

24174



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"MAQUINARIA DE TRANSPORTE Y ELEVACION
DE MATERIALES EN AGROINDUSTRIAS".

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

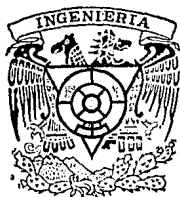
Ingeniero Mecánico Electricista

Presenta:

Servando de Jesús Martínez Bustamante

Director de Tesis:

ING. CARLOS FLORES RUIZ



MEXICO, D. F.

1988.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N T R O D U C C I Ó N

Se puede decir que en la mayoría de las industrias, ocupa un papel importante el manejo de materiales, pues afecta a un renglón de la economía industrial que es la producción. De esta manera se hace necesario el estudio de los sistemas de transporte y elevación de materiales, para tener un conocimiento pleno del equipo que satisfaga las necesidades, tomando en consideración las características de los materiales, como pueden ser: densidad (peso específico), forma, volumen, fragilidad, etc.. En muchos casos se encuentra que la selección del equipo no fue la adecuada, por lo que la eficiencia del sistema es muy baja.

Es también necesario tener un conocimiento completo de las diversas formas en que pueda trasladarse algún tipo de material, para poder comparar y elegir adecuadamente el equipo.

En algunas ramas de la ingeniería, se estudian los conceptos relacionados con la potencia y tipo de equipo para movimiento de materiales propiamente en dicho campo; tal es el caso, por ejemplo, de la ingeniería civil para el movimiento de tierras o de la ingeniería minera en el traslado

de minerales. En otros casos el ingeniero aplica directamente sus conocimientos y creatividad para resolver problemas relacionados con el movimiento de materiales.

En el caso particular de la agroindustria de alguna manera se ve involucrado el uso de algún sistema de transporte en su proceso de recolección y almacenamiento; algunas veces como equipo auxiliar (como en las cosechadoras), en otras como equipo integral de todo un sistema complejo de almacenamiento o proceso. En la selección de equipo siempre es necesaria la opinión y la experiencia del fabricante, sin embargo para el ingeniero que está directamente involucrado en el problema, es importante tener elementos para tomar decisiones inmediatas y para ello deberá poseer conocimiento preciso de los diversos sistemas y su análisis.

Ante tal situación, se consideró necesario realizar un estudio sobre los diversos sistemas de transporte de materiales, con objeto de conocer sus características particulares, así como elementos constitutivos y parámetros de funcionamiento que permitan hacer una correcta evaluación y adecuada selección del equipo.

El desarrollo del presente trabajo se efectúa analizando primeramente los sistemas mecánicos que, por su forma de operar y elementos constitutivos, mantienen alguna similitud

tud en su movimiento cinemático y dinámico. Los sistemas tratados en este grupo son: transportador de banda, transportador de cadena, elevador de cangilones, montacargas de cajón, tranvía aéreo y transportador de tornillo sin fin. Estos sistemas cargan o arrastran el material operando con movimiento continuo o intermitente.

Los sistemas tratados por último, se refieren al transporte de material empleando como medio aire o agua, en el cual viaja en suspensión.

El desarrollo trata de seguir un orden común para cada uno de los temas considerando los siguientes puntos: descripción, elementos constitutivos, clasificación, arreglos generales, análisis cinemático y dinámico, selección de equipo.

Con lo que se ha escrito aquí, no se pretende cubrir todo lo que existe sobre el campo de transportación ni profundizar en el estudio de los sistemas analizados, sino más bien dar los lineamientos generales de esta disciplina, con el propósito de que sea empleado por quienes de alguna manera tengan que ver con el tema.

I N D I C E

6

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	3
CAP. I TRANSPORTADOR DE BANDA.....	9
- Descripción.....	9
- Elementos constitutivos.....	9
- Clasificación.....	12
- Arreglos generales.....	14
- Capacidad.....	15
- Velocidad.....	17
- Análisis dinámico.....	22
- Selección de equipo.....	28
CAP. II TRANSPORTADOR DE CADENA.....	30
- Descripción.....	30
- Elementos constitutivos.....	30
- Clasificación.....	32
- Arreglos generales.....	37
- Capacidad.....	38
- Velocidad.....	38
- Análisis dinámico.....	39
- Selección de equipo.....	44
CAP. III ELEVADOR DE CANGILONES.....	46
- Descripción.....	46
- Elementos constitutivos.....	46

		7
	- <i>Clasificación</i>	49
	- <i>Arreglos generales</i>	52
	- <i>Velocidad</i>	54
	- <i>Capacidad</i>	55
	- <i>Análisis dinámico</i>	57
	- <i>Selección de equipo</i>	61
CAP. IV	MONTACARGAS DE CAJÓN.....	63
	- <i>Descripción</i>	63
	- <i>Elementos constitutivos</i>	63
	- <i>Arreglos generales</i>	70
	- <i>Clasificación</i>	71
	- <i>Parámetros de operación</i>	72
	- <i>Selección de equipo</i>	76
CAP. V	TRANVIAS AEREOS.....	78
	- <i>Descripción</i>	78
	- <i>Elementos constitutivos</i>	79
	- <i>Clasificación</i>	84
	- <i>Parámetros de operación</i>	86
	- <i>Análisis dinámico</i>	88
CAP. VI	TORNILLO SIN FIN.....	91
	- <i>Descripción</i>	91
	- <i>Elementos constitutivos</i>	91
	- <i>Clasificación</i>	94
	- <i>Tipos de placas helicoidales</i>	94
	- <i>Arreglos típicos</i>	97

	8
- Capacidad.....	98
- Velocidad.....	102
- Análisis dinámico.....	105
- Criterio de diseño.....	109
CAP. VII TRANSPORTE NEUMÁTICO.....	111
- Descripción.....	111
- Clasificación.....	112
- Arreglos típicos.....	11
- Análisis cinemático.....	116
- Análisis dinámico.....	121
- Criterio de diseño.....	130
CAP. VIII TRANSPORTE HIDRAULICO.....	131
- Descripción.....	131
- Elementos constitutivos.....	132
- Clasificación.....	132
- Análisis cinemático.....	134
- Análisis dinámico.....	143
CONCLUSIONES.....	156
BIBLIOGRAFIA.....	157
APÉNDICE.....	160

CAPITULO I

TRANSPORTADOR DE BANDA

DESCRIPCION:

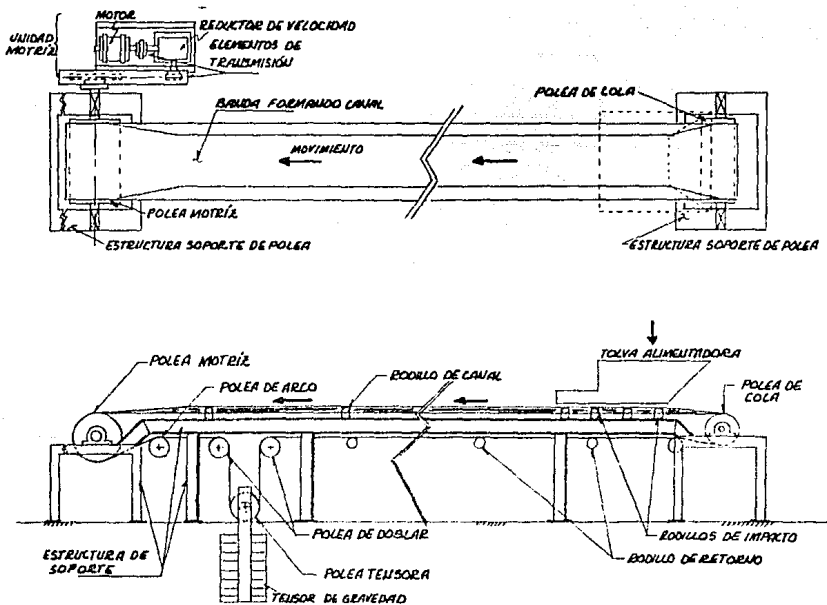
Los transportadores de banda son los de uso más frecuente, ya que la simplicidad de su construcción y el bajo consumo de energía por fricción se traduce en un bajo consumo de fuerza motriz y economía en el gasto de mantenimiento.

Sus componentes principales son los siguientes:

- 1) BANDA.- Es el elemento de soporte y traslado de material; existen diferentes tipos de banda y su selección depende mucho de las características que presente el material, y también de la tensión de operación que actúa en ella.
- 2) POLEAS.- Son los elementos que transmiten movimiento a la banda, le ayudan a seguir una trayectoria determinada y a mantenerla tensa. Su nombre y ubicación se muestran en la figura B-1.
- 3) RODILLOS.- Se emplean para soportar la banda en el lado de carga y en el retorno de la banda vacía. En el lado de carga pueden ser planos o formando canal; los de retorno normalmente son planos.
- 4) UNIDAD IMPULSORA.- Es el equipo motriz que proporciona la

potencia necesaria para mover la banda y su carga. Está formada por el motor, el reductor de velocidad y elementos de transmisión (poleas, catarinas, acoplamientos, cadena, etc.).

- 5) ESTRUCTURA.- Es el armazón metálico que soporta y mantiene en alineación a poleas y rodillos; incluso a la unidad motriz.



COMPONENTES PRINCIPALES DE UN TRANSPORTADOR DE BANDA

FIG. B-1

La forma como opera el transportador de banda es la siguiente: El material a transportarse es depositado sobre la banda, la cual con su movimiento sin fin, lo traslada para descargarlo en lugares intermedios o al final de su trayectoria.

Se puede transportar una amplia variedad de materiales: polvosos, granulares o terrones; y también cajas, bultos, elementos para proceso, etc. Pueden efectuarse arreglos de transportadores con trayectorias horizontales, inclinadas o una combinación de ambas, elevando o bajando material; pueden realizarse incluso arreglos especiales con trayectorias de elevación en forma semicircular, (Las figuras B 4 y B4' muestran algunos arreglos posibles de trayectorias).

El ángulo de inclinación que puede darse a un transportador con trayectoria ascendente o descendente depende de las características que presente el material como son: tamaño, forma, contenido de humedad, ángulo de sobrecarga, etc.

Otros factores que afectan el máximo ángulo de inclinación son: velocidad de la banda, ascenso o descenso del material, carga uniforme y continua, carga parcial o total de la capacidad de la banda. Se han elaborado tablas para el máximo ángulo de inclinación para transportadores de banda según el material por manejar; el cual debe respetarse para evitar deslizamiento de éste; la tabla AB-1 del apéndice pro

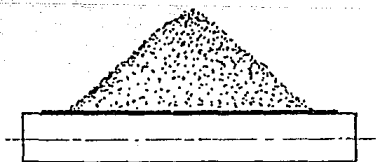
porciona algunos datos al respecto.

Este sistema de transportación presenta limitaciones en cuanto a materiales con altas temperaturas, ya que bandas construidas con capas de hule o capas de lona son afectadas en estas condiciones; algunas veces se recurre al uso de bandas de construcción especial o de bandas metálicas.

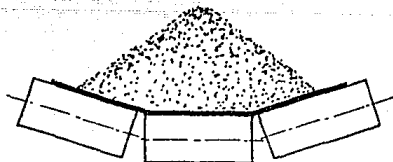
CLASIFICACIÓN:

1) Según el tipo de banda los transportadores pueden ser:

- DE BANDA PLANA.- Utilizados especialmente cuando se requiere descargar en puntos intermedios.
- DE BANDA ACANALADA.- El canal formado por los rodillos, permite el uso de bandas gruesas, que se requieren para manejar materiales pesados y de gran tamaño.



BANDA PLANA



BANDA ACANALADA

2) Según el mando de accionamiento;

- SENCILLO (una sola polea impulsora); B-3 (a)
- DOBLE POLEA IMPULSORA; B-3 (b)

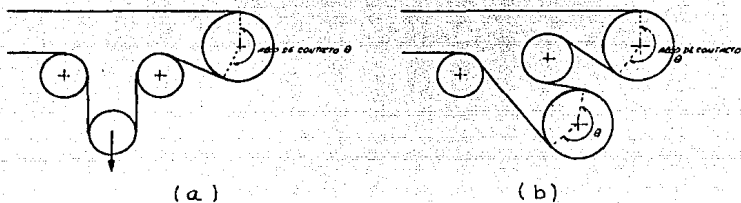
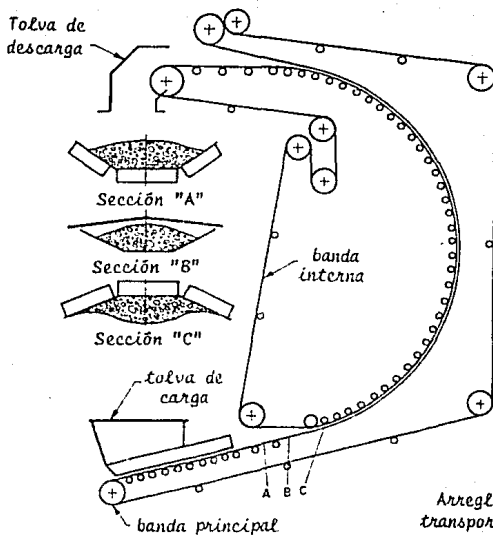
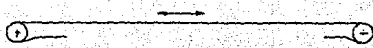


FIG. B-3



Arreglo especial de
transportador de banda
Fig. B-4



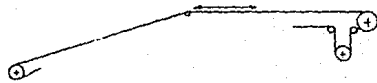
BANDA HORIZONTAL



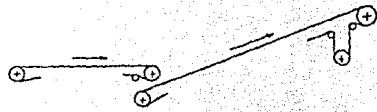
TRAYECTORIA HORIZONTAL Y ASCENDENTE CON CURVATURA USANDO UNA SOLA BANDA.



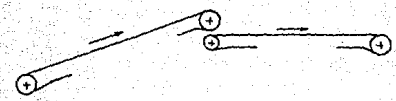
TRAYECTORIA ASCENDENTE Y HORIZONTAL CON CURVATURA USANDO UNA SOLA BANDA.



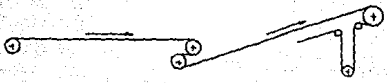
TRAYECTORIA ASCENDENTE - HORIZONTAL U HORIZONTAL - DESCENDENTE SIN CURVATURA



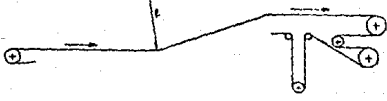
TRAYECTORIA HORIZONTAL Y ASCENDENTE CUANDO SE REQUIERE DEL USO DE DOS BANDAS.



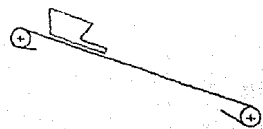
TRAYECTORIA ASCENDENTE Y HORIZONTAL, CUANDO SE USAN DOS BANDAS TRANSPORTADORAS.



