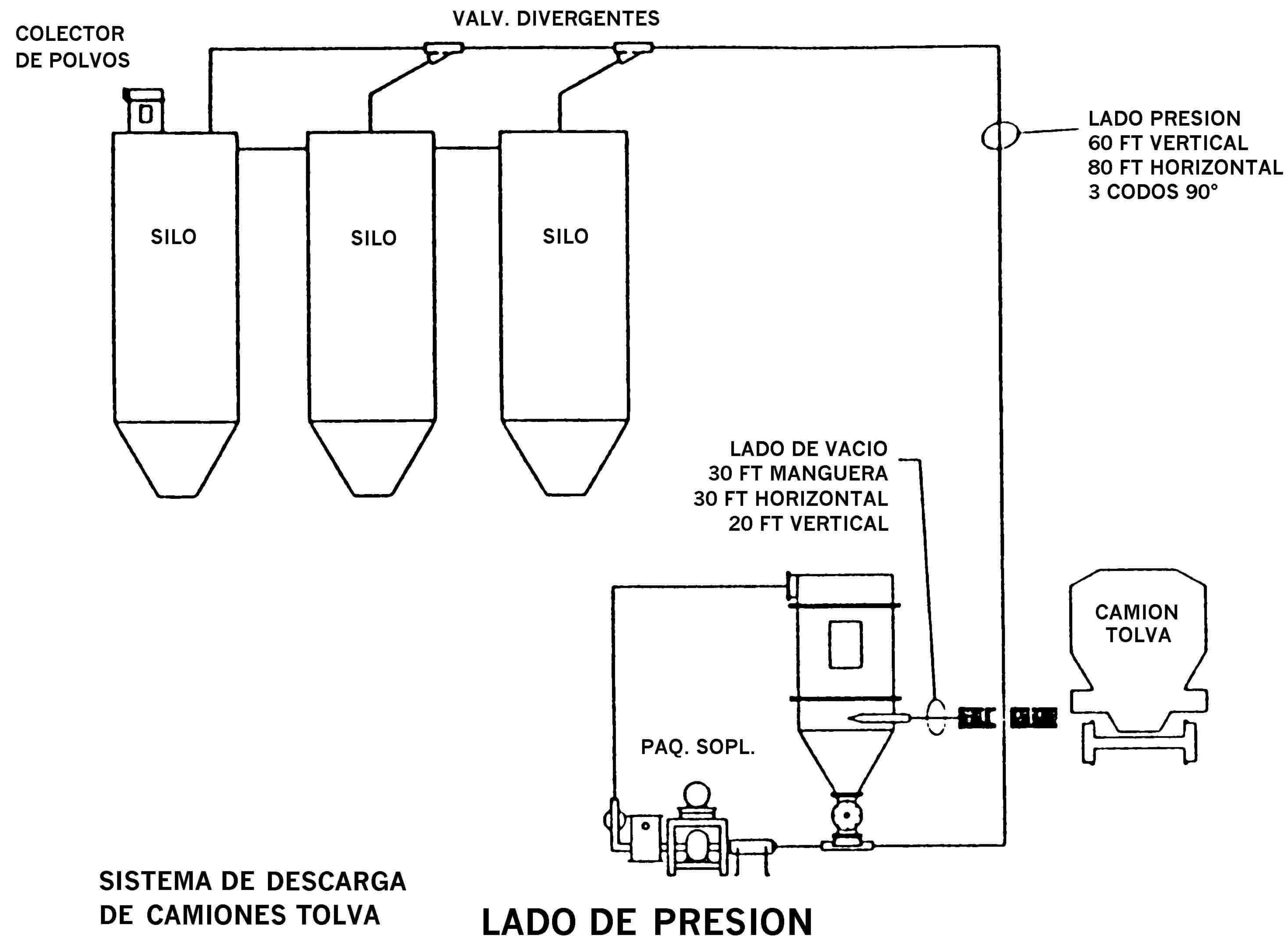
PARTE II (SISTEMA A PRESION) [FIG. 2.20]

A. Especificaciones del cliente.

- a. Material: Pellets de Polietilen Tereftalato (PET).
- b. Capacidad: 30 000 lb/h
- c. Densidad: 42 lb/ft³
- d. Distancia horizontal: 80 ft
- e. 3 codos de 90°
- f. Distancia vertical: 60 ft

B. Factores del rango del material:

- a. $F_a = 4$
- b. $F_d = 5$
- c. $F_e = 5$



Propuesta No. _____ Orden No. _____

Material Pellets de PET, Densidad 42 lb/ft³, capacidad 30 000 lb/Hr

F_n (Sólo sistemas a vacío, ver la TABLA 2.1)
 Rango F_a 4 (Ver TABLA 2.1) 0.51
 F_d 5; 140 Ft. totales en el Sistema .. 1.70
 F_e 5; 270 Grados totales de Codos .. 0.80
 F_v 2; 60 Ft. totales de la Vertical 0.30
 $F_t = F_a + F_d + F_e + F_v + F_n =$ 3.31

Tamaño de la Rotatoria Efic. H
 Modelo No. 15 X 15 con 1.20 ft.³/Rev.
 Opciones CLI a 13 RPM

Diám. Línea 5"
 PSIG 4.60
 Pérdidas de Presión en la Entrada
 $L_1 =$ 4.17 PSI
 Pérdidas de Presión en la Descarga
 $L_0 =$ 1.30 PSI
 Elevación de la Presión
 ΔP del Soplador 11.97 PSIA
 CFM = 1430
 Pérdidas en la Rotatoria
 CFM = 69
 CFM Totales = 1499

Tamaño del Filtro: Relación de aire de 10:1
 $1599 / 10 = 159$ ft²

Espezif. del Soplador
 Marca DUROFLOW
 Modelo 7015B
 RPM 2350 H.P. 120

Cálculos del Soplador:

Figura 2.20 Hoja de cálculo lado de presión

- d. $F_v = 2$
- e. Densidad aparente: 42 lb/ft³
- f. Eficiencia de la rotatoria: H

C. Factores de aceleración (tabla 2.1).

- a. $F_n = 0.28$
- b. $F_a = 0.51$

D. Factor de distancia (gráfica 2.1).

Son en total 140 ft, así, con un rango F_d de 5, tenemos un factor de distancia de 1.7.

E. Factor de codos (gráfica 2.2).

Se tienen 3 codos de 90°, por lo que el total es de 270°. Según la gráfica 2.2 y con un rango de codos de 5, tenemos un factor de codos F_e de 0.8.

F. Factor de vertical (gráfica 2.3)

Tenemos 60 ft de distancia vertical y un rango vertical de 2. Así, tenemos un factor vertical de 0.3.

G. Factor total

$$F_t = F_a + F_d + F_v + F_e + F_n = 0.51 + 1.7 + 0.3 + 0.8 + 0.0 = 3.31$$

$F_n = 0$, porque no se usa en sistemas a presión, pues es una función de aspirado

H. Tamaño de línea y presión (gráfica 2.4)

De acuerdo a la tabla 2.2, para un sistema a vacío y 30 000 lb/hr, tenemos una línea de 5 ". En la gráfica 2.4, con la línea de 30 000 lb/hr intersectando con la curva de 5", subimos hasta intersectar de nuevo con la curva de $F_t = 3.31$, lo que nos da una presión del sistema de 4.6 psig.