TRAYECTORIA HORIZONTAL Y ASCENDENTE SIN CURVATURA, USANDO UNA SOLA BANDA.



TRAYECTORIA COMBINADA HORIZONTAL-ASCENDENTE - HORIZONTAL CON CURVATURA



EL CARGADO PUEDE EFECTUARSE COMO SE MUESTRA, CON LA BANDA INCLINADA.

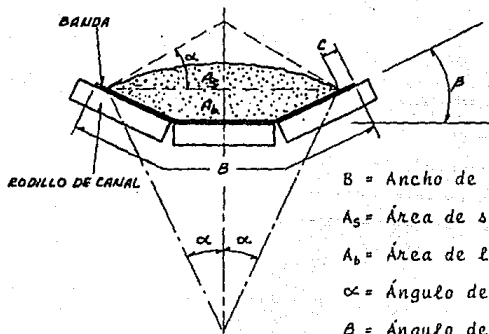


CARGADDE MOVIBLE CON TOLVA DE ALIMENTACION A LA BANDA EN DIFERENTES PUNTOS DE ELLA.

ARREGLOS TÍPICOS DE TRANSPORTADORES DE BANDA

FIG. B-4'

Suponiendo que se tiene una alimentación uniforme, el área de la sección transversal de la carga en la banda, determina la capacidad del transportador para una velocidad dada.



B = Ancho de la banda

A_s = Área de sobrecarga

A_b = Área de la base trapesoidal

α = Ángulo de sobrecarga

β = Ángulo de canal

c = Distancia libre de carga en la banda (= $0.0558 + 0.9''$)

SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BANDA CON CARGA

Fig. B-5

La capacidad Q será:

$$Q = A_t \cdot V \text{ [m}^3/\text{min]} \text{ (pies}^3/\text{min)} \dots\dots (1)$$

$$A_t = \text{Área total de la sección transversal} \\ = A_s + A_b \text{ [m}^2\text{]} \text{ (pies}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

V = Velocidad lineal de la banda
[m/min] (pies/min)

La capacidad expresada en función del peso específico δ' del material está dada por:

$$Q = A_t \cdot v \cdot \delta' \quad [\text{N/mín}] \quad (\text{lb/mín}) \quad \dots \dots \dots (3)$$

o bien $Q = b_c \cdot A_t \cdot v \cdot \delta' \quad [\text{Ton/hr}] \quad \dots \dots \dots (4)$

δ' = Peso específico del material $[\text{N/m}^3]$ (lb/pie^3)

b_c = factor de conversión

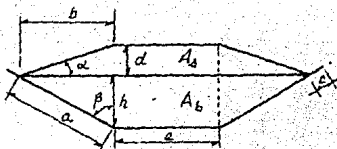
$b_c = 0.0061$ Sistema Internacional

$b_c = 0.03$ Sistema Inglés

El área total de la sección transversal, obtenida como la suma del área trapezoidal A_b y el área de sobrecarga A_x puede calcularse en función del ancho de banda, del ángulo de canal y el ángulo de sobrecarga de la siguiente manera:

$$A_x = [0.371B + 0.25 + \cos \beta (0.2595B - 1.025)] \cdot [\text{sen} \beta (0.2595B - 1.025)] + \left[\frac{\pi d}{180} - \frac{\text{sen} 2\alpha}{2} \right] \cdot \left[\frac{0.1355B + 0.125 + \cos \beta (0.2595B - 1.025)}{\text{sen} \alpha} \right] \dots (5)$$

(La tabla AB-6 del apéndice proporciona valores de A_x para tres ángulos de canal estandar). De manera aproximada se puede considerar como la suma de dos áreas trapezoidales como se muestra a continuación:



$$A_t = A_x + A_b \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$c = 0.042 B + 0.025$$

$$a = \frac{B}{3} - c$$

$$h = a \cos \beta$$

$$e = \frac{B}{3}$$

$$b = h \tan \beta$$

$$d = b \tan \alpha$$

$$A_t = b(d + h) + e(d + h) \quad \dots (7)$$

Donde: B, a, b, c, d, e, h son dados en m

El ancho de banda se incrementa proporcionalmente con el incremento de la capacidad y del tamaño del material que ha de transportarse. Algunas observaciones prácticas recomiendan que el ancho de banda se defina de acuerdo al contenido y tamaño de terrones de los materiales; como en el caso de la transportación de materiales con 90% de finos y 10% de terrones, en que se tiene que el máximo tamaño de estos últimos debe ser 1/3 del ancho de banda; otro ejemplo es cuando se transporta terrones sin contenido de finos, donde el máximo tamaño de terrón debe ser 1/5 del ancho de banda. En la figura AB-2 del apéndice se muestra una gráfica que relaciona tamaño de terrón y ancho de banda.

La velocidad a que debe operar la banda depende del tipo de material que se transporta; por ejemplo para materiales polvosos se debe usar velocidad baja para evitar su esparcimiento al medio ambiente. Para manejo de materiales frágiles o punzocortantes también se debe aplicar la misma característica para evitar la degradación del material y el ataque

a la banda, respectivamente. La velocidad de la banda influye también en la descarga, pues a grandes velocidades el material será lanzado con más fuerza, provocando un gran choque con la tolva de descarga y el desmenuzamiento del material. Con respecto a la duración de la banda: con grandes velocidades, la banda pasará mayor número de veces por el punto de carga, lo cual implica un mayor desgaste.

La capacidad puede determinarse con ayuda de tabulaciones, otras veces es un dato del cual se parte para calcular la velocidad de la banda, que debe estar acorde con las consideraciones antes dichas.

De esta manera, de la ec. (1)

$$v = Q/A_t \text{ (m/min) (pies/min) } \dots\dots\dots (8)$$

Para la polea motriz, de la fórmula de velocidad

$$v = \frac{2\pi n r}{60} \text{ (m/seg) (pies/seg) } \dots\dots\dots (9)$$

De donde despejando n , las revoluciones por minuto de la polea motriz son:

$$n = \frac{v \cdot 60}{2\pi r} \text{ (rpm) } \dots\dots\dots (10)$$

$$n = \frac{v \cdot 60}{\pi D} \text{ (rpm) } \dots\dots\dots (10)$$

$D = 2 r = \text{Diámetro de la polea motriz [m] (pies)}$

Al ser descargado el material, sale impulsado con la velocidad misma de la banda y en su viaje describirá una trayectoria parabólica que es función del ángulo de inclinación de la banda θ , el ángulo de despegue del material α y de la magnitud de la velocidad de salida, (fig. B-6).

La trayectoria descrita es de importancia en el diseño de la tolva de descarga, ya que en el punto de incidencia se debe prever el mayor desgaste por impacto, así como la orientación del flujo de material.

Cuando la descarga se efectúa sobre una polea terminal se presentan diferentes condiciones en el lanzamiento del material y la trayectoria que sigue, en función de la posición de la banda, ángulo de despegue y velocidad de impulso antes dicha:

- Caso 1.- Banda en posición horizontal; el material es lanzado en el punto donde cambia de dirección la trayectoria de la banda; esto es, con ángulo de despegue $\alpha = 0^\circ$ respecto a la vertical (materiales no muy pesados y de flujo libre).
- Caso 2.- Banda con inclinación bajando material; con ángulo de despegue $\alpha > 0^\circ$
- Caso 3.- Banda con trayectorias: horizontal, ascendente y descendente, cuando $\alpha > 0^\circ$. Caso de materia-

les pesados o que tienden a adherirse en la banda y cuando se emplean bajas velocidades.

Caso 4.- Banda con trayectoria ascendente; con despegue del material en el punto donde cambia de dirección la trayectoria de la banda.

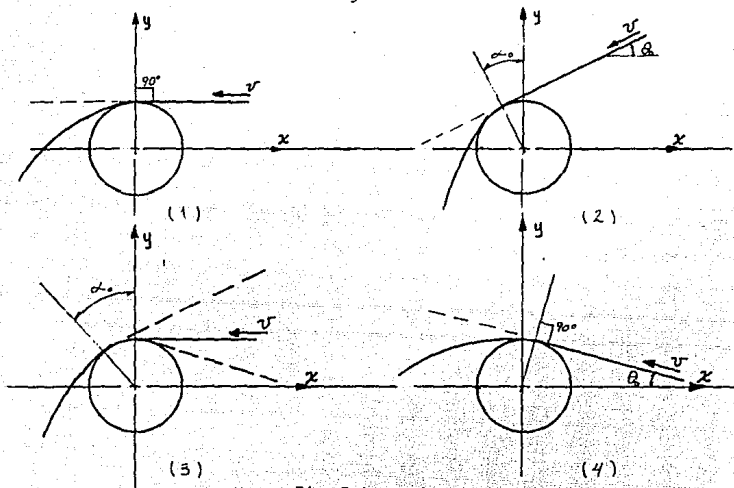


Fig. 8-6

En los casos anteriores y considerando un sistema de ejes coordenados $x - y$ como el mostrado, es posible aplicar las siguientes ecuaciones:

En la dirección y se tiene un movimiento uniformemente acelerado.

$$v_y = (v_y)_0 + at \quad \text{Velocidad en } y \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$y = (y)_0 + (v_y)_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \text{posición} \quad \dots\dots (12)$$

Donde:

$(v_y)_0$ = componente de la velocidad inicial en "y"

a = aceleración de la gravedad

$$= [9.81 \text{ m/seg}^2] [32.2 \text{ pies/seg}^2]$$

En la dirección del eje "x", se tiene un movimiento uniforme:

$$v_x = (v_x)_0 \quad \text{velocidad en } x \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$x = x_0 + (v_x)_0 t \quad \text{posición} \quad \dots\dots\dots (14)$$

El ángulo α (ángulo de despegue del material) se puede determinar de la siguiente manera:

$$\cos \alpha = \frac{v^2}{g\pi} \quad \dots\dots\dots (15)$$

En la cual:

r_0 = distancia del centro de la polea al punto superior de la banda [m] [pies].

ANÁLISIS DINÁMICO

Un análisis de fuerzas en la polea motriz determina la interacción de dos fuerzas principales: Una fuerza de tensión T_1 que actúa en el lado de carga y una fuerza de tensión T_2 actuando en el lado de retorno de la banda.

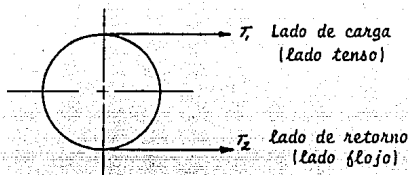


Fig. 8-7

La tensión T_1 es la fuerza máxima a la que estará sometida la banda; la tensión T_2 es la fuerza necesaria para evitar que la polea patine y asegurar que se transmita el movimiento. La diferencia entre estas dos tensiones es conocida como tensión efectiva de trabajo T_E y es la fuerza que mueve a la banda y su carga:

$$T_E = T_1 - T_2 \quad [\text{KN}] \text{ (lb)} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Es necesario que exista cierto ángulo de contacto entre la banda y la polea para que la tensión T_2 realmente cumpla su función; a dicho ángulo se le llama "ángulo de agarre o contacto" y se le designa con la letra griega θ . En algunos casos es necesario que sea muy grande, por lo que se de-

be emplear doble polea motriz; esto implica que habrá mayor eficiencia en el movimiento, como lo solicita la situación de carga.

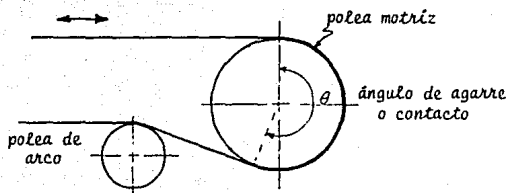


Fig. B-8

Se ha visto que para varios tipos de banda la relación T_1/T_2 es constante y el coeficiente de fricción, que relaciona banda, polea motriz y arco de contacto influye de manera determinate. Dichos parámetros se hallan relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{f\theta} = \frac{1+k}{k} \dots\dots\dots (17)$$

- Donde: e = base de los logaritmos naturales
 f = coeficiente de fricción
 θ = ángulo de contacto, en radianes
 k = factor de arrollamiento

La tensión T_2 es obtenida mediante el uso de algún tensor y su magnitud es proporcional al valor de la tensión efectiva, según se deduce de las ecuaciones (16) y (17).

$$T_2 = k T_E \quad [\text{KN}] \quad (\text{lb}) \quad \dots\dots\dots (18)$$

El factor de arrollamiento k depende pues, del tipo de tensor empleado, del arco de contacto y del coeficiente de fricción. Algunos valores prácticos para f y k son dados en las tablas AB3 y AB4 del apéndice.

En los transportadores equipados con tensor de contrapeso, colocado cerca de la transmisión y cuando se conoce el peso total del mismo, la tensión T_2 puede calcularse como:

$$T_2 = \frac{\text{Peso total del contrapeso}}{2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

Para seleccionar la banda se considera la tensión máxima de operación T_1 , la cual puede expresarse en KN/cm (lb/pulg) de ancho de banda y se le llama tensión máxima unitaria T_u :

$$T_u = \frac{T_1 \quad [\text{KN}] \quad (\text{lb})}{\text{ancho de banda} \quad [\text{cm}] \quad (\text{pulg})} \quad \dots\dots\dots (20)$$

De la ecuación de potencia P:

Potencia = Fuerza x Velocidad.

$$P = \frac{T_E \cdot v}{60} \quad [\text{Kwatt}] \quad \dots\dots\dots (21)$$

T_E - [KN]

v - [m/min]

P - potencia necesaria para mover la banda y su carga a la velocidad v .

La potencia total requerida para transportar Q Ton/hr de material, a una longitud ' L ' y una altura ' h ' puede calcularse como la suma de tres potencias parciales como sigue:

1) Potencia necesaria para girar la banda sin carga

P_V :

$$P_V = \frac{G \cdot \mu_x \cdot v \cdot L_0}{60} \quad [\text{Kwatt}] \quad \dots\dots [22]$$

$$P_V = \frac{G \cdot \mu_x \cdot v \cdot L_0}{33000} \quad [\text{H.P.}] \quad \dots\dots [23]$$

2) Potencia necesaria para mover la carga en sentido horizontal
tal P_C :

$$P_C = \frac{L_0 \cdot \mu_x \cdot Q}{367} \quad [\text{Kwatt}] \quad \dots\dots [24]$$

$$P_C = \frac{L_0 \cdot \mu_x \cdot Q}{990} \quad [\text{H.P.}] \quad \dots\dots [25]$$

3) Potencia necesaria para levantar la carga a una altura h .

En caso de que la carga sea bajada, la potencia tendrá signo negativo, debido a que el material es el que realiza trabajo sobre el transportador.

$$P_L = \frac{Q \cdot h}{367} \text{ [Kwatt]} \quad \dots\dots (26)$$

$$P_L = \frac{Q \cdot h}{990} \text{ [H.P.]} \quad \dots\dots (27)$$

Por lo que, la potencia total para un transportador de banda es:

$$P_T = P_U + P_C + P_L \quad \dots\dots (28)$$

Donde, para las ecuaciones anteriores:

G = peso de la banda, rodillos, poleas tensoras y todas las poleas terminales giradas por la banda; se expresa en (KN/m) o bien (lb/pie).

f = coeficiente de fricción de las piezas rodantes.