I. El gasto volumétrico (CFM) a presión no se usa en un sistema combinado vacío-presión.

PARTE III (SISTEMA COMBINADO)

J. Cálculo de los CFM para un sistema combinado usando una modificación de la ecuación del sistema a vacío.

$$CFM = \frac{V_{Fd} A_D}{\left(\frac{14.7 - [PSIG_V + L_1]}{14.8 + PSIG_p + L_0} \right)}$$

Donde:

$$V_{Fd} = 4800 \text{ FPM (a } F_d = 5)$$

$$A_D = 0.128 \text{ Ft}^2 \text{ para } 5 \text{ OD X } 14 \text{ GA (calibre pared del tubo)}$$

$$PSIG_V = 1.9 \text{ PSI de la hoja de cálculos}$$

$$PSIG_p = 4.6 \text{ PSI de la hoja de cálculos}$$

$$L_1 = 3.57 \text{ Corrección de la altitud}$$

$$0.20 \text{ Pérdidas en la línea}$$

$$0.10 \text{ Filtro en línea}$$

$$0.20 \text{ Recibidor neumático}$$

$$0.10 \text{ Filtro entrada carro F.F.C.C.}$$

$$4.17 \text{ PSI}$$

$$L_0 = 0.40 \text{ Pérdidas en el soplador}$$

$$\text{Silenciador}$$

$$0.20 \text{ Divergente (2)}$$

$$0.20 \text{ Colector de polvos}$$

$$0.30 \text{ Pérdida en la línea}$$

$$1.3 \text{ PSI}$$

$$CFM = \frac{4800 \cdot 0.128}{\left(\frac{14.7 - 1.9 - 3.95}{14.7 + 4.6 + 1.3} \right)} = 1430 \text{ CFM}$$

$$\Delta P = (14.7 + PSIG_p + L_0) - (14.7 - PSIG_V - L_1)$$

$$= (14.7 + 4.6 + 1.3) - (14.7 - 1.9 - 4.17) = 20.6 - 8.63 = 11.97 \text{ PSIA}$$

Tamaño de la válvula rotatoria: Capacidad de transporte = 30 000 lb/h.

$$30\,000 \text{ lb/h} \div 60 = 500 \text{ lb/min} \div 39 \text{ lb/ft}^3 = 12.82 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Seleccionamos un modelo de alta eficiencia 15 X 15 con 1.20 ft³/rev.

$$12.82 \text{ ft}^3/\text{min} \div 1.20 \text{ ft}^3/\text{rev} = 10.7 \text{ rpm (revoluciones por minuto) a 100\% de llenado.}$$

De la parte del factor del material, la eficiencia de la rotatoria = H o 90% de eficiencia. Aunque la experiencia recomienda eficiencias de llenado menores a 80% y revoluciones de trabajo de las rotatorias no mayores a 20 rpm. Así,

$$\text{ft}^3/\text{rev} \div 0.8 = 13.37 \approx 14 \text{ rpm}$$

Pérdidas en la válvula rotatoria:

De los cálculos anteriores, la rotatoria seleccionada es una modelo HE 15 X 15 operando a 14 rpm. Para este material, se usa un claro Clase I. En un sistema combinado, "P" es la presión a través de la rotatoria y es esencialmente igual a la ΔP.

$$\text{Pérdidas en la cavidad: } CFM = \frac{(14.7 + P) DN}{14.7} = \frac{(14.7 + 11.97) 1.20 * 13}{14.7} \approx 28$$

Pérdidas en los claros:

$$CFM = 30 \frac{A/144 \sqrt{2545 PX}}{0.075} = 30 \frac{0.334/144 \sqrt{2545 * 11.97 * 0.0660}}{0.075} \approx 41$$

Las pérdidas en la rotatoria son = 28 + 41 = 69 CFM

CFM totales = 1430 + 69 = 1499 CFM.

Selección del soplador de desplazamiento positivo:

Se usan los CFM totales y la elevación de presión equivalente (EPR) para seleccionar el tamaño del soplador. La EPR se calcula con la relación de compresión (CR), que es la presión absoluta de descarga dividida por la presión absoluta de entrada. En este caso:

$$20.6 \div 8.85 = CR = 2.33$$

$$EPR = (CR * 14.7) - 14.7 = (2.33 * 14.7) - 14.7 = 19.5 \text{ PSI}$$

Para determinar la potencia del motor, use ΔP (11.75 PSI)

En este caso seleccionamos un modelo 7015B de Duroflow, operando a 2350 rpm, con 230 °F de elevación de temperatura y 110 BHP (fig. 2.21).

Algunos fabricantes de sopladores de desplazamiento positivo no proporcionan curvas de elevación de temperatura en sus curvas de sopladores. En este caso, la elevación de la temperatura se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T_{real} = \frac{T_1 \text{ BHP} [(k - 1) / k]}{0.00436 \Delta P \text{ ACFM}}$$

Donde:

$T_1 = 460 + \text{ambiente}$

BHP = Caballos de fuerza al freno

k = Relación de calores específicos del Aire = 1.406

ΔP = Elevación de la presión a través del soplador en PSI

ACFM = CFM a la entrada del soplador

$$T_{real} = \frac{(460 + 70) * 110 * [(1.406 - 1) / 1.406]}{0.00436 * 11.97 * 1499} = 215 \text{ } ^\circ F$$

TYPICAL PRESSURE PERFORMANCE

at 14.7 PSIA Inlet Pressure & 70°F Inlet Temperature

Model 7015B Blower

(2-1/2" DRIVE SHAFT)

DISP. .98 CFR

Temperature Rise, Airflow & Horsepower

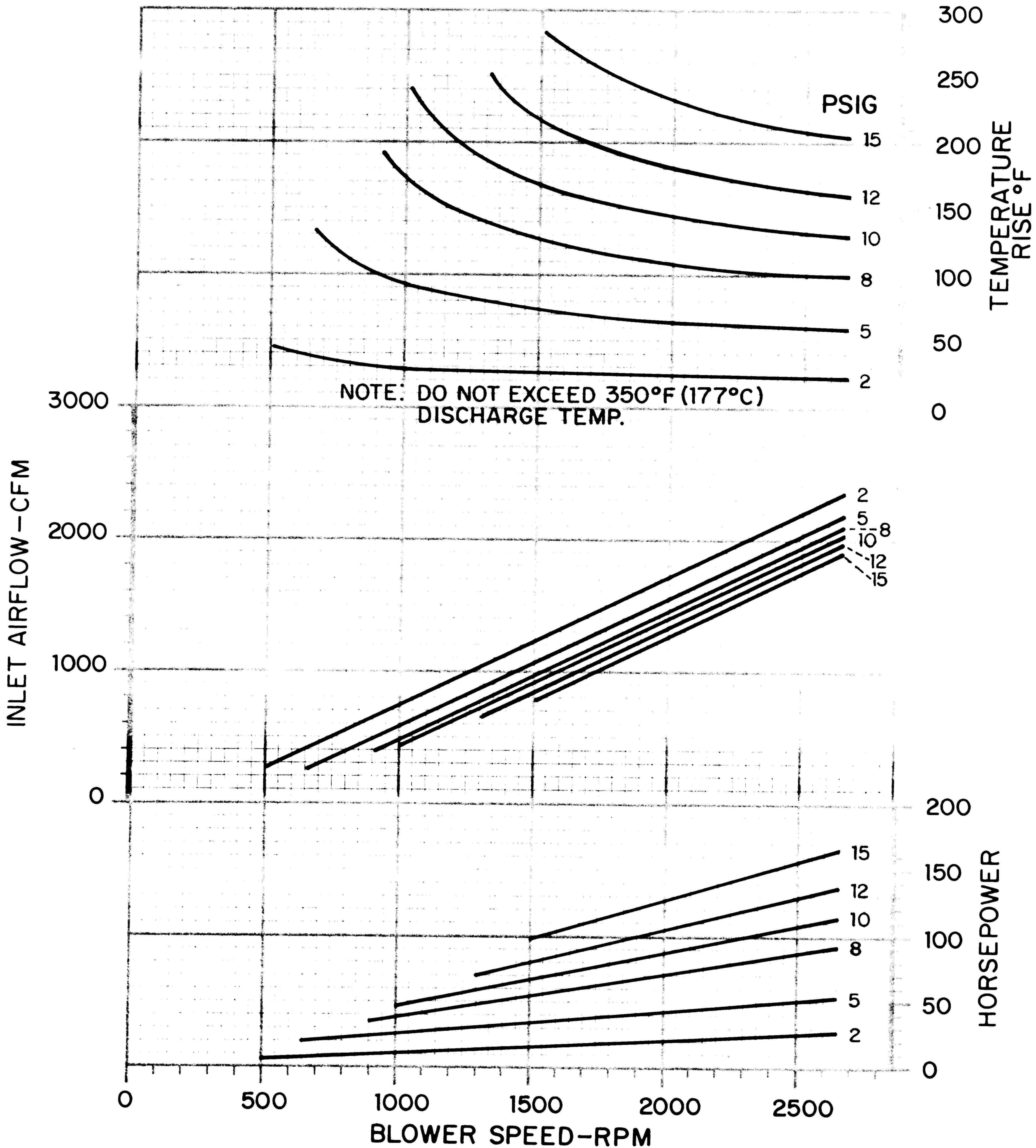


Figura 2.21 Curvas de rendimiento del soplador modelo 7015b

Como T_{real} es menor a la elevación de temperatura de la tabla, 230 °F, ello indica un margen de seguridad en la potencia (HP totales), ya que a mayor potencia, menos elevación de la temperatura, por la mayor cantidad de aire manejado.

La segunda parte del proyecto lo representa la alimentación a las máquinas de transformación, que en este caso están representadas por ocho máquinas de inyección, cinco de las cuales son para producir la preforma y las tres restantes para la fabricación de tapas, cada una con una producción estimada como sigue:

Máquina #1 -- 20 000 botellas/h de 500 ml X 28 g cada botella = 560 kg/h (1230 lb/h)

Máquina #2 -- 20 000 botellas/h de 500 ml X 28 g cada botella = 560 kg/h (1230 lb/h)

Máquina #3 -- 18 000 botellas/h de 600 ml X 34 g cada botella = 612 kg/h (1350 lb/h)

Máquina #4 -- 15 000 botellas/h de 1000 ml X 42 g cada botella = 630 kg/h (1390 lb/h)

Máquina #5 -- 15 000 botellas/h de 1000 ml X 42 g cada botella = 630 kg/h (1390 lb/h)

Máquina #6 -- 30 000 tapas/h de 5 g cada tapa = 150 kg/h (330 lb/h)

Máquina #7 -- 30 000 tapas/h de 5 g cada tapa = 150 kg/h (330 lb/h)

Máquina #8 -- 30 000 tapas/h de 5 g cada tapa = 150 kg/h (330 lb/h)

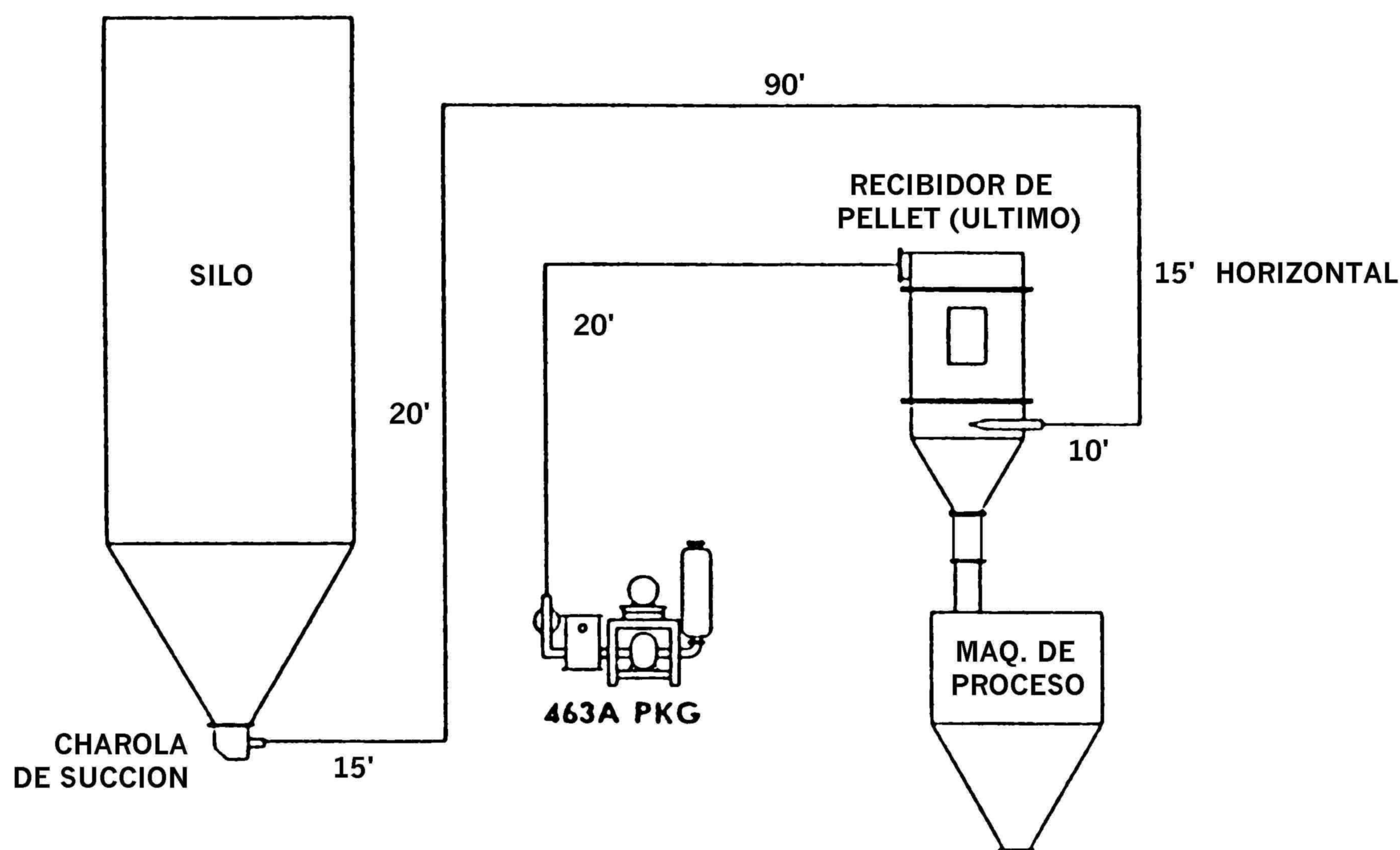
Capacidad total por hora = 3442 kg/h (7586 lb/h)