$f_x = 0.03$ para equipo nuevo

$f_x = 0.035$ para equipo usado

$f_y = 0.04$ para equipo nuevo

$f_y = 0.045$ para equipo usado

L = longitud del transportador medida a lo largo de la banda, entre las poleas terminales.

[m] (pies)

L_o = distancia ajustada entre centros*

$L_o = 0.55 L + 35.06$

$L_o = 0.55 L + 115$ (sistema inglés)

(*) Se utiliza una distancia ajustada debido a que se ha visto en la práctica que la potencia calculada considerando L es mayor que la requerida.

h = distancia vertical entre puntos de carga y descarga [m] (pies)

v = velocidad de la banda [m/min] (pies/min)

Q = carga transportada [tons/hr]

(en el sistema inglés se consideran toneladas cortas)

Cuando un transportador de banda trabaja con inclinación, el peso de la banda produce una tensión adicional T_a que debe sumarse a la tensión T_1 . La tensión adicional T_a se puede calcular de la siguiente manera:

$$T_a = B \cdot h \text{ [KN] (lb)} \quad \dots\dots\dots (29)$$

B = peso de la banda [N/m] (lb/pie)

h = altura de elevación [m] (pie)

El efecto de la tensión T_a puede despreciarse en los siguientes casos:

- a) Transportador con polea motriz en la descarga con elevación de material de no más de 30 metros (100 pies).
- b) Transportador con polea motriz de cola, con elevación de material de no más de 7.62 metros (25 pies)
- c) Bajada de material con diferencia de altura no mayor de 7.62 metros (25 pies)

La tabla A-B-B proporciona algunos datos prácticos, en forma de porcentaje de tensión que debe agregarse a la tensión T_1 , por el efecto de T_a .

Criterio de diseño y selección de equipo

- 1.- Determinar las características del material a transportar (tamaño, forma, peso, temperatura, humedad, contenido de finos y terrones etc.)
- 2.- Proponer el ancho de banda y velocidad de operación de acuerdo al material y a la capacidad requerida.
- 3.- Hacer un arreglo general de la trayectoria y dimensionar tentativamente el sistema (longitud entre poleas, elevación, ángulo de inclinación, diámetro de poleas, rodillos, etc.)
- 4.- Proponer características adicionales de elementos constitutivos (tipo de revestimiento, tensor, arco de contacto, empalme de la banda, banda plana o acanalada, etc.)
- 5.- Estimar la potencia motriz de operación y la tensión en la banda.
- 6.- Seleccionar la banda apropiada a los requerimientos de trabajo. (número y espesor de capas, recubrimiento, esqueleto, etc.)
- 7.- Seleccionar unidad motriz y elementos de transmisión.

- 8.- Definir estructura y plataformas de operación del sistema.
- 9.- Seleccionar o diseñar elementos complementarios del sistema (descargadores, tolvas de carga y descarga, limpiadores, rodillos alineadores para la banda, rodillos de impacto etc.).

CAPITULO II

TRANSPORTADORES DE CADENA

DESCRIPCIÓN

Los transportadores de cadena son unidades para el manejo de materiales que utilizan como elemento principal de traslado cadenas que, movidas por ruedas dentadas, realizan un recorrido sin fina lo largo de la unidad. El material es acarreado mediante elementos auxiliares acoplados en los eslabones como son: rastrillos, rasquetas, paletas, cucharones, cacerolas, etc., que empujan el material dentro de un canal; otras veces el material es cargado para su traslado con el uso de placas, formando un canal.

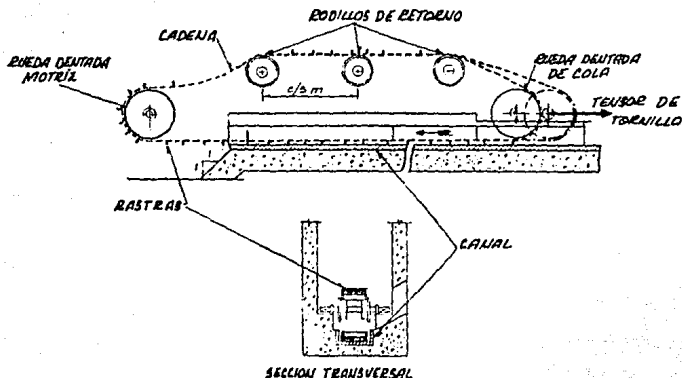
El empleo de este tipo de transportadores se debe a las ventajas que ofrece, tales como: transporte a través de pequeñas secciones transversales, manejo de materiales con elevadas temperaturas, dar completa hermeticidad al sistema debido al manejo de polvos contaminantes y dar un mayor rango de seguridad en la planta.

ELEMENTOS PRINCIPALES CONSTITUTIVOS.

De manera general, los componentes principales de un transportador de cadena son:

- a) CADENA.- Es el elemento ^{que} transmite la fuerza y el movimiento necesario para el acarreo o empuje del material, y en la cual van acoplados los elementos auxiliares para tal fin.
- b) RUEDA DENTADA.- El elemento transmisor de la potencia requerida para mover al sistema y a la carga de material. Se tienen además ruedas dentadas de cola y orientadoras de trayectoria.
- c) RODILLOS DE RETORNO.- Rodillos de acero que soportan la cadena y los aditamentos en el retorno, espaciados aproximadamente a 3 metros.
- d) UNIDAD MOTRÍZ.- Encargada de suministrar la potencia necesaria al sistema; compuesta por motor, reductor de velocidad y elementos de transmisión.
- e) TENSOR.- Sistema de ajuste, dispuesto normalmente en la rueda de cola, mediante tornillo.
- f) CANALETA.- Ducto donde es conducido el material, construido de placa de acero, fierro o concreto.
- g) ADITAMENTOS AUXILIARES.- Todos los elementos auxiliares montados en la cadena, necesarios para el

arrastre o acarreo de material.



ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN TRANSPORTADOR DE CADENA

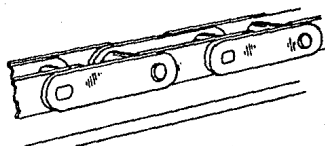
FIG. C 1

CLASIFICACION.

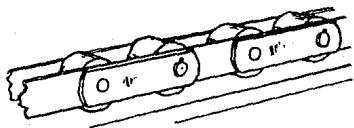
Según el tipo de cadena pueden ser:

- + DE CADENA DESLIZABLE.- Su construcción es simple y su costo es bajo para una carga dada; tiene pocas partes móviles y es bastante efectivo para condiciones sucias.

+ DE CADENA RODANTE.- Los eslabones van provistos de rodillos para minimizar la fricción durante el recorrido; la potencia consumida es menor que en el caso anterior y tiene también un bajo costo de operación. Este tipo de cadena permite longitudes grandes entre ruedas terminales.



CADENA DESLIZABLE



CADENA RODANTE

FIG. C2

De acuerdo al movimiento del material se clasifica

como:

- + MATERIAL ARRASTRADO
- + MATERIAL ACARREADO

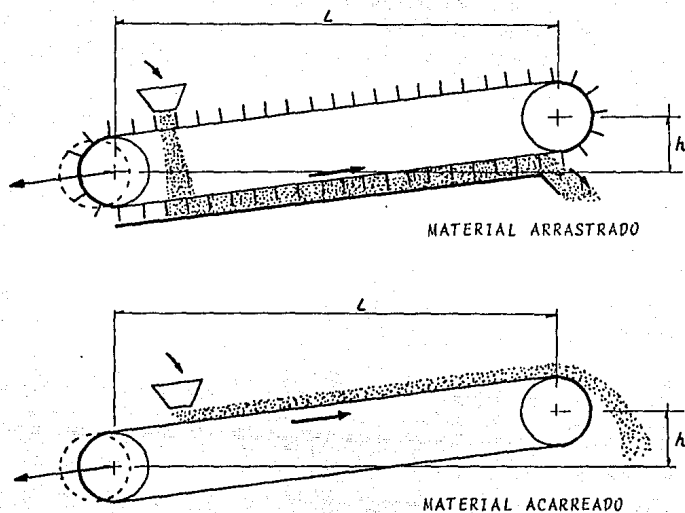


FIG. C3.

De acuerdo a estos dos criterios de clasificación, se pueden distinguir cuatro clases de transportadores como sigue:

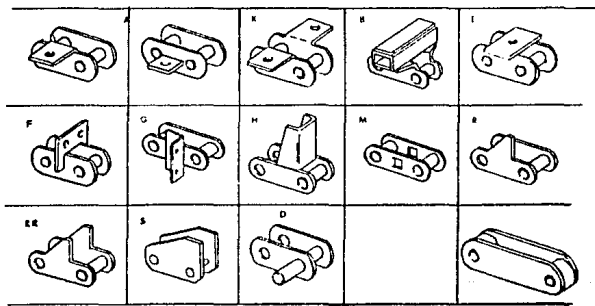
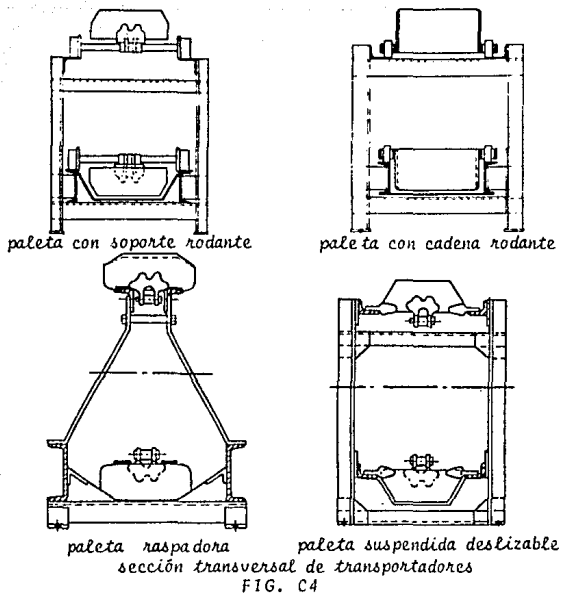
TABLA C1.

CLASE	CADENA TIPO	MATERIAL	TIPO TRANSPORTADOR
1	DESILIZABLE CON O SIN PALETAS	ARRASTRADO	RASTREADOR RASPADOR
2	RODANTE	ARRASTRADO	RASPADOR
3	DESILIZABLE	ACARREADO	CUBIERTA Y CACEROLA
4	RODANTE	ACARREADO	CUBIERTA Y CACEROLA

Los transportadores de cadena tipo rastreador o rascador pueden ser accionados mediante una o dos cadenas; llevan montadas paletas o rasteadores a intervalos regulares y se emplean en el manejo de materiales de partículas pequeñas y medianas, como la mayoría de granos.

Los transportadores tipo cubierta y cacerola operan con una o más cadenas que llevan montadas cubiertas metálicas, acopladas de tal manera que forman un canal o cacerolas, donde es cargado el material; es ideal para el transporte de materiales pesados. Puede operar con inclinaciones hasta de 35° ya que las cacerolas formadas evitan el deslizamiento del material; presenta más ventajas que los anteriores por el uso de cadenas rodantes que implican menor pérdida por fricción y menor consumo de potencia. Su costo por metro es mayor que un transportador de banda pero su uso se justifica donde este último presenta limitaciones tal como: manejo de material muy caliente, cualquier tamaño de partícula y absorción de gran impacto en la carga.

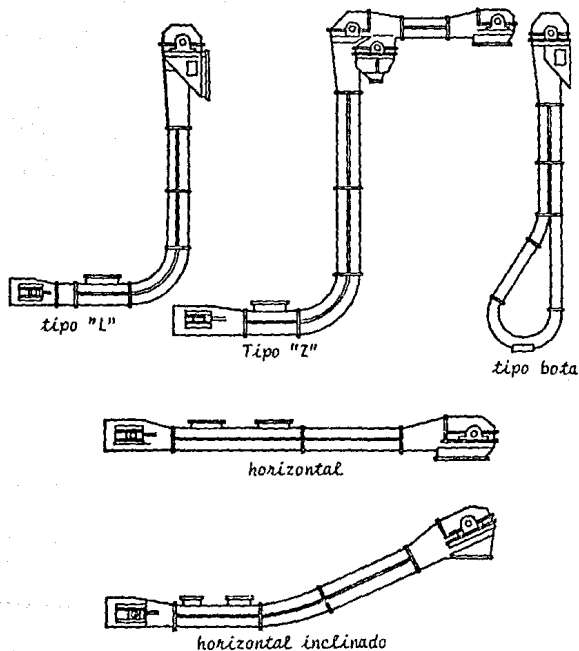
Los eslabones de las cadenas pueden tener diversas formas y se construyen de aceros aleados para soportar las más severas condiciones de trabajo; son fácilmente intercambiables para cuando se desgasten o fallen y van provistos de aletas o agujeros para el acoplamiento de elementos auxiliares en la conducción del material.



TIPOS DE ESLABONES
 FIG. C5

ARREGLOS GENERALES

Los transportadores de cadena operan en forma horizontal; tal, inclinada o en combinación de ambas; aunque también es posible operar en forma vertical y trabajar como elevadores de material. En la siguiente figura se muestran arreglos típicos funcionables:



ARREGLOS TÍPICOS DE TRANSPORTADORES

FIG. C6

CAPACIDAD

Si el material se reparte uniformemente a lo largo del transportador la capacidad puede expresarse por las ecuaciones (3) y (4):

$$Q = A_T \cdot v \cdot \delta \text{ [N/min] (lb/min)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\text{o bien: } Q = \delta_c \cdot A_T \cdot v \cdot \delta \text{ [TONS/hr]} \quad \dots\dots\dots (31)$$

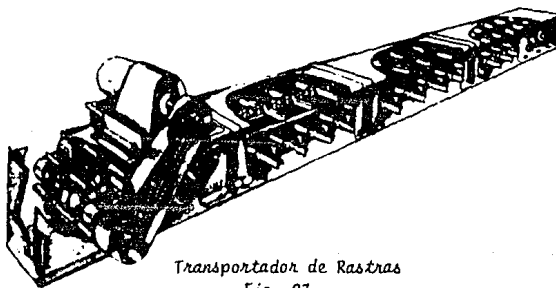
Donde: A_T es el área de la sección transversal de la carga en el canal; v , δ y δ_c igual como se definieron.

Para cargas moderadas, bajas capacidades y partículas pequeñas se usa una sola cadena; en caso contrario, con capacidades grandes y cargas pesadas, se hace uso de doble cadena de tracción auxiliada con elementos rodantes para soportar el peso de la misma y los elementos acoplados para la conducción del material.

VELOCIDAD

La velocidad de los transportadores de cadena depende de las características del material que se transporta; en general, la velocidad de transporte por arrastre suele ser baja (3 - 12 m/min), debido a la fricción que existe entre material y piso. De esta manera se minimiza el desgaste y desmenuzamiento del material.

Cuando el material es acarreado las velocidades son mayores; materiales como frijol, malz y otros granos suelen manejarse a velocidades de 0.5 - 1.1 m/seg (100 - 200 pies/min), y materiales muy abrasivos con velocidades de 0.03 m/seg (5-6 pies/min).



Transportador de Rastras
Fig. C7

ANÁLISIS DINÁMICO

En la rueda motriz de un transportador horizontal actúan tres fuerzas, que deben vencerse para transportar una carga Q , como se ve en el siguiente diagrama:

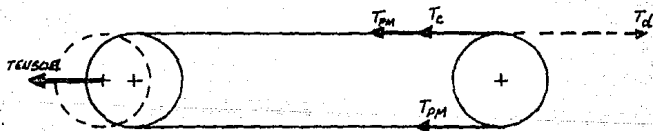


Fig. C-8

$$T_d = 2 T_{pm} + T_c \text{ [KN] (lb)} \quad \dots (32)$$

T_d = fuerza resultante necesaria para mover al transportador y su carga. [KN], (lb)

T_{pm} = Peso de las partes deslizables del transportador [KN/m], (lb/pie).

T_c = Fuerza necesaria para mover (cargar o arrastrar) el material.

$$T_{pm} = G \cdot L \cdot f_d \text{ [KN] (lb)} \quad \dots (33)$$

G = peso de las partes móviles o deslizables dada en [KN/m], (lb/pie). Cuando el peso es desconocido puede calcularse en forma aproximada de la siguiente manera:

- Material o cadena deslizable

$G = 0.0015 \times$ peso total del material sobre el transportador.

- Material acarreado y cadena rodante

$G = 0.0005 \times$ peso total del material sobre el transportador.

L = Longitud total del transportador [m], (pie)

f_d = coeficiente de fricción para las partes deslizantes del transportador, (tabla AC-4).

= 0.33

= 0.20 con buena lubricación

Cuando se emplea cadena rodante el factor f_d se esti

ma de la siguiente manera:

$$fd = \left(\frac{d}{D}\right) \times 0.33 + 2 \left(\frac{V}{D}\right) \dots\dots\dots (34)$$

d = diámetro de el eje

D = Diámetro del rodillo

0.33 = Coeficiente de fricción de acero contra acero
(entre eje y barreno del rodillo)

V = coeficiente de fricción del rodillo
contra el riel o guala, (tabla C-2).

$$T_c = W_1 \cdot L \cdot f_m \text{ [KN], (lb)} \dots\dots\dots (35)$$

W_1 = peso del material en [KN/m], (lb/pie)

f_m = coeficiente de fricción para material y
canal, tabla C-3.

De esta manera, el tirón sobre la cadena será:

$$T_d = 2(G \cdot L \cdot Fd) + (W_1 \cdot L \cdot f_m) \dots\dots\dots (36)$$

TABLA C-2
FACTOR DE FRICCIÓN EN CADENAS Y

RODILLOS DE FUNDICIÓN		RODILLOS DE ACERO	
EN SECO	0.5	EN SECO	0.4
LUBRICADOS	0.4	LUBRICADOS	0.3
PARA RODILLOS DE PLASTICO LUBRICADOS CON CASQUILLO		0.25	

TABLA C-3

FACTOR DE FRICIÓN f_m PARA VARIOS MATERIALES ABRASTRADOS
SOBRE PLACA DE ACERO

CARBÓN MINERAL	0.33	CAL HIDRATADA	0.65
CARBÓN BLANDO	0.59	CLORURO DE MAGNESIO	0.70
CEMENTO	0.93	PIEDRA CALIZA EN POLVO	0.58
ARCILLA	0.60 - 0.70	ARENA Y CENIZAS HÚMEDAS	0.68
COQUE	0.36	ASERRÍN MOJADO	0.60
ALMENDRA DE COCO SECO	0.40	GOMA COMERCIAL	0.65
GRANOS	0.30 - 0.40	ALMIDÓN	0.78
CORCHO	0.65	ARILAR, FINA, GRANADA	0.67
COMBUSTIBLE DESMENUZADO SECO	0.60	ASTILLAS DE MADERA	0.35

Cuando el transportador opera con inclinación se tiene:

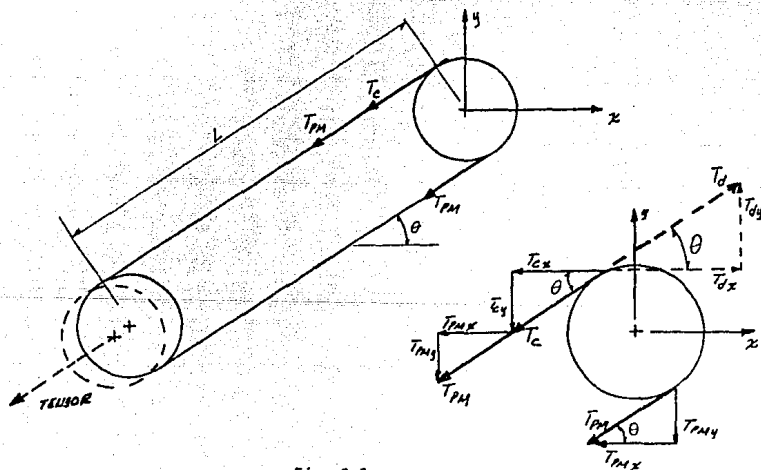


Fig. C-9

La tensión total T_d es, según ecuaciones (33) y (35)

$$\begin{aligned}
 T_d &= (G \cdot L) [(\cos \theta) (fd) + \text{sen } \theta] \\
 &+ (W_1 \cdot L) [(\cos \theta) (fm) + \text{sen } \theta] \\
 &+ (G \cdot L) [(\cos \theta) (fd) - \text{sen } \theta] \quad \dots\dots\dots (37)
 \end{aligned}$$

La fuerza de tensión total T_d es igual a la fuerza re-querida para transportar en la trayectoria horizontal equiva-lente, más la fuerza requerida para elevar el material.

De la ecuación de potencia:

$$P = \frac{T_d \cdot v}{60} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$P = \frac{T_d \cdot v}{60} + P_{fr} \quad [Kwatt] \quad \dots\dots\dots (39)$$

T_{PM} [KN] (lb)

v - [m/min] (pies/min)

P_{fr} - Potencia debida a pérdidas por fricción en coji-
netes de ruedas motriz y de cola (en la prácti-
ca se estima un 10% de la potencia calculada);
pérdidas en el reductor de engranes (se estima
también otro 10%), y si las condiciones lo ameri-
tar se agrega otro 10% más por pérdidas debidas
a la variación de velocidad.

Si se expresan las pérdidas en términos de la eficiencia global del sistema η_r se tiene:

$$P = \frac{T_d \cdot v}{60 \eta_r} \quad [\text{Kwatt}] \quad \dots (40)$$

$$P = \frac{T_d \cdot v}{33\,000 \eta_r} \quad [\text{H.P.}] \quad \dots (41)$$

El procedimiento para seleccionar un transportador de cadena en primera instancia es el siguiente:

- 1) Determinar tentativamente la clase de transportador, según la tabla C1
- 2) Estimar el tirón en la cadena requerido para mover al sistema y su carga según (condiciones estáticas).
- 3) Determinar la carga de trabajo de diseño; se debe calcular que la cadena resista 5 veces más la tensión de trabajo, para que opere de esta manera a solo 1/5 de su capacidad.
- 4) Hacer una selección tentativa de la cadena.
- 5) Seleccionar tipo de eslabones y aditamentos (algunos mostrados en la fig. C5).
- 6) Verificar la cadena seleccionada y recheckar la carga de diseño de trabajo.

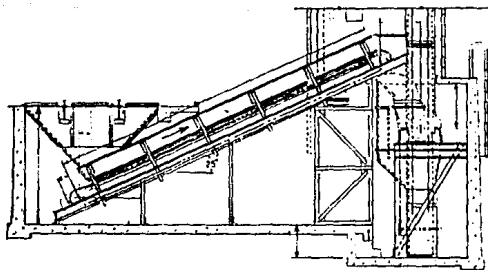


FIG. C-10 ARREGLO DE ALIMENTADOR DE FALDÓN, TRITURADOR
Y ELEVADOR

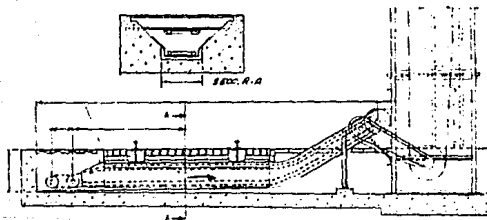


FIG. C-11 ALIMENTADOR DE ALETA PLANA Y ELEVADOR

CAPITULO III

ELEVADOR DE CANGILONES

DESCRIPCIÓN

Un elevador de cangilones es un sistema de elevación de materiales que utiliza cadena o banda con elementos de carga acoplados llamados cangilones. Se realiza un movimiento sin fin entre dos terminales dispuestas a cierta altura una de otra y con trayectorias vertical, inclinada o en combinación de ambas.

Es probablemente el más antiguo sistema de transporte de materiales, pero su utilización actual es reducida, debido al alto costo de mantenimiento y baja eficiencia del sistema. Sin embargo, un correcto diseño y una aplicación apropiada ofrece ventajas sobre otros métodos de elevación de materiales; su principal ventaja es la de efectuar arreglos con una baja inversión de capital.

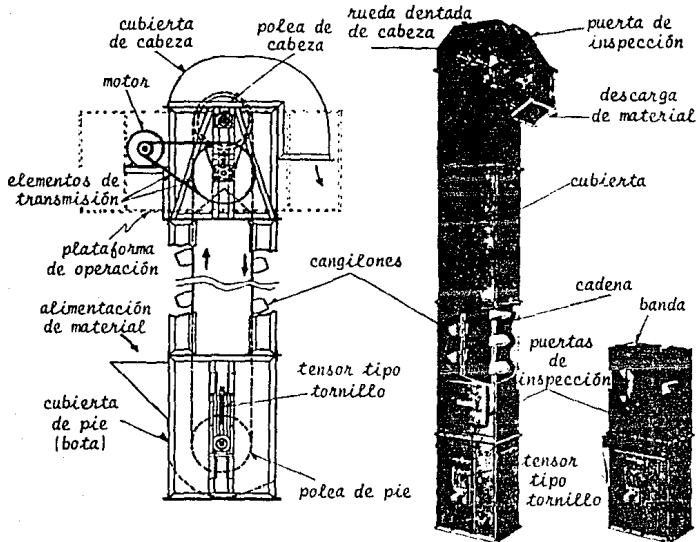
Sus elementos principales son:

- 1) CANGILONES.- Son los elementos de carga, comúnmente fabricados de acero, hierro fundido o de plástico, en forma de cacerolas. Se fabrican en diferentes estilos y con diseño apropiado para efectuar una eficiente descarga de acuerdo a las características del ma-

terial manejado. En la figura C3 se muestran algunos tipos usuales con su nomenclatura típica.

- 2) CADENA O BANDA.- Elementos de tracción donde van acoplados los cangilones; las aplicaciones con cadenas son generalmente limitadas a causa del desgaste en las uniones y en las ruedas dentadas, debido a velocidades bajas y al efecto de corrosión. Las bandas se usan preferentemente para altas velocidades, sobre todo para manejo de granos; pero se ven limitadas por altas temperaturas, por deterioro a causa de humedad y el daño por picaduras.
- 3) TERMINALES.- En el caso de elevadores de cadena se emplea la rueda dentada motriz y la rueda dentada de pie; el tensor que se utiliza es del tipo tornillo y usualmente es localizado en la terminal de pie, aunque podría aplicarse en la terminal motriz si se requiere. En caso de usar banda se emplean poleas, cuyo diámetro depende del número de capas de la banda; se nombran comúnmente polea motriz y polea de pie.
- 4) UNIDAD MOTRIZ.- Compuesta por motor, reductor de velocidad, elementos de transmisión, acoplamientos, poleas, y catarinas.
- 5) CUBIERTA.- En general las cubiertas se fabrican de lámina o placa de acero, distinguiéndose tres secciones fundamentales denominadas: cabeza, sección inter

media y bota; esto tiene como objeto poder realizar un mantenimiento práctico.



Elementos constitutivos de un elevador de cangilones

Fig. E-1

Las características que debe tener el material para poder transportarse por este sistema son:

- a) Tamaño de partículas o terrones no mayor a 10 cm; puede contener finos.
- b) No ofrecer problemas de flujo; para evitar la construcción de cangilones especiales; tal es el caso, por ejemplo, de materiales altamente viscosos.

- c) Temperatura ambiente o un poco mayor.
- d) No ser extremadamente abrasivos o corrosivos.
- e) No ser degradables (quebradizos) en su manejo normal.

Otros materiales que no cumplan con las anteriores características pueden transportarse por este sistema pero requieren de un estudio especial.

CLASIFICACIÓN

Los elevadores de cangilones se clasifican en cinco tipos, como a continuación se describen, para los cuales se han tomado en cuenta tanto el recorrido que efectúan, así como las características en la descarga:

- 1) DESCARGA CENTRIFUGA.- El sistema consiste en un arreglo de cangilones espaciados a intervalos regulares acoplados a la banda o cadena, la cual funciona con alta velocidad (66 a 125 m/min). El material es cargado del flujo que entra al recinto de la bota, por el efecto de cuchareo y levantamiento que efectúan los cangilones al pasar por la terminal de pie; la descarga se efectúa debido a la fuerza centrífuga que adquiere al pasar por la terminal impulsora, figura E2 (a).

- 2) DESCARGA POSITIVA.- Este tipo emplea una distribución de cangilones semejante a la anterior, sólo que trabaja a baja velocidad (30-48 m/min), esta característica lo hace ideal para elevar materiales frágiles, pegajosos o de flujo lento. Los cangilones son acoplados entre dos ramales de cadena y por medio de ruedas de doblar, localizadas abajo de la rueda motriz se invierte la posición de los cangilones sobre la tolva de descarga; figura E2 (c).
- 3) CANGILONES CONTÍNUOS (un ramal): Es una unidad de baja velocidad; los cangilones son montados de manera continua (sin espaciar) a lo largo de la cadena. La carga se efectúa después del recorrido por la terminal de pie y se llena por el flujo libre de material que cae; la descarga se realiza al ir cambiando de posición el cangilón, sobre la terminal de cabeza; el cangilón de enfrente le sirve como rampa para el material descargado, en su trayectoria hacia la tolva de descarga, figura E2 (b).
- 4) CANGILONES CONTÍNUOS (doble ramal).- Los cangilones van montados en dos ramales de cadena; opera igual que el tipo 3, sólo que es de mayor capacidad y para el manejo de materiales más pesados, figura E2 (d).
- 5) DESCARGA POR GRAVEDAD.- Este tipo de elevador puede seguir casi cualquier trayectoria en un plano vertical; utiliza cangilones con sección espaciados, y pue

de manejar materiales frágiles; opera a bajas velocidades y la descarga la realiza con ayuda de volteadores para invertir la posición de cangilón, figura E2 (e). Otros arreglos se muestran en la figura E4, en la cual puede verse la versatilidad de trayectorias del sistema. Las cadenas empleadas pueden ser del mismo tipo que las empleadas en los transportadores de cadena.