Como punto muy importante a considerar, en estos cálculos se considera al polietileno de las tapas en forma similar al PET, pues salvo que el PET es un poco más pesado y mucho más duro que el polietileno, para efectos de cálculo siempre se toma el material más pesado y crítico.

De acuerdo a lo anterior, se tiene lo siguiente.

SISTEMA 200 (ALIMENTACION A MAQUINAS DE INYECCION SOPLO)

SISTEMA A VACIO [FIGURA 2.22]



SISTEMA DE ALIMENTACION A PROCESO

Propuesta No. _____ Orden No. _____

Material PELLETS DE PET, Densidad 42 lb/ft³, capacidad 11 000 lb/Hr

F_n (Sólo sistemas a vacío, ver la TABLA 2.1) 0.28
 Rango F_a 4 (Ver TABLA 2.1) 0.51
 F_d 5; 170 Ft. totales en el Sistema 2.00
 F_e 5; 270 Grados totales de Codos 0.90
 F_v 2; 20 Ft. totales de la Vertical 0.10
 $F_t = F_a + F_d + F_e + F_v + F_n =$ 3.79

Tamaño de la Rotatoria
 NO HAY ROTATORIA EN EL SISTEMA

Diám. Línea 3"
 PSIG 4.9
 Pérdidas de Presión en la Entrada
 $L_1 =$ 4.54 PSI
 Pérdidas de Presión en la Descarga
 $L_0 =$ 0.60 PSI
 Elevación de la Presión
 ΔP del Soplador 10.00 PSI
 CFM = 613
 Pérdidas en la Rotatoria
 CFM = 0.00
 CFM Totales = 613

Tamaño del Filtro:
 NO HAY FILTRO EN EL SISTEMA

Especif. del Soplador
 Marca DUROFLOW
 Modelo 4509
 RPM 3700 H.P. 45

Cálculos del Soplador: Elevación de la planta = 7500 ft; 22.65" Hg = 11.12 PSIG
 14.7 - 11.12 = 3.58 PSI (Corrección de la altitud)

Figura 2.22 Hoja de cálculo para el sistema de alimentación a inyectoras

A. Especificaciones del cliente:

- a. Material: Pellets de Polietilen Tereftalato (PET).
- b. Capacidad: 11 000 lb/h
- c. Densidad: 42 lb/ft³
- d. Distancia horizontal: 150 ft
- e. 3 codos de 90°
- f. Distancia vertical: 20 ft

B. Factores del rango del material:

- a. $F_a = 4$
- b. $F_d = 5$
- c. $F_e = 5$
- d. $F_v = 2$
- e. Densidad aparente: 39 lb/ft³
- f. Eficiencia de la rotatoria: H

C. Factores de aceleración (tabla 2.1).

- a. $F_n = 0.28$
- b. $F_a = 0.51$

D. Factor de distancia (gráfica 2.1).

Son en total 170 ft, así, con un rango F_d de 5, tenemos un factor de distancia de 2.0.

E. Factor de codos (gráfica 2.2).

Se tienen 3 codos de 90°, por lo que el total es de 270°. Según la gráfica 2.2 y con un rango de codos de 5, tenemos un factor de codos F_e de 0.9.

F. Factor de (distancia) vertical (gráfica 2.3)

Tenemos 20 ft de distancia vertical y un rango vertical de 2. Así, tenemos un factor vertical de 0.1.

G. Factor total

$$F_t = F_a + F_d + F_v + F_e + F_n = 0.51 + 2.0 + 0.1 + 0.9 + 0.28 = 3.79$$

H. Tamaño de línea y presión (gráfica 2.4)

De acuerdo a la tabla 2.2, para un sistema a vacío y 11 000 lb/hr, tenemos una línea de 3". En la gráfica 2.4, con la línea de 11 000 lb/hr intersectando con la curva de 3", subir hasta intersectar de nuevo con la curva de Ft = 3.79, lo que nos da una presión del sistema de 4.9 psig.

I. No se usa en un sistema a vacío

J. Cálculo de los CFM para un sistema a vacío.

$$CFM = \frac{V_{Fd} A_D}{\frac{14.7 - [PSIG + L_1]}{14.8 + L_0}}$$

Donde:

$$V_{Fd} = 4800 \text{ FPM (a } Fd = 5)$$

$$A_D = 0.044 \text{ Ft}^2 \text{ para 3 OD X 14 GA}$$

$$L_1 = 3.58 \text{ psi Corrección de la altitud}$$

$$0.20 \text{ psi Charola de succión}$$

$$0.10 \text{ psi Filtro en línea}$$

$$0.20 \text{ psi Recibidor de pellets}$$

$$0.46 \text{ psi Línea de transporte}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 4.54 \text{ psi}$$

$$L_0 = 0.40 \text{ psi Pérdidas en el soplador}$$

$$0.20 \text{ psi Silenciador descarga}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 0.6 \text{ psi}$$

$$CFM = \frac{4800 * 0.044}{\left(\frac{14.7 - [4.9 + 4.54]}{14.8 + 0.6} \right)} = 613 \text{ CFM}$$

Cálculo de la elevación total de presión (ΔP) a través del soplador.

$$\begin{aligned}\Delta P &= (14.7 + L_0) - (14.7 - [\text{PSIG} + L_i]) \\ &= (14.7 + 0.6) - (14.7 - [4.9 + 4.54]) = 15.3 - 5.28 = 10 \text{ PSI}\end{aligned}$$

Usar ΔP (10 PSI) para determinar la potencia del motor.

Las curvas del soplador a vacío están en "Hg, por lo tanto,

$$10 \text{ PSI} \times 2.036 = 20.4 \text{ "Hg}$$

M. En este caso seleccionamos un modelo 4509 de Duroflow, operando a 3700 rpm, con 300 °F de elevación de temperatura y 39 BHP (fig. 2.23).

Normalmente, la temperatura a través del soplador de un sistema a vacío no es crítica

Para una mejor comprensión de este sistema en toda su magnitud, en la fig. 2.24 aparece un diagrama simplificado de todo el proyecto, donde se pueden ver la ubicación de todos los componentes involucrados en esta clase de instalaciones.

Todos los equipos necesarios para el manejo de materia prima plástica se diseñaron en base a la capacidad y las características físicas del producto a manejar.

TYPICAL VACUUM PERFORMANCE

at 29.92 "Hg Discharge Pressure
& 70°F Inlet Temperature

Model 4509 Blower

DISP. .252 CFR
Temperature Rise, Airflow & Horsepower

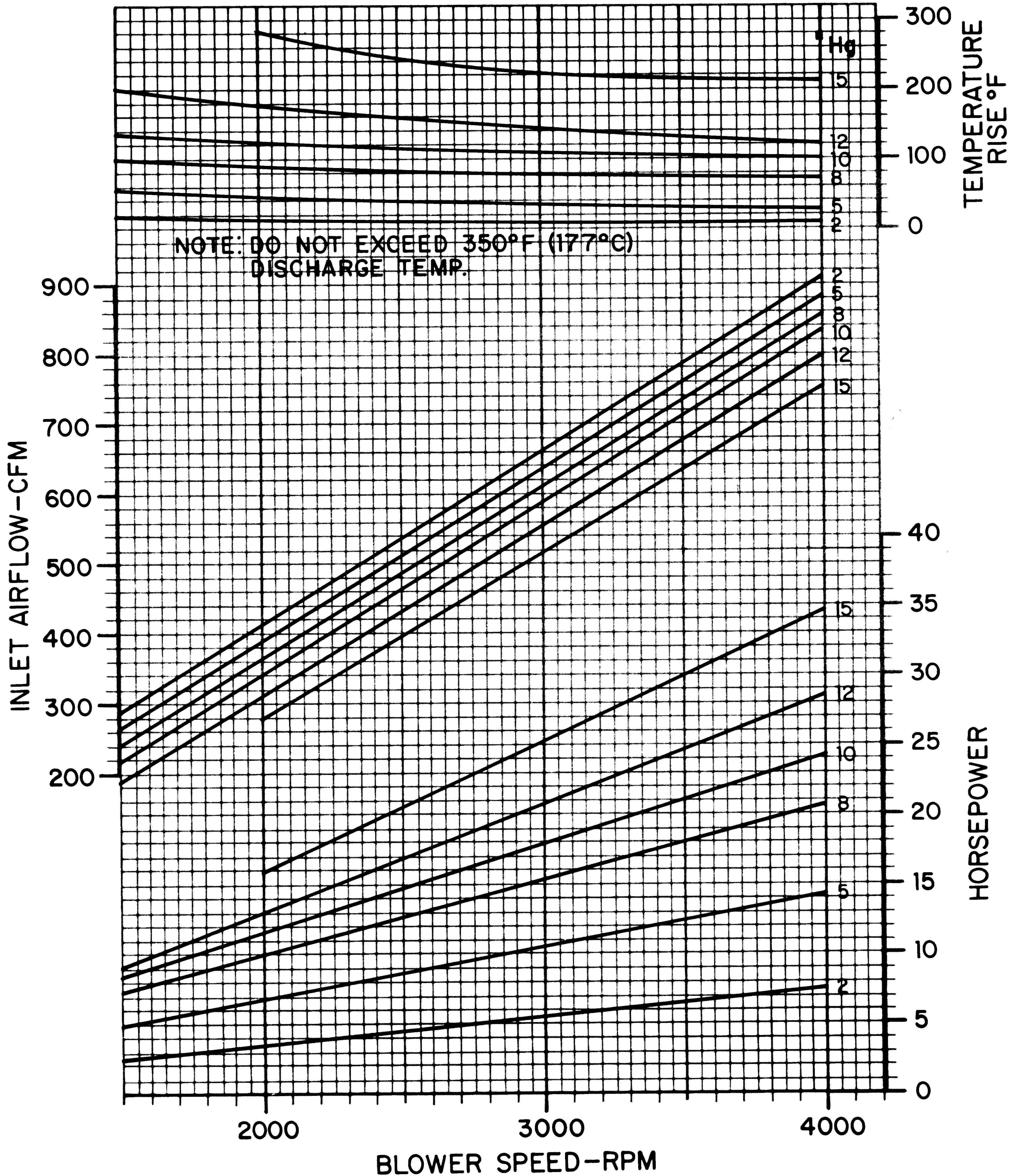


Figura 2.23 Curvas de rendimiento del soplador modelo 4509

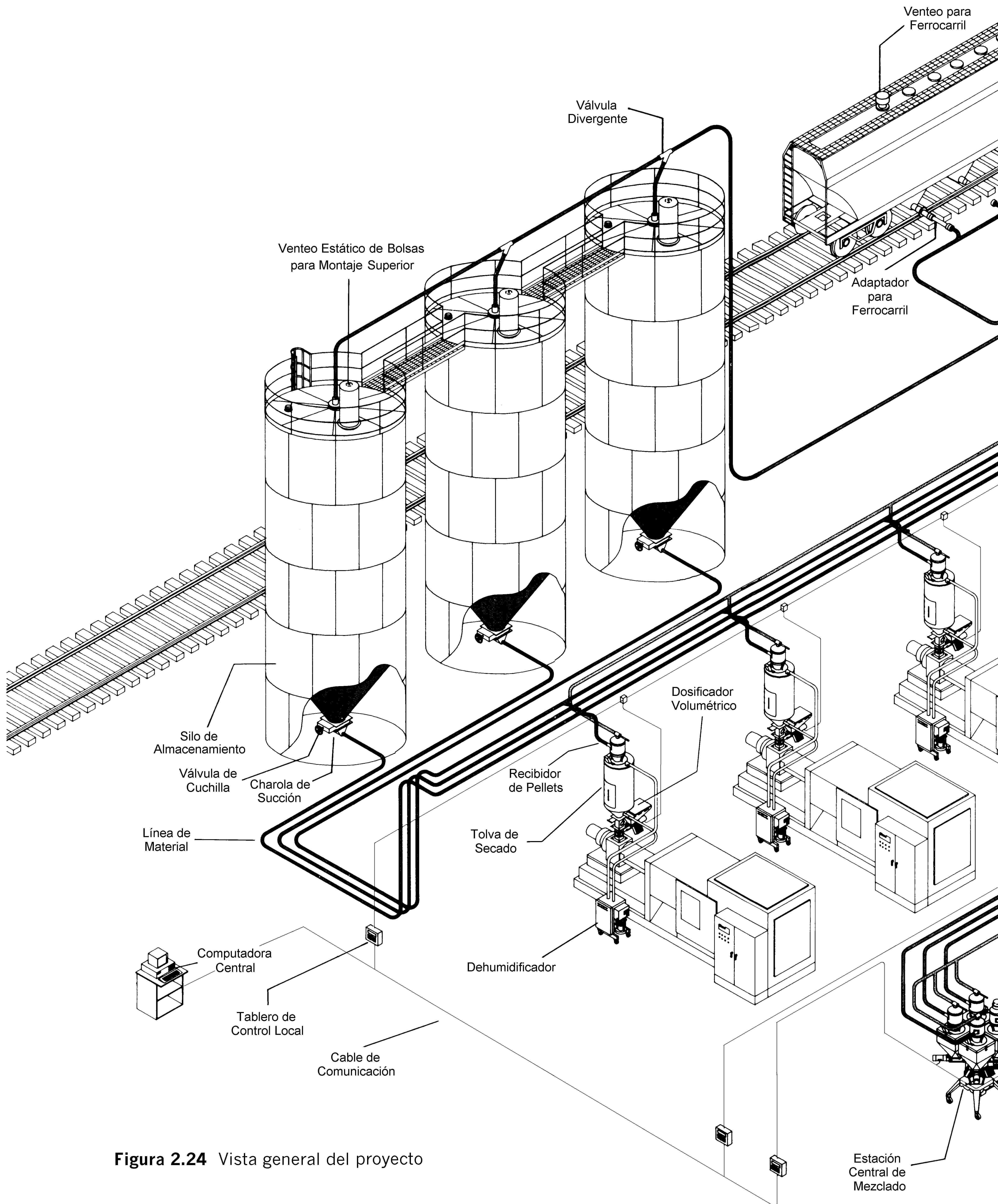
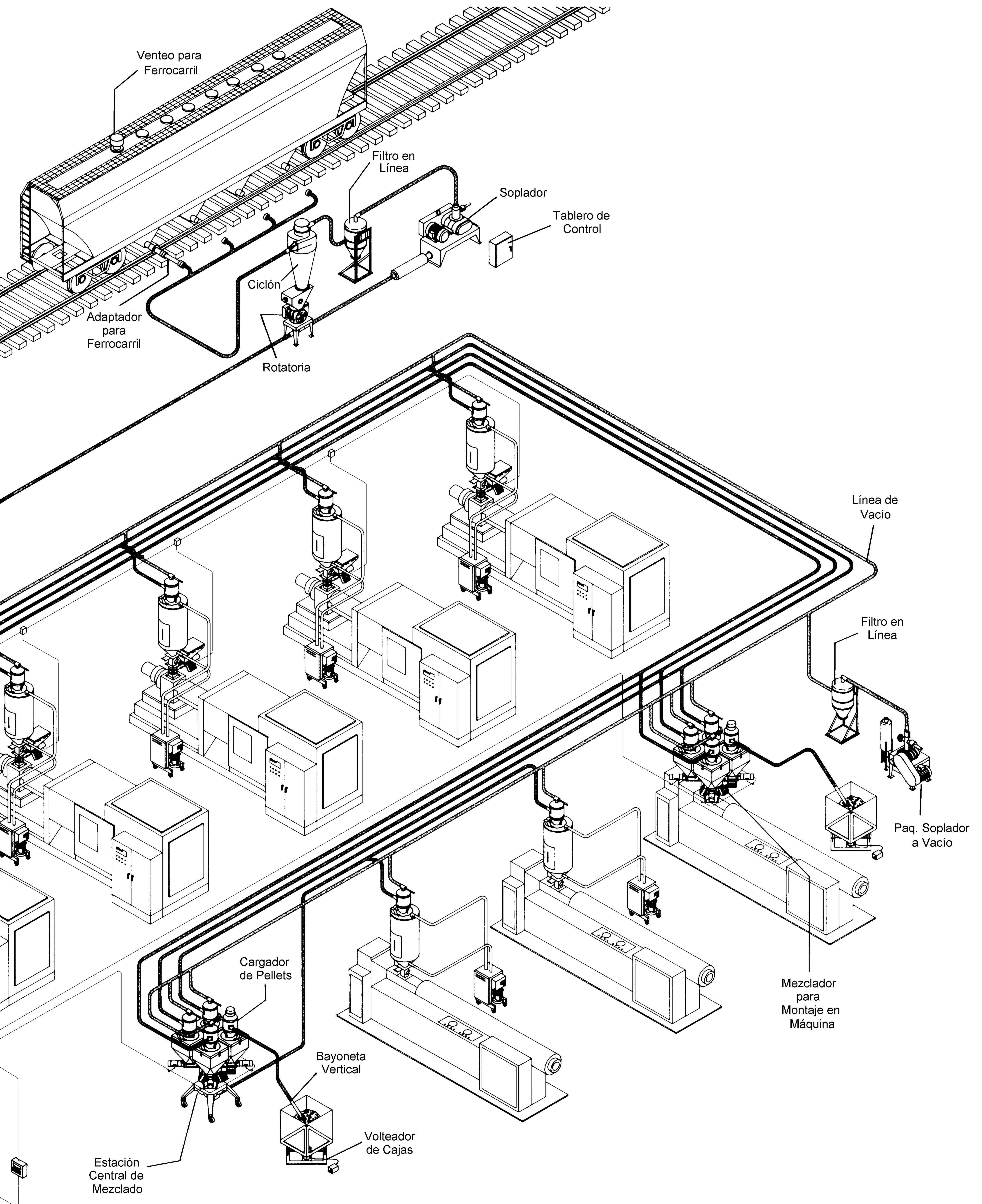


Figura 2.24 Vista general del proyecto



3 SISTEMA PROPUESTO

El equipo seleccionado en nuestro sistema se basó en equipos y datos de fabricantes originales y los tamaños son los adecuados para un proyecto de esta envergadura. En este sistema no se explican otros aspectos también muy importantes, como logística, condiciones del suelo, forma en que se recibe el material, función de los operadores, mantenimiento, materiales de construcción especiales, manejo de producto terminado y alimentación a las máquinas de soplado, el cual es el punto final de este tipo de industrias. Tampoco se hace mención del área de impresión ni de las instalaciones, las cuales son muy importantes, pues este equipo siempre trabaja bajo techo.

Aún así, en la vida real hay algunas compañías fabricantes de botellas de plástico que evitan el proceso de inyección. Estas compran las preformas a algún maquilador y sólo se concentran en el soplado de las mismas, evitando el invertir en instalaciones para