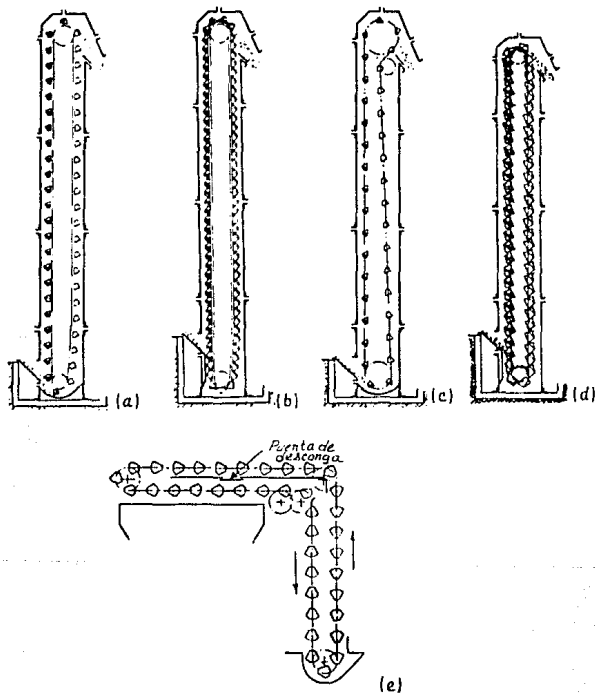
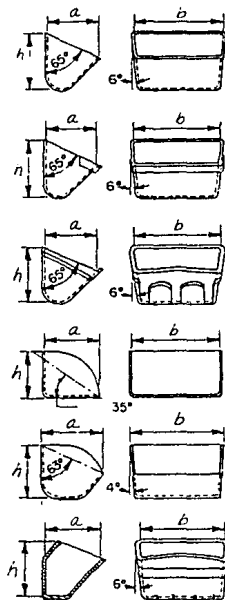


Fig. E-2

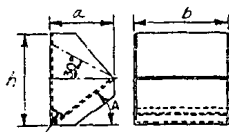
Arreglos especiales de bandas pueden ser empleados para elevar materiales, como el mostrado en la figura E4 (b), donde puede apreciarse que una banda adicional aprisiona el material contra la otra para poder efectuar un giro de 180° verticalmente.

Tipo centrífugo



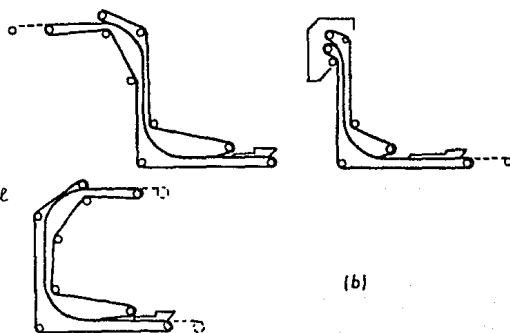
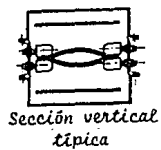
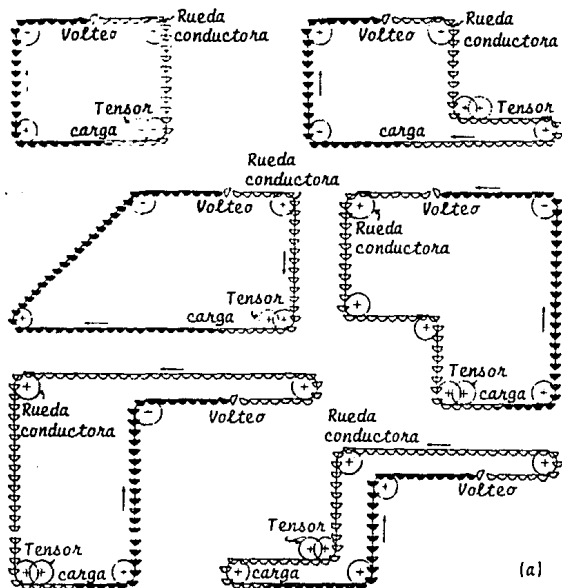
a = ancho
b = largo
h = alto

tipo continuo



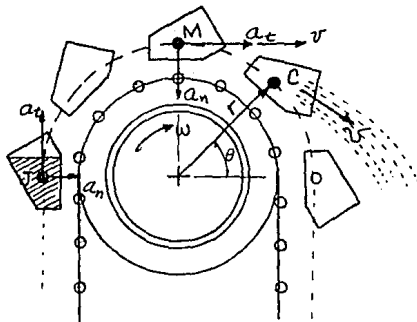
tipos de cangilones

Fig. E-3



Arreglos generales
Fig. E-4

La elevación se efectúa con velocidad constante, y para lograr una descarga eficiente se requiere que tenga una magnitud tal, que le proporcione al material el impulso necesario para seguir su trayectoria hacia la tolva de descarga.



Trayectoria de la descarga
Fig. E-5

De la figura E-5, para un punto "M" de la circunferencia de trayectoria se tiene:

$$v = \omega r \quad \text{velocidad} \quad \dots\dots\dots (42)$$

$$a_t = r\alpha \quad \text{aceleración tangencial} \quad \dots\dots\dots (43)$$

$$a_n = r \omega^2 \quad \text{aceleración normal} \quad \dots\dots\dots (44)$$

en donde: r = Radio de la circunferencia del centro de masa del material [m] (pies)

w = velocidad angular de la rueda o polea [1/seg]

α = aceleración angular de la rueda o polea [1/seg²]

Al pasar el material por un punto "C" con ángulo θ , es lanzado hacia la boca de la tolva de descarga, y bajo la acción de la gravedad seguirá una trayectoria parabólica que se determina de acuerdo a las ecuaciones correspondientes:

$$v_y = (v_y)_0 + at \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$y = y_0 + (v_y)_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots\dots\dots (46)$$

$$v_x = (v_x)_0 \quad \dots\dots\dots (47)$$

$$x = x_0 + (v_x)_0 t \quad \dots\dots\dots (48)$$

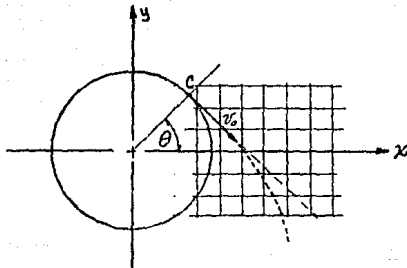


Fig. E-6

La capacidad del elevador esta relacionada con la de cada cangilón, con el peso específico del material transportado, espaciamiento entre cangilones y rapidez con que opera.

Debido a la irregularidad que se tiene en el llenado

del cangilón, se considera que el material ocupa aproximadamente $2/3$ del volumen total del cangilón. Sea B el volumen en litros de cada cangilón:

$$B = \frac{9810 Q}{(2/3) i \delta'} \quad [\text{lt}] \quad \dots \quad (49)$$

y también:

$$i Z = 3600 v \quad [\text{m/hr}] \quad (\text{pies/hr}) \quad \dots \quad (50)$$

donde Q = capacidad de material transportado
[tons/hr]

i = número de cangilones a llenar por hora

Z = distancia entre cangilones [m] (pies)

δ' = peso específico del material [N/lt]
(lb/lt)

v = velocidad del transportador [m/seg] (pies/seg)

Despejando i de (50) y sustituyéndolo en (49) se tiene:

$$B = \frac{1.5 \times 9.81 \times Q Z}{3.6 v} \quad \dots \quad (51)$$

$$\text{En donde: } \frac{9.81 \times Q}{3.6} = T_m \quad [\text{N/m}], \quad (\text{lb/pie}) \quad \dots \quad (52)$$

es el peso de material transportado por unidad de longitud.

De la ecuación (51) se puede despejar para Z :

$$Z = \frac{3.6 \cdot B v}{1.5 \cdot 9.81 \cdot Q} \quad [\text{m}], \quad (\text{pies}) \quad \dots \quad (53)$$

o bien para v :

$$v = \frac{1.5 \times 9.81 \times QZ}{3.6 \times 8} \quad [\text{m/seg}], \quad (\text{pies/seg}) \quad \dots\dots (54)$$

La máxima capacidad del elevador también puede determinarse por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{0.36 \times W v}{Z} \quad [\text{ton/hr}] \quad \dots\dots (55)$$

donde: W = peso de material por cangilón (lb)

v = velocidad (pies/min)

Z = espaciamiento entre cangilones (pulg)

ANÁLISIS DINÁMICO

Las fuerzas que actúan sobre el material dentro del cangilón son: la fuerza de gravedad F_g y la fuerza centrífuga F_c que dan la fuerza resultante F_r , como se muestra en la siguiente figura:

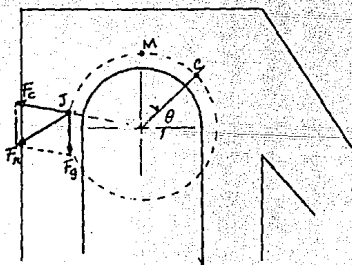


Fig. E-7

La resultante F_R cambia en magnitud y dirección al moverse el cangilón sobre la trayectoria circular. Cuando el cangilón toma la posición "M" la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga son balanceadas, entonces el material se encuentra viajando en suspensión dentro del cangilón. Al pasar a la posición "C" con ángulo θ , la fuerza resultante F_R toma la magnitud y la dirección apropiada para efectuarse la descarga; en la práctica se ha encontrado que cuando se transporta material granular, la descarga eficiente se realiza a un ángulo $\theta = 45^\circ$ y con velocidad tal que la fuerza centrífuga sea igual a dos tercios del peso del material, es decir:

$$\frac{W}{g} \frac{v^2}{r} = \frac{2}{3} W \quad \dots\dots (56)$$

de la cual: $3 v^2 = 2 gr \quad \dots\dots (57)$

Y en términos de la velocidad (rpm) de la polea de cabeza o motriz se tiene:

$$v = \frac{2\pi rn}{60} \quad \dots\dots (58)$$

Sustituyendo en Ec (57)

$$3 \left(\frac{2\pi rn}{60} \right)^2 = 2 gr$$

Despejando n:

$$n^2 = \frac{1960}{r} \quad n = \frac{44.3}{r} \quad \dots\dots (59)$$

En la cual r = radio al centro de gravedad de la carga en el cangilón (pies)

O bien: $n = \frac{24.4}{\pi}$

..... (60)

para: r dado en metros [m]

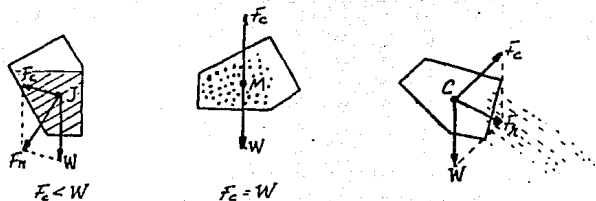


Fig. E-8

Sobre la flecha matriz actúan las siguientes fuerzas:

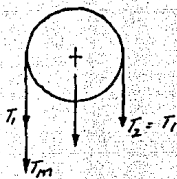


Fig. E-9

T_1 = Fuerza debida al peso de la cadena o banda, aditamentos de soporte y cangilones vacíos en el lado de carga [N/m] (lb/pie).

T_m = Fuerza debida al peso W de material por elevar, dentro de los cangilones [N/m] (lb/pie).

T_2 = Fuerza en el lado de retorno, de magnitud igual a T_1 ,

T_{FP} = peso de la polea o rueda (s) dentada [N/m]
[lb/pie]

Por lo que, la carga total en la flecha es:

$$F_T = 2T_1 h + T_m h + T_{FP} (N) \text{ (pie)} \quad \dots\dots\dots (61)$$

Donde h es la altura de elevación o distancia entre centros de terminales (m) (pies).

Para elevar una cantidad W de material a una altura h es necesario vencer una fuerza de tensión efectiva de magnitud:

$$T_E = (T_1 - T_2 + T_m) h + F_T \text{ fr} \quad \dots\dots\dots (62)$$

$$T_E = T_m h + F_T \text{ fr} (N) \text{ (lb)} \quad \dots\dots\dots (63)$$

En la cual "fr" es el coeficiente de fricción, que puede expresarse como un porcentaje de la carga total en la flecha.

De la ecuación de potencia:

$$P = \frac{T_E \cdot v}{60} \quad \left(\frac{N \cdot m}{\text{min}} \right) \quad \dots\dots\dots (64)$$

$$P = \frac{(T_m h + F_T \text{ fr}) \cdot v}{60 \times 1000} \quad \text{[Kwatt]} \quad \dots\dots\dots (65)$$

$$P = \frac{(T_m h + F_T (z)) \cdot v}{33\,000} \quad \text{(H.P)} \quad \dots\dots (66)$$

También se puede calcular la potencia de accionamiento mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{W \cdot v \cdot (h + DK) \cdot p}{2750 \cdot (Z) \cdot \eta} \quad \dots\dots (67)$$

Donde: W = peso de material en un cangilón. (lb)

v = velocidad (pies/min)

p = número de hileras de cangilones

h = distancia entre centros de poleas (pulg)

D = diámetro de la polea de pie (pulg)

Z = espaciamiento de cangilones (paso) (pulg)

$K = 1$ para elevadores de descarga centrífuga; manejo de terrones y materiales toscos.

$K = 0.67$ para elevadores de descarga centrífuga; manejo de finos o materiales de flujo libre.

$K = 0.50$ para elevadores de cangilones continuos.

η = Eficiencia de accionamiento

SELECCION (criterio de diseño)

Los pasos que deben seguirse para la selección de un elevador son los siguientes:

- 1) Especificar todas las características y parámetros del material a elevar.

- 2) *Seleccionar el tipo de elevador más apropiado al material, trayectoria y capacidad requerida (según la clasificación de éstos).*
- 3) *Determinar el tamaño de elevador.- considerando su operación a la máxima capacidad, seleccionar el tamaño del cangilón.*
- 4) *Determinar la altura de elevación (distancia entre centros de flechas, motriz y de cola.)*
- 5) *Seleccionar cubierta y soportes en terminales para sus componentes. Normalmente se prefiere adaptar el tensor en la flecha de pie, pero en algunos casos se puede aplicar también en la flecha de cabeza.*
- 6) *Determinar la potencia requerida.- Estimando todos los parámetros cinemáticos y dinámicos, y aplicando las ecuaciones antes vistas.*
- 7) *Seleccionar la unidad motriz.- Motor, reductor de velocidad, acoplamientos, etc.*
- 8) *Ubicar equipo auxiliar.- Plataformas de operación escalerillas y puertas de inspección.*
- 9) *Determinar el sistema de alimentación del material; en caso de granos, el flujo puede controlarse mediante puertas o válvulas.*

CAPITULO IV

MONTACARGAS DE CAJÓN

Los elevadores de material se ven limitados en el alcance de grandes alturas de operación y algunos tipos especiales se diseñan para elevar material hasta una altura máxima de 31 metros. Sin embargo, cuando se necesita transportar materiales a mayores alturas, se recurre al empleo de los montacargas de cajón, que son los más propios para este tipo de trabajo; 300 metros por citar un caso.

Su mayor aplicación la encuentran en plantas de acero para carga de hornos; plantas de proceso de minerales, plantas donde se maneja carbón y dentro de la minería en general, aunque también son ideales para el almacenaje de granos en los altos silos de industrias alimenticias.

Este sistema de elevación de materiales presenta ventajas sobre otros como: el poseer pocas partes móviles, manejar materiales con tamaños de terrón grande, manejar materiales abrasivos o corrosivos y gran capacidad por ciclo. Tiene como desventajas el operar de manera intermitente y, como normalmente no va provisto de cubierta, no puede manejar materiales ligeros o contaminantes que tiendan a dispersarse a la atmósfera.

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS BÁSICOS

1) MALACATE (UNIDAD MOTRIZ). - Es la parte más importan

te del sistema, consta de: motor impulsor de corriente directa o corriente alterna pero de alto par de arranque; reductor de velocidad de engranes, provisto de freno automático accionado por solenoide; acoplamiento flexible para transmisión del motor al reductor de velocidad; tambor del malacate o cilindro metálico donde se enreda el cable. Algunos tipos de montacargas utilizan ruedas de fricción, en lugar de tambor, que aprovechan la alta fricción existente entre la rueda y el cable para transmitir el tirón de levantamiento.

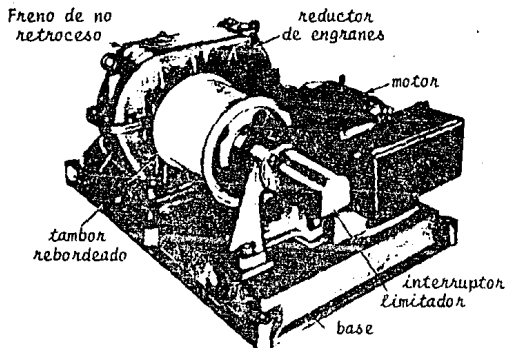
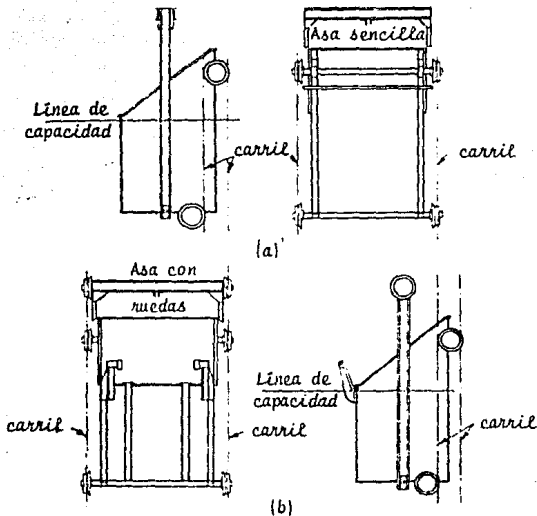


Fig. M-1

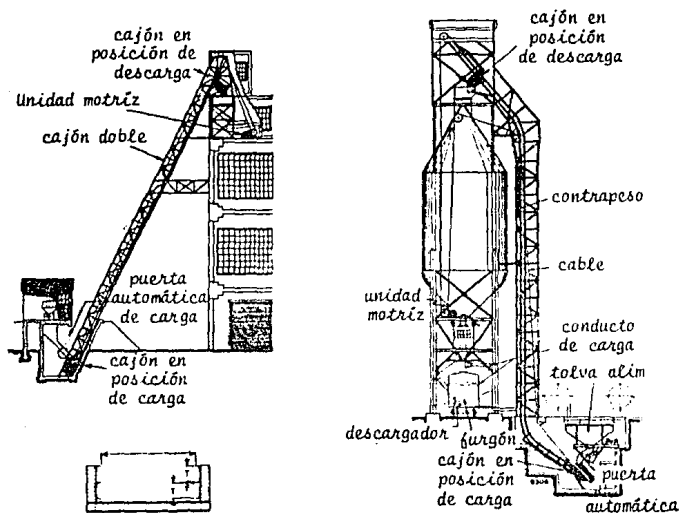
- 2) CAJON.- Otros nombres que también se le asignan son: cangilón ó cubilote; se construye de placa de acero en forma de caja rectangular, su capacidad se mide en metros cúbicos (pies cúbicos) de agua en posición vertical.

como va a operar; va provisto de cuatro ruedas de acero que corren dentro de un carril guala y es elevado o bajado mediante un cable metálico, que une al cajón con una asa plana de metal, la cual en algunas aplicaciones va provista de ruedas, Fig M2 (b), para evitar interferencias con la estructura.



Tipos de cajón
Fig. M-2

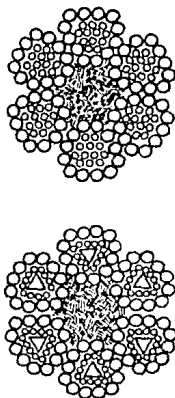
- 3) CARRIL Y ESTRUCTURA DE SOPORTE.- Debe ser construcción sencilla y funcional de manera que se realice a bajo costo. Diversos perfiles estructurales se emplean para tal fin (ángulos y canales son comunes en estos casos).



Arreglos Típicos

Fig. M-3

- 4) CABLE Y POLEAS DOBLADORAS.- Los cables son la parte vulnerable del sistema, por lo que debe ser diseñado con alto grado de seguridad; como criterio de diseño se considera que la carga de trabajo no debe exceder a un $1/5$ de la fuerza de rompimiento, aunque normalmente y cuando las condiciones del sistema lo requieren, solo se llega a trabajar a $1/8$ de dicha fuerza, por seguridad.



sección transversal de cables

Fig. M-4

El factor de seguridad debe estimarse considerando las condiciones de carga, aceleración y desaceleración aplicada, velocidad del cajón, uniones del cable; número, tamaño y disposición de poleas y tambores; condiciones de corrosión y abrasión;

Longitud del cable etc.. Los cables se construyen de ramales de alambre trenzado que pueden tener 4, 7, 12, 19, 24 y 37 alambres por ramal; los cables más usuales son hechos de 6 ramales de 24 alambres cada uno y núcleo de sisal o alguna otra fibra, saturada con algún lubricante. Una designación común de los cables es 4 x 7 que quiere decir: 4 ramales de 7 alambres cada uno.

Las poleas deben ser de diámetro amplio, de tamaño y condición de la acanaladura apropiados ya que son importantes en la determinación de la vida del cable. Un cable que opera sobre acanaladuras pequeñas está propenso a un desgaste rápido. Por otra parte, un canal corrugado puede desarreglar los ramales del cable y causar un destrenzado prematuro.

La presión del cable contra la acanaladura se obtiene al dividir la tensión en el cable, entre el producto del radio del canal de la polea por el diámetro del cable. El resultado no debe ser mayor de 311 $[N/cm^2]$ (450 PSI) para hierro fundido o mayor de 587 $[N/cm^2]$ (850 PSI) para acero.

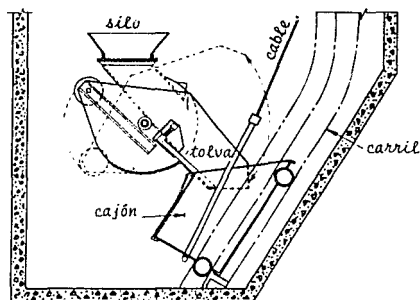
$$P = \frac{T}{r \cdot D} \quad \left[\frac{N}{cm^2} \right] \quad \left(\frac{lb}{pulg^2} \right) \quad \dots \quad (68)$$

r -radio de acanaladura [cm], [pulg]

D -diámetro del cable [cm], [pulg]

T , -tensión en el cable [N], [lb]

- 5) ESTACION DE CARGA.- Cuando se maneja material en forma intermitente, como en el caso de suministro por lotes, el cargado del cajón puede ser manual; pero en el caso de suministro continuo, el cargado puede ser controlado mejor por medio de una tolva receptora y un mecanismo de carga, es decir cargado automático.



Estación de carga
Fig. M-5

- 6) ESTACION DE DESCARGA.- El cajón es descargado al ser levantado de la parte trasera y puesto en posición inclinada con ángulo adecuado (50° o más según las características del material).

El volteo se efectúa cambiando la trayectoria de las ruedas delanteras del cajón hacia un camino horizontal,

mientras que las ruedas traseras continúan su trayectoria ascendente, siendo levantado así el cajón, como se representa en la fig. M6.

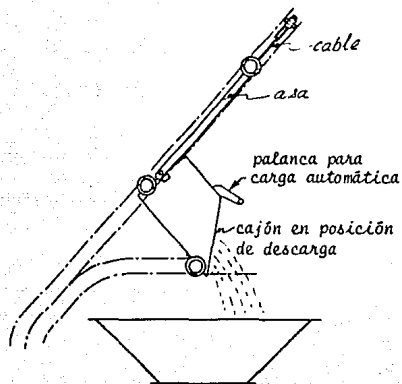
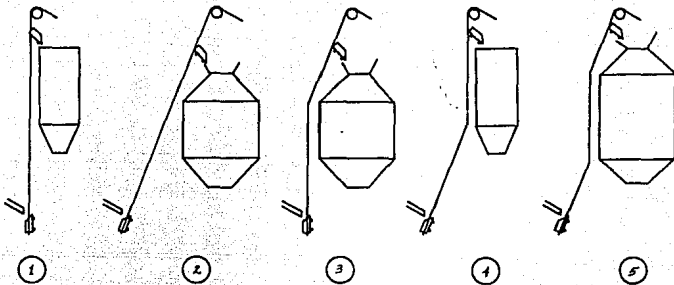


Fig. M-6

ARREGLOS GENERALES.

Se pueden efectuar arreglos con este sistema de elevación, siguiendo diferentes trayectorias como son: verticales, inclinadas o una combinación de ambas. En la figura M7 se ilustran algunas trayectorias comúnmente empleadas.



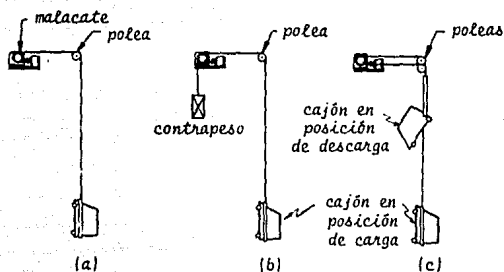
Arreglos de trayectorias típicas
Fig. M-7

CLASIFICACION

Se puede distinguir básicamente tres tipos de montacargas:

- 1) DE CAJON SIMPLE DESBALANCEADO.- Su construcción es sencilla y opera de manera intermitente; la capacidad que ofrece es pequeña, Fig. M8 (a).
- 2) DE CAJON SIMPLE CON CONTRAPESO.- Se aplica un contra peso de un medio del peso de la carga en el extremo contrario del cable, con lo cual se reduce el par que debe proporcionar la unidad motriz, por lo que ésta, resulta de menor tamaño. Fig. M8 (b).
- 3) DOS CAJONES BALANCEADO.- Los cajones son normalmente la mitad en tamaño, de los empleados en los casos an

teriores, pero la capacidad del sistema se incrementa debido a que la operación con doble cajón se vuelve semicontinua; es recomendable para grandes alturas. Fig. M8 (c).



tipos de montacargas
Fig. M-8

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

La capacidad que se puede desarrollar en un montacargas de cajón depende del material que se maneja, de la velocidad a que opera, el tamaño del cajón, de la altura de elevación y del tipo de cajón empleado. En algunas aplicaciones prácticas se emplean capacidades que se encuentran dentro de un rango de 0.28 a 8.5 metros cúbicos por cajón (10-300 pies cúbicos).

En aplicaciones industriales se clasifican tres rangos de velocidades a las que se puede operar:

Baja velocidad de 30 m/min o menores

Media velocidad de 30 a 45 m/min.

Alta velocidad mayores de 45 m/min.

Las aceleraciones usualmente están por debajo de 0.91 m/seg^2 (3 pies/seg^2) y puede calcularse como el valor medio de la máxima velocidad alcanzada entre el tiempo empleado para lograrla, es decir:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ [m/seg}^2 \text{] [pies/seg}^2 \text{]} \quad \dots\dots\dots (69)$$

El recorrido se efectúa con tres condiciones cinemáticas: aceleración-velocidad constante-frenado. La aceleración y el frenado se realizan en un intervalo corto de tiempo y el mayor recorrido se realiza a velocidad constante.

DINAMICA

En el caso de un montacargas de cajón sin contrapeso con trayectoria vertical se tiene la interacción de las siguientes fuerzas:

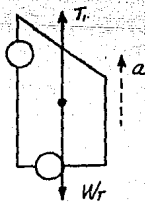


Fig. M-9

$$W_T = W_m + W_c + wL \quad \dots \quad (70)$$

Donde: T_1 - es la tensión en el cable [N], (lb)

W_T - peso total [N], (lb)

W_m - peso del material por elevar dentro del cajón [N], (lb)

W_c - peso del cajón [N], (lb)

w - peso del cable [N/m], (lb/pie)

L - longitud total del cable [m], (pie).