materia prima y su manejo. Tal vez esta sea una alternativa más económica a primera vista, porque se concentran sólo en la parte final del proceso. Sin embargo, en esta última alternativa no se tiene control alguno sobre la calidad de la botella, además del incremento de los costos finales del producto, pues no hay que olvidar que todos los maquiladores tienen un margen de ganancia, que por poco que sea, repercute en el costo del producto final. Tal vez esta sea una buena opción para fabricantes de otros productos diferentes a los refrescos, donde se tenga un mayor valor agregado y los costos de la botella no sean significativos. Pero en el mercado de los refrescos, por mucho el más grande consumidor de envases de plástico, el costo del envase es vital para mantener precios competitivos y mantener su mercado.

El sistema de manejo de materia prima en esta clase de plantas es poco significativo, pues en general todo este conjunto de equipo, por ejemplo en nuestro sistema, es aproximadamente una tercera parte del costo de las inyectoras y tal vez ni una décima parte del costo total de la planta, además de que no es una opción, sino un equipo de proceso, sin el cual este tipo de fabricas no operarían.

Por último, con las figuras que componen esta tesis y con el dibujo de planta general mostrado, es posible darse una idea del objetivo y tamaño de esta clase de equipo.

4 CONCLUSIONES

Se seleccionó el sistema de transporte neumático más viable para manejar el PET a granel.