Cuando se pone en movimiento el cajón se tiene, de la 2a. Ley de Newton:

$$\Sigma F = ma \quad \dots \quad (71)$$

Con aceleración "a" en dirección de la tensión T_1 , de la Fig. M9 se tiene:

$$T_1 - W_T = ma \quad \dots \quad (72)$$

$$T_1 = ma + W_T$$

$$= \frac{W_T}{g} \cdot a + W_T = W_T \left(\frac{a}{g} + 1 \right) \quad [N], (lb) \quad \dots \quad (73)$$

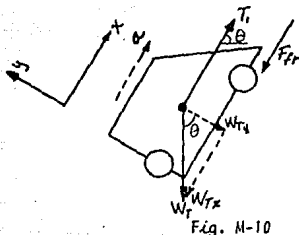
Y la potencia para elevar la carga con una rapidez de v [m/seg] es:

$$P = T_1 \cdot v \left[\frac{N \cdot m}{seg} \right] \quad \dots \quad (74)$$

O bien

$$P = \frac{T_1 \cdot v}{33.000} \quad [\text{H.P.}] \quad \dots\dots\dots [75]$$

Cuando se opera con una trayectoria inclinada la tensión T_1 es:



Para un sistema de coordenadas $x - y$ como el mostrado:

$$\Sigma F = m a \quad \dots\dots\dots [76]$$

$$a_x = a$$

$$T_1 - W_T \text{ sen } \theta - F_{fr} = m a \quad \dots\dots\dots [77]$$

$$T_1 = m a + W_T \text{ sen } \theta + F_{fr}$$

$$T_1 = \frac{W_T}{g} \cdot a + W_T \text{ sen } \theta + \mu W_T \text{ cos } \theta \quad \dots\dots [78]$$

[N], (lb)

Por lo que la potencia para elevar la carga a una velocidad de v [m/seg] [pies/seg]

$$P = T_1 \cdot v = W_T \left(\frac{a}{g} + \text{sen } \theta + \mu \text{ cos } \theta \right) \cdot v$$

$$\left[\frac{\text{Nw-m}}{\text{seg}} \right] \quad \dots\dots\dots [79]$$

O bien:

$$P = \frac{W_T}{33000} \left[\frac{a}{g} + \text{sen } \theta + \mu \cos \theta \right] \cdot v \quad \text{[H.P.]} \quad (80)$$

Donde $\mu = 0.4$ para rodamiento de metal sobre metal.
Si se considera que el sistema tiene una eficiencia η_o y en la transmisión una eficiencia mecánica η_m , la potencia real es:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_2} \quad \dots\dots\dots (81)$$

$$P_2 = \frac{P_T}{\eta_T} \quad \dots\dots\dots (81')$$

Donde la potencia técnica es dada por las ecuaciones (79) u (80), y la eficiencia total es el producto de las eficiencias η_o y η_m :

$$\eta_T = \eta_o \eta_m \quad \dots\dots\dots (82)$$

SELECCIÓN DE UN MONTACARGAS DE CAJÓN

Para seleccionar un montacargas de cajón se empieza por enlistar los datos que se conocen o fáciles de determinar y los que pueden obtenerse de tablas, experiencias o criterios de diseño, es decir:

DATOS CONOCIDOS.

- 1.- Características del material (δ , tamaño, forma, corrosivo, abrasivo, humedad, etc.)
- 2.- Altura de elevación del material [m] [pies]
- 3.- Cantidad de material por elevar [ton/hr]
- 4.- Angulo de inclinación con la vertical (trayectoria a seguir).

DATOS ASIGNADOS (tablas, experiencias, criterios de selección):

- 1.- Velocidad (baja, media, alta)
- 2.- Tipo de arreglo.
- 3.- Tipo de cajón (características de construcción)
- 4.- Estación de carga (modo de operación continua ó intermitente)

Características por determinar:

- 1.- Tamaño y tipo de cajón
- 2.- Tipo y capacidad de carga del cable
- 3.- Potencia de máquina
- 4.- Elementos auxiliares (poleas, contrapeso, etc).

CAPITULO V

TRANVÍAS AÉREOS

En varias aplicaciones de sistemas de transporte se presentan problemas, no sólo con las características del material que se desea trasladar, sino también con las condiciones geológicas, geográficas y de distancia a la que se requiere efectuar el traslado, como son: salvar terrenos selváticos, pantanosos, valles o lugares habitados, donde la aplicación de bandas transportadoras presenta limitaciones, inclusive el acarreo con unidades automotrices.

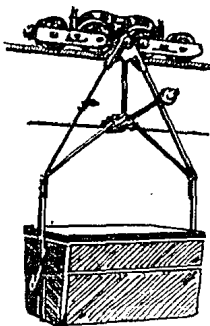
Un sistema que ha resuelto problemas de este tipo es el transporte por medio de tranvía aéreo o teleférico. Su aplicación ha sido satisfactoria para transportar a través de montañas y en distancias hasta de 30 kilómetros, no sólo materiales en forma de granos o terrones, sino también bultos, troncos, líquidos y personas, como en el caso de transporte de alpinistas y turistas hacia las grandes montañas nevadas de América del Norte y Europa.

Es un sistema relativamente sencillo ya que se requiere básicamente de una línea de cable metálico, tendida entre los lugares que se desea transportar, y por la cual circula la unidad de carga llamado funicular.

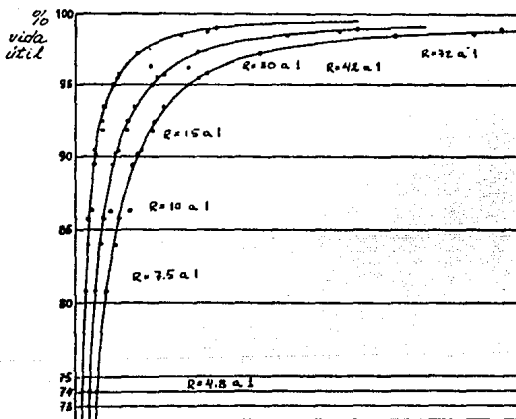
Los elementos fundamentales que constituyen este sistema son:

- 1.- FUNICULAR.
 - 2.- CABLE METALICO (TRACTOR Y DE SOPORTE)
 - 3.- ESTACION DE CARGA
 - 4.- ESTACION DE DESCARGA
 - 5.- TORRES TELEFÉRICO
- 1) FUNICULAR.- Es el elemento de transporte de la carga; su forma y construcción es muy variada, como ejemplo pueden citarse las vagonetas construidas de placa metálica, cuya forma es de un cangilón de gran tamaño, propia para el acarreo de materiales granulares, y con capacidades hasta de 1.5 toneladas. El funicular puede acoplarse al cable de manera fija o por medio de una grapa especial que le permite desengancharse para ser cargado, o bien puede ir provisto de poleas que se apoyan y corren en un cable fijo, mientras otro cable de menor diámetro realiza la tracción.
- 2) CABLE METALICO.- Al igual que en el caso de los montacargas de cajón, se diseñan con un amplio factor de seguridad y su construcción es fundamentalmente la misma, pero se tienen diseños especiales para servicio pesado con cable fijo. La relación entre el diámetro de las poleas motriz o de retorno y el diámetro

metro del cable empleado es importante en la determinación de la vida útil del cable; un diámetro pequeño de polea arrolladora reduce substancialmente la vida del cable.

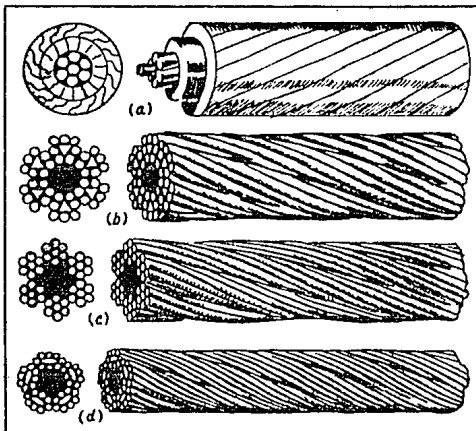


ARREGLO TÍPICO DE UN FUNICULAR BICABLE
Fig. A-1



Relación de diámetros de polea y cable
Fig. A-2

La gráfica de la figura A2 muestra la relación existente entre el diámetro de la polea y diámetro del cable, contra la vida útil de éste; se usó cable de 6 x 19 (6 ramales con 19 alambres cada uno). Las curvas graficadas fueron tomadas de diferentes fuentes de información cada una.



- a) Cable especial para servicio pesado
 b) Cable con ramales achatados
 c) Cable ramal redondo para servicio ligero
 d) Cable ramal achatado diseñado para resistir desgaste

Fig. A-3

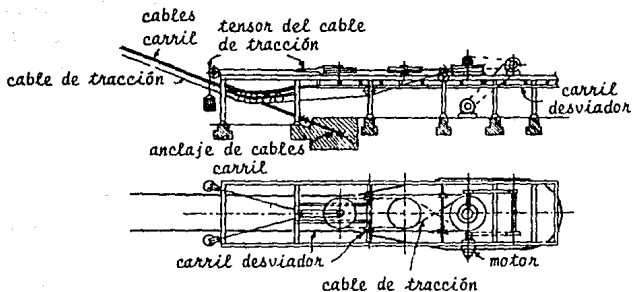
3) ESTACION DE CARGA.- El cargado puede hacerse mientras el funicular está parado en sistemas intermitentes con ayuda de tolvas, o manualmente en caso de bultos o paquetes. Cuando el sistema es continuo, los funiculares desacoplables son los más adecuados; de esta

manera los funiculares vacíos se quedan para ser cargados, mientras otro cargado está dispuesto para ser acoplado.

Se aprovecha el desacople de los funiculares para proveer en esta terminal el accionamiento motriz y el sistema de tensado.

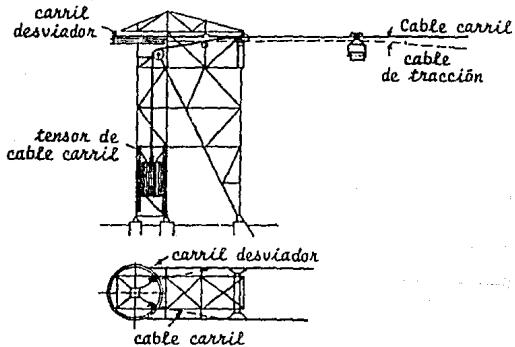
4) ESTACION DE DESCARGA.- En sistemas intermitentes la descarga puede hacerse en forma manual mientras el sistema está parado o bien pueden desacoplarse las vagonetas cargadas y montar vaclas; esto normalmente requiere de un mayor número de operarios. En sistemas continuos las vagonetas son volteadas mediante dispositivos de palanca, ubicados en los lugares que se desea la descarga (no siempre se desea la descarga en la terminal de retorno).

5) TORRES TELEFÉRICO.- Las torres soportan los cables mediante poleas o soportes acanalados montados en travezaños en cantiliver. La construcción típica es un armazón estructural de aproximadamente 40 metros de altura; el espaciamiento entre torres depende de las condiciones de carga y de terreno, pero en condiciones normales se emplean espacios de 90 a 240 metros de separación entre torres.



Estación típica de carga

Fig. A-4



Arreglo típico de terminal de retorno

Fig. A-5

Los diferentes tipos de tranvía aéreo se pueden clasificar como sigue:

- a) **VIVÉN SENCILLO.**- Emplea una vagoneta que corre sobre un cable fijo, jalada por un segundo cable. Es ideal para transportar material a un lugar más alto, para salvar fallas en el terreno. Las distancias de operación son cortas y su capacidad es baja debido al largo ciclo que realiza: carga - transporte-des-carga-retorno.
- b) **VAIVÉN DOBLE.**- Igual que el anterior, solo que emplea doble vagoneta por lo que la capacidad del sistema se duplica. Su modo de operación es similar al monta cargas de cajón doble balanceado.
- c) **MONOCABLE CON GRAPA FIJA.**- Emplea un solo cable que lleva las vagonetas fijas a él y realiza un movimiento sin fin entre ambas terminales. Puede cubrir lon-gitudes de varios kilómetros y su capacidad es nor-malmente baja.
- d) **MONOCABLE CON GRAPA NORMAL.**- Igual que el anterior con la salvedad que las vagonetas se sujetan al ca-ble mediante grapas diseñadas para que se mantengan sujetas con seguridad al cable durante el transporte

y puedan soltarse con facilidad en las estaciones de carga y descarga. Puede tener cargas individuales hasta de una tonelada por vagoneta y capacidad de sistema de 100 tons/hora; puede cubrir grandes distancias de transporte.

- e) BICABLE.- Emplea un cable fijo que se mantiene tenso (mediante contrapeso) entre ambas terminales, sobre el cual las vagonetas viajan suspendidas pero son jaladas por un segundo cable al que van fijas con grapa normal.

En las estaciones se puede hacer el desacople de la grapa de sujeción y hacer que corran sobre un riel las ruedas de las que va provista la vagoneta, para su carga o descarga.

Es un sistema caro pero su conservación es económica, además de que se ahorra mano de obra; la carga se hace por medio de lanzaderas ó mediante dispositivo de transbordo (acople y desacople de vagonetas) y la descarga puede efectuarse de manera automática en el lugar que se desee, con ayuda de volteadores de palanca. Es un sistema con grandes capacidades de carga pues llega a transportar hasta 300 tons/hora.

- f) SISTEMA DOBLE GUIA.- Emplea doble cable fijo paralelo que sirve como carril a una vagoneta con cuatro poleas que corren sobre él. Un cable unido a las vagonetas realiza la tracción efectuando un movimiento sin fin.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

La capacidad de un sistema teleférico depende de las características del material por transportar (tamaño, forma, humedad, peso específico, etc), de la velocidad de operación del sistema y del espaciamiento entre vagonetas. Puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$Q = 6 \frac{V \cdot \delta \cdot v}{L} \quad [\text{ton/hr}] \quad \dots \quad (83)$$

- Donde: V = volumen de cada vagoneta [m^3], (pies³)
 δ = peso específico del material [$\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$], ($\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$)
 v = velocidad de la vagoneta [$\frac{\text{m}}{\text{min}}$], (pies/min)
 L = espaciamiento de vagonetas [m], (pies)
 6 = factor de conversión
 = 6/981 S. Internacional
 = 3/100 S. Inglés

La velocidad de operación va de acuerdo con los dispositivos empleados para cargar y descargar; en la práctica se

emplean velocidades de 90 a 180 [m/min], (300-600 pies/min), con intervalos mínimos de 20 segundos para nueva carga. Cuando el sistema es intermitente se tiene un movimiento similar al que efectúa un montacargas de cajón: aceleración-velocidad constante-frenado. En este caso y cuando no se trabajan grandes cargas ni se opera a grandes distancias, los efectos de inercia debidos a la aceleración se pueden despreciar ya que generalmente son de magnitud pequeña.

En sistemas intermitentes la aceleración puede estimarse como:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad [\text{m/seg}^2] \quad \dots\dots\dots (84)$$

En los tramos rectos con aceleración constante la velocidad se obtiene como:

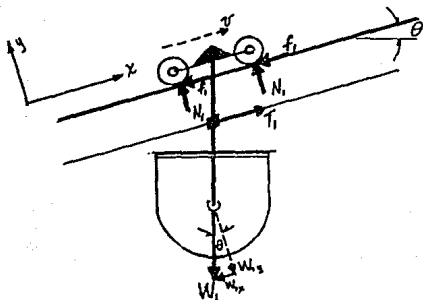
$$v_m = a \Delta t \quad \dots\dots\dots (85)$$

$$v_m = a [t_2 - t_1] \quad \dots\dots\dots (86)$$

En trayectorias inclinadas, la aceleración de la gravedad incrementa o decrementa la aceleración normal del sistema por lo que la velocidad no se mantiene estrictamente constante; lo mismo sucede en sistemas continuos cuando se efectúa el acople de unidades de carga. La unidad motriz se acondiciona con dispositivo regulador de velocidad, para disminuir las variaciones, y mantener una velocidad constante.