Tanto el sistema como el equipo seleccionados son los más utilizados en las industrias de transformación de plásticos.

Los parámetros de selección corresponden a los de operación idónea de equipos ya diseñados con dichas características productivas.

En este nivel de producción, tanto de cantidad como de calidad, no es posible evitar esta clase de equipos y de sistemas, pues su aportación al aumento de la producción y de la calidad del producto terminado es innegable.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cálculos, los equipos se dimensionaron en forma real para una planta con este tipo de producción. Los tamaños, modelos y características son iguales a los encontrados en este tipo de plantas.

La metodología de cálculo efectuada es el resultado de años de investigación y desarrollo de fabricantes de equipos originales a nivel mundial asociados a la CEMA (Conveyors Equipment Manufacturers Association), asociación norteamericana que con el paso de los años y gracias al poder de sus miembros, prácticamente determina las tendencias tecnológicas de este sector.

Dentro de ella, algunas definiciones, como por ejemplo los factores y rangos de material, no tienen una explicación teórica profunda, pues son el resultado de infinidad de pruebas de laboratorio e investigación y su fundamento es eminentemente heurístico.

En la búsqueda de información y para el objetivo de esta tesis se resumió lo que se consideró lo más relevante para su objetivo, en cuanto a fundamentos de cálculo y uso de hojas de datos.

5 BIBLIOGRAFIA

1. H. A. Stoess, Jr., *Pneumatic Conveying*, John Wiley and Sons, New York, 1970
2. MAC Equipment, Inc., Technical Paper 552, Kansas City, 1991
3. CRANE CO., Flow of Fluids, Technical Paper No. 410, Chicago, 1957
4. Kirk D.F. & Othmer F.D., *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4 th. Ed., John Wiley & Sons, N.Y., 1996.
5. Mcketta J.J. & Cunningham W.F., *Encyclopedia of Processing and Design*, Marcel Dekker Inc. N.Y., 1987
6. Perry R. & Green D., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, Cap. 6 y 7, 6 th. Ed., Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1994
7. Nol-Tec Systems, Inc., Technical Paper No. 101, Minnesota, 1995
8. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C., *Enciclopedia del Plástico*, 1ra Ed., México, 1997
9. Shick Tube-Veyor Co., Bulletin No. 747U, Missouri, 1974
10. R.D. Marcus, et al., *Pneumatic Conveying of Solids*, Chapman and May, Great Britain, 1990
11. David Mills, Optimizing Pneumatic Conveying, *Chemical Engineering*, December 2000, págs. 74 – 80, U.S.A.
12. David Mills, Optimizing Pneumatic Conveying: Air Movers, *Chemical Engineering*, February 2001, págs. 83 – 88, U.S.A.
13. David Mills, Materials Flowrates in Pneumatic Conveying, *Chemical Engineering*, April 2002, págs. 74 – 78, U.S.A.
14. Amrit T. Agarwal & Shrikant V. Dhodapkar, Debottleneck Pneumatic Conveying Systems, *Chemical Engineering*, April 2004, págs. 38 – 44, U.S.A.
15. Amrit T. Agarwal, Product Quality in Pneumatic Conveying, *Chemical Engineering*, November 2004, págs. 31 – 36, U.S.A.

16. David Mills, Pneumatic Conveying: Dilute vs. Dense Phase, *Chemical Engineering*, January 2005, págs. 51 – 57, U.S.A.
17. David Mills, Pneumatic Conveying: Know your options, *Chemical Engineering*, May 2005, págs. 58 – 63, U.S.A.
18. David Mills, Pneumatic Conveying: More options, plus guidelines, *Chemical Engineering*, June 2005, págs. 46 – 51, U.S.A.

APENDICE

A) FACTORES DE MATERIALES

Material	AR	SA	F _a	F _d	F _e	F _v	Densidad lbs/ft ³	EFF
Azúcar	35	25	6	7	6	2	59	M
Cal Hidratada	42	38	2	3	5	1	30	L
Granos de Café	45	60	4	4	1	6	42	H
Harina de Pescado	42	46	2	2	3	2	36	M
Pellets de ABS	40	30	3	3	2	4	35	H
Pellets de Nylon	28	22	2	2	1	4	47	H
Pellets de PET	23	29	5	5	4	3	41	M
Trigo en grano	35	37	3	3	1	5	50	H

NOTA:

1. Los productos listados podrían tener variaciones en cuanto a sus características o grados que podrían afectar los factores de un transporte neumático.
2. Definiciones:

AR - Angulo de reposo

SA - Angulo de deslizamiento

F_a - Factor de aceleración

F_d - Factor de distancia

F_e - Factor de codo

F_v - Factor vertical

EFF - Eficiencia de la capacidad de alimentación de la rotatoria

H - Alta

M - Media

L - Baja

B) SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMATICO

Nota I

Si parte de la distancia recta en el sistema de transporte es manguera flexible, multiplique la longitud de manguera por 2 cuando se requiera "Los pies totales de tubería recta en el sistema".

Nota II

Si parte de los grados de cambio de dirección en el sistema de transporte está en la manguera flexible, multiplique los grados de la manguera por 2 cuando se requiera "Los grados totales de cambio de dirección en el sistema".

Nota III

El factor F_n se usa SOLO con los sistemas a vacío.

C) DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LA LINEA: Los CFM disponibles y la velocidad de transporte son conocidas. El material tiene un Rango F_d de 2, el cual requiere una velocidad de 3600 FPM y el soplador existente tiene una capacidad de 300 CFM.

$$A = \frac{C}{V}$$

$$\text{Así, } A = \frac{300}{3600} = 0.083 \text{ Ft}^2$$

Donde: A = Area del tubo en FT^2

C = CFM

V = Velocidad en ft/min

De la Tabla "DIMENSIONES DE TUBERIAS", se puede ver que 4" OD en cal. 14 o cal. 16 es lo más aceptable.

D) DETERMINACION DE LOS CFM REQUERIDOS: En una línea de transporte de 3" OD x cal. 14 para manejar un producto con Rango Fd de 2, donde se requiere una velocidad de 3600 FPM.

$$C = A \cdot V = 0.044 \cdot 3600 = 158.4 \text{ CFM, aprox.}$$

E) DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL AIRE: Un paquete soplador existente produce 165 CFM a alguna presión, ¿cual es la velocidad del aire en un tubo de 3" OD, cal. 14?

$$V = \frac{C}{A} = \frac{165}{0.044} = 3750 \text{ FPM}$$

PRECAUCION: Las comparaciones anteriores se han hecho sólo para una referencia rápida. NO USE AL PIE DE LA LETRA ESTOS PROCEDIMIENTOS CUANDO INTENTE LLEVAR A CABO UN CALCULO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO MUY DETALLADO.

F) CALCULO DEL TAMAÑO Y LAS RPM DE UNA ROTATORIA

Para calcular la capacidad de alimentación de una válvula rotatoria utilice el siguiente método:

Capacidad de diseño de transporte _____

Desplazamiento del rotor _____ ft³/rev.

*Densidad aparente del producto _____ lbs/ft³

*Eficiencia esperada de A/L _____ %

_____ lbs/hr dividida por 60 min. = _____ lbs/min. dividida por

_____ lbs/ft³ = _____ ft³/min.

_____ ft³/min. dividido por _____ ft³/rev. = _____ RPM al 100% de llenado.
 _____ RPM al 100% + _____ % = _____ RPM de diseño.

G) DESPLAZAMIENTO DE LA ROTATORIA

Trabajo pesado (Heavy Duty)	Alta eficiencia (High Efficiency)	Trabajo múltiple (Multy-Duty)
HD 8x 6 = 0.17 ft ³ /rev	HE 7x 7 = 0.10 ft ³ /rev	MD 20 = 0.20 ft ³ /rev
HD10x 8 = 0.34	HE 9x 9 = 0.20	MD 40 = 0.40
HD12x10 = 0.60	HE12x12 = 0.60	MD 75 = 0.75
HD16x12 = 1.17	HE15x15 = 1.20	MD139 = 1.39
HD20x15 = 2.29		

**Eficiencia A/L : H = 90%
 M = 80%
 L = 70%

*De la tabla de factores de materiales.

**Los rangos de eficiencia de las rotatorias son a veces subjetivos y pueden variar de una aplicación a otra.

H) PERDIDAS EN LA ROTATORIA - APROXIMADO

Todas las válvulas rotatorias o alimentadores rotatorios tienen fugas en los claros tipo deslizables o fugas de aire de dos maneras:

1. Fugas de aire en las líneas de transporte a presión, cuando se libera a través de los espacios vacíos cuando gira el rotor.

2. Fugas a través de los claros maquinados entre las puntas del rotor y el cuerpo de la válvula.

Las ecuaciones dadas a continuación están basadas en una rotatoria vacía y, en la mayoría de los casos, el flujo de material podría funcionar como un efecto de sello, reduciendo las fugas de aire. Desafortunadamente, hay también muchas variables en donde es muy difícil de cuantificar el efecto de sellado. Así, las correcciones de sellado son muy subjetivas y deberán aplicarse con precaución.

Pérdidas en los espacios del rotor:

$$CFM = \frac{(14.7 + P) D N}{14.7}$$

Donde: P = A presión: PSIG + L0
A vacío: PSIG + L1

D = Desplazamiento en ft³/rev.

N = RPM

Pérdidas en los claros:

$$CFM = 30 \frac{A / 144 \sqrt{2454 P X}}{0.075}$$

Donde: A = Area promedio (pulg²) del claro

X = Factor basado en una presión diferencial y calores específicos de aire (k = 1.39 a 100° F)

Alta eficiencia				Trabajo pesado				Trabajo múltiple			
Modelo	A (pulg ²)			Modelo	A (pulg ²)			Modelo	A (pulg ²)		
	CL I	CL II	CL III		CL I	CL II	CL III		CL I	CLII	CLIII
HE 7x 7	0.163	0.282	0.446	HD 8x6	0.169	0.292	0.461	MD 20	0.183	0.316	0.499
HE 9x9	0.180	0.342	0.540	HD10x8	0.213	0.368	0.581	MD 40	0.227	0.392	0.619
HE12x12	0.278	0.479	0.757	HD12x10	0.257	0.444	0.701	MD 75	0.278	0.480	0.758
HE15x15	0.334	0.577	0.911	HD16x12	0.313	0.541	0.854	MD139	0.338	0.584	0.922
				HD20x15	0.390	0.674	1.064				

X					
P	X	P	X	P	X
0.5	0.0090	5.5	0.0545	10.5	0.0653
1.0	0.0168	6.0	0.0565	11.0	0. 656
1.5	0.0236	6.5	0.0582	11.5	0.0659
2.0	0.0295	7.0	0.0597	12.0	0.0660
2.5	0.0347	7.5	0.0610	12.5	0.0661
3.0	0.0392	8.0	0.0620	13.0	0.0662
3.5	0.0432	8.5	0.0630	13.5	0.0662
4.0	0.0466	9.0	0.0637	14.0	0.0661
4.5	0.0496	9.5	0.0644		
5.0	0.0522	10.0	0.0649		

I) TABLAS CON DATOS UTILES

		VELOCIDAD EN PIES POR MINUTO (PPM)									
O.D.	D.I.	3200	3600	4000	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800
2	1.880	8.67	10.85	13.25	15.88	18.74	21.81	25.11	28.63	32.37	36.32
2½	2.380	6.50	8.14	9.94	11.91	14.05	16.36	18.83	21.47	24.27	27.24
3	2.880	5.15	6.45	7.88	9.44	11.14	12.96	14.92	17.02	19.24	21.58
4	3.880	3.58	4.48	5.47	6.56	7.74	9.01	10.38	11.83	13.37	15.00
5	4.851	2.73	3.41	4.17	5.00	5.89	6.86	7.90	9.01	10.18	11.43
6	5.851	2.17	2.71	3.32	3.98	4.69	5.46	6.29	7.17	8.10	9.09
8	7.791	1.53	1.91	2.34	2.80	3.31	3.85	4.43	5.05	5.71	6.41
10	9.791	1.16	1.45	1.77	2.12	2.50	2.91	3.35	3.82	4.32	4.85
12	11.791	0.92	1.15	1.41	1.69	1.99	2.32	2.67	3.05	3.45	3.87
14	13.791	0.76	0.95	1.17	1.40	1.65	1.92	2.21	2.52	2.85	3.19
16	15.791	0.65	0.81	0.99	1.18	1.40	1.63	1.87	2.13	2.41	2.71

**PERDIDAS DE PRESION
PULGADAS DE AGUA POR 100 FT**

**TABLA DE ALTITUD - PRESION - TEMPERATURA - DENSIDAD
DEL AIRE**

ALTITUD (PIES)	PRESION (PULG DE HG ABS.)	TEMPERATURA GRADOS F	DENSIDAD LB/FT ³
0	29.92	70.0	.0750
500	29.38	68.1	.0740
1000	28.85	66.1	.0730
1500	28.33	64.2	.0719
2000	27.82	62.3	.0709
2500	27.31	60.4	.0698
3000	26.81	58.4	.0687
3500	26.33	56.5	.0676
4000	25.84	54.6	.0666
4500	25.37	52.6	.0657
5000	24.89	50.7	.0648
5500	24.43	48.8	.0638
6000	23.98	46.9	.0628
6500	23.53	45.0	.0619
7000	23.09	43.0	.0610
7500	22.65	41.0	.0600
8000	22.21	39.0	.0590
8500	21.80	37.1	.0581
9000	21.38	35.2	.0573
9500	20.98	33.3	.0564
10000	20.57	31.3	.0555
11000	19.75	28.5	.0538
12000	19.03	23.6	.0521
13000	18.29	19.7	.0505
14000	17.57	15.8	.0488
15000	16.88	12.0	.0473
20000	13.70	-12.6	.0405
25000	11.10	-30.1	.0337
30000	8.88	-47.5	.0281
35000	7.03	-65.6	.0233
40000	5.54	-69.8	.0185
45000	4.36	-69.8	.0145
50000	3.43	-69.8	.0114