ANÁLISIS DINÁMICO

Las fuerzas que actúan en cada vagoneta se pueden representar en un diagrama de cuerpo libre:



Para el sistema de ejes $x - y$ mostrado, de :

$$\sum F_y = 0 \quad \dots\dots\dots (87)$$

$$2N_1 - W_1 \cos \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (88)$$

$$N_1 = \frac{1}{2} W_1 \cos \theta \quad \dots\dots\dots (89)$$

Además:

$$\delta_1 = \mu N_1$$

$$\delta_1 = \frac{1}{2} \mu W_1 \cos \theta \quad \dots\dots\dots (90)$$

De :

$$\sum F_x = 0 \quad \dots\dots\dots (91)$$

$$T_1 - 2 \delta_1 - W_1 \sin \theta = m a \quad \dots\dots\dots (92)$$

Despejando T_1 :

$$T_1 = m a + 2 f_1 + W_1 \operatorname{sen} \theta \quad \dots\dots\dots (93)$$

Sustituyendo (90) en (93) :

$$T_1 = \frac{W_1}{g} a + \mu W_1 \cos \theta + W_1 \operatorname{sen} \theta \quad \dots\dots\dots (94)$$

En donde:

T_1 - Fuerza necesaria para jalar el funicular o vagoneta en dirección x [N] (lb).

W_1 - peso del funicular y su carga [N] (lb)

f_1 - fuerza de fricción.

$g = 9.81$ [m/seg²] (32.2 pie/seg²)

μ = coeficiente de fricción

En el caso de sistemas con trayectorias combinadas (horizontales e inclinadas), debe considerarse el efecto de trabajo realizado por las vagonetas sobre la unidad motriz, sobretodo cuando se baja material. De ahí que el último término en la ecuación (94) pueda tener signos + es decir:

$$T_1 = \frac{W_1}{g} a + \mu W_1 \cos \theta \pm W_1 \operatorname{sen} \theta \quad \dots\dots\dots (95)$$

Para obtener la potencia se emplea la fuerza total T_T

necesaria para jalar n número de vagonetas a una velocidad v
 [m/min] [pies/min]

$$T_T = \sum T_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots \dots \dots (96)$$

$$P = \frac{T_T \cdot v}{60} \quad \left[\frac{N \cdot m}{\text{seg}} \right] \quad \dots \dots \dots (97)$$

o bien

$$P = \frac{T_T \cdot v}{33000} \quad [H.P] \quad \dots \dots \dots (98)$$

Como criterio de diseño de un tranvía aéreo, es necesario por
 tanto establecer:

- distancia de transporte
- trayectoria conveniente (evitando en lo posible áreas pobladas.
- condiciones y fallas de terreno
- tipo de medio ambiente
- capacidad requerida
- características del material
- servicio requerido (continuo o intermitente)
- tipo de unidad y características de operación
- parámetros de funcionamiento.

CAPITULO VI

TORNILLO SIN FIN

El transportador de tornillo sin fin es un dispositivo que puede ser empleado para manejar una amplia variedad de materiales que posean una relativamente buena fluidez. Sus aplicaciones más comunes son:

- En almacenamiento de granos
- Como alimentador de material para proceso
- Como descargador de carros y silos de almacenamiento

Tiene la ventaja de poder cargar y descargar en varios puntos de su recorrido mediante puertas regulables y efectuar alguna preparación del material mientras es transportado, como son: intercambiar calor entre el material y el medio exterior (calentar o enfriar); mezclar dos o más productos, desmenuzar o agitar, etc., lo cual es posible adicionándole dispositivos extras al sin fin para lograr el objetivo.

Sus elementos constitutivos fundamentales, mostrados en la figura SF-1, son:

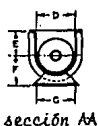
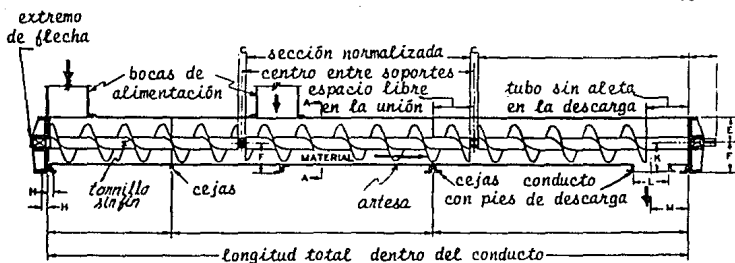
- 1) TORNILLO SIN FIN: - Construido de una flecha hueca o maciza de acero, con placa adherida a ella en forma helicoidal; es soportada por sus extremos

con rodamientos (chumaceras), y cuando su longitud es considerable se emplean soportes especiales intermedios, anclados en la tapa para no interferir con el material, y evitar así el pandeo de la misma.

II) ARTESA O DUCTO.- Fabricada con lámina de acero formando una canaleta en "U"; puede ser ensamblada por partes o de una sola pieza, (se puede emplear también un ducto tubular). La alimentación se hace mediante una o más bocas, acopladas a la tolva alimentadora, que van provistas de una puerta reguladora de flujo. Debido a que el material se arrastra dentro de la artesa, la superficie interna debe ser lisa y puede ser recubierta para evitar contaminación del material.

III) UNIDAD MOTRIZ.- Como en los sistemas anteriores, compuesta por: motor, reductor de velocidad, catarinas, acoplamientos y elementos de transmisión (bandas o cadena). Unidades pequeñas emplean comúnmente motoreductor, el cual va anclado en la artesa.

Para manejo de materiales que no deben estar sujetos a contaminación, corrosivos o con altas temperaturas se recurre al uso del acero inoxidable, así como de metales no ferrosos y recubrimientos especiales; sobretodo a las partes que están en contacto directo con el material. Es necesario tam



ELEMENTOS CONSTITUTIVOS.

FIG. SF-1

bién prescindir de los soportes intermedios en casos extremos para evitar contaminación, pero con la problemática que presenta el pandeo de la flecha. En el manejo de materiales tóxicos, polvosos o contaminantes, se puede dar hermeticidad al ducto para eliminar peligros con el personal y dar seguridad al medio.

El sistema puede operar en posición horizontal, vertical o inclinada, disminuyendo su eficiencia en los últimos casos. En transportadores cortos y de baja capacidad, se pueden emplear tornillos tipo espiral dentro de tubo plástico flexible, logrando efectuar ligeras curvaturas.

CLASIFICACIÓN

Según la función principal que realiza, puede clasificarse de la siguiente manera:

- 1) TRANSPORTADOR
- 2) ELEVADOR
- 3) ALIMENTADOR
- 4) DESCARGADOR (DE CARROS Y SILOS)

Una de las características que los distingue es el paso del tornillo, el cual puede ser: paso corto, paso estandar, paso medio y paso largo. Como transportador normalmente se emplea paso estandar o paso largo; como elevador o alimentador el paso corto es más eficiente y el tornillo descargador emplea una combinación de ambos (corto abajo de la tolva y estandar o largo para transportador). La tabla TSFA-1 del apéndice proporciona datos relacionados al paso del tornillo.

TIPOS DE PLACAS HELICOIDALES Y SU USO

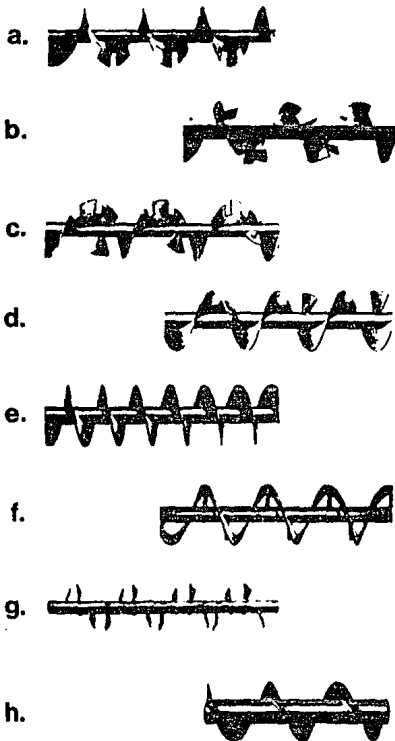
- a) PLACA HELICOIDAL CORTANTE.- Tiene seccionada la hélice formando cuchillas, las cuales realizan una moderada acción mezclante durante el transporte.
- b) PLACA HELICOIDAL PLEGADA Y CORTANTE.- Tiene segmentos plegados que actúan como paletas de levantamiento, para producir efecto de cascada, el cual permite aereación y agitación mejorando el mezcla-

do del material.

- c) PLACA HELICOIDAL CORTANTE CON PALETAS AGITADORAS.- Tiene seccionada la hélice formando cuchillas y lleva montadas en el eje paletas agitadoras con inclinación tal que se opone al flujo de material; lo cual incrementa la agitación y la mezcla.
- d) PLACA HELICOIDAL CON PALETAS AGITADORAS.- Posee hélice continua y paletas agitadoras espaciadas con inclinación que se opone al flujo; produce una mezcla moderada.
- e) PLACA HELICOIDAL DE PASO CORTO.- Debido a su paso corto es utilizable para transportar con ángulo de inclinación 20° o más y para alimentadores permite que se retarde el asentamiento de materiales de natural fluidez.
- f) CINTA HELICOIDAL.- Consiste de una placa cinta helicoidal, la cual se soporta al eje con agarraderas espaciadas; es aplicable en el manejo de materiales pegajosos o viscosos.
- g) PALETAS CORTANTES.- Formada por paletas insertadas al eje con trayectoria helicoidal; el efecto logrado es agitar el material, al tiempo de transportarlo.

h) HELICE DE ACERO INOXIDABLE.

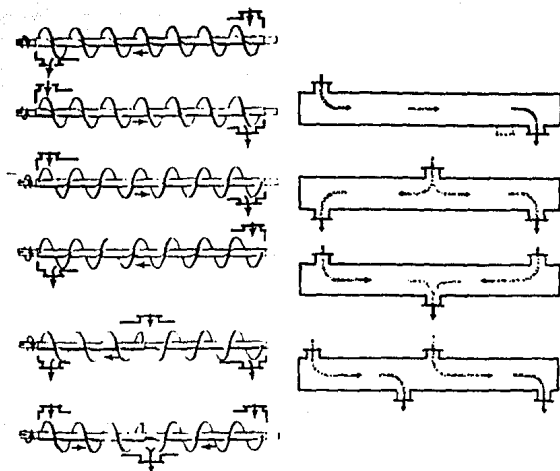
La figura SF2 muestra los diferentes estilos de placas para tornillo.



TIPOS DE PLACAS HELICOIDALES PARA EJE DE TORNILLO

FIG. SF2

Según el arrollamiento de la hélice (izquierda o derecha) y el sentido de giro de la flecha, será el sentido de transporte de material; gráficamente se representa en la siguiente figura:



ARREGLOS TÍPICOS DE SIN FIN

FIG. SF3

CAPACIDAD

La máxima carga a mover y la velocidad que se le puede aplicar, son restringidas por las características del mate

rial ; materiales que no ofrezcan mucha resistencia al flujo y no abrasivos pueden manejarse con mayor velocidad que materiales pesados y abrasivos. El área máxima de carga en la sección transversal del tornillo varía según el material, con objeto de que no haya interferencia con los soportes o ataque por corrosión al eje; generalmente se emplea menos de la mitad de la sección transversal.

El tamaño y porcentaje de terrones depende de la distancia entre la flecha y el piso del canal; además, debe cuidarse que se mantenga un claro entre flecha y material para evitar que se obstruya su paso.

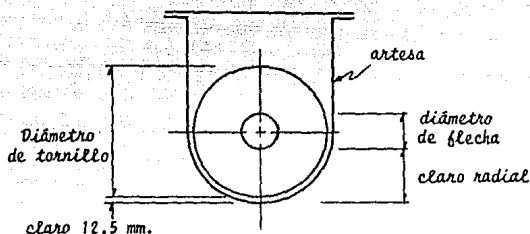
(ϕ) DIAM. DE HÉLICE mm	101.6	152.4	228.6	254	304.8	355.6	406.4	457.2	508	609.6
20-25% TERRONES	12.7	19.05	38.1	38.1	50.8	63.5	76.2	76.2	88.9	88.9
100% TERRONES	4.35	12.7	19.05	19.05	25.4	31.75	38.1	50.8	50.8	68.5

MAXIMO TAMANO DE TERRON O PARTICULA (mm)

La capacidad de un transportador de tornillo depende de la interrelación de los siguientes factores:

- 1) Geometría de la placa

- 2) Velocidad del tornillo
- 3) Ángulo de inclinación
- 4) Tolva de almacenamiento y geometría del canal alimentador.
- 5) Características del flujo de sólidos.
- 6) Fricción del material sobre superficies en contacto.



SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA

FIG. SF4

La altura de carga dentro de la artesa es normalmente limitada a un máximo de 45% de la sección transversal del área disponible del tornillo, para proteger los rodamientos intermedios y a los sólidos de erosión, contaminación y aplastamientos. Para conseguir razonables capacidades se usan altas

velocidades, pasos cortos y mayor sección transversal de tornillo.

El tamaño del transportador no solo depende de la capacidad, sino también de la proporción y tamaño de terrón. Se consideran tres rangos de aplicación en cuanto al tamaño de terrón:

- 1) Mezcla de terrones y finos; con 10% de terrones con tamaños de hasta 1/2 del máximo tamaño.
- 2) Mezcla de terrones y finos con 25% máximo de terrones, con tamaños hasta de 1/2 del mayor tamaño.
- 3) Un 95% o más son terrones grandes y un 5% son partículas pequeñas.

En la tabla TSFA-4 del apéndice se presentan los tamaños máximos de terrón, recomendados por CEMA* y DIN.

La clasificación de los materiales de acuerdo con sus características es proporcionada por CEMA, agrupándolos de la siguiente manera:

* CEMA: "CONVEYORS EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION"
ASOCIACION DE FABRICANTES DE EQUIPOS PARA TRANSPORTE DE MATERIALES.
DIN : DEUTSCHE INTERNATIONALE NORMEN.

- CLASE I Materiales ligeros con facilidad de flujo y no abrasivos.
- CLASE II Materiales no abrasivos de peso medio con contenido de finos y pequeños terrones o partículas.
- CLASE III Materiales semiabrasivos, granular con pequeños terrones con peso específico entre 6298.8 - 12597.6 N/m³ (40 - 80 lb/pie³).
- CLASE IV Materiales abrasivos o semiabrasivos.

Para cada clase existe un área máxima de carga; en la tabla TSFA-5 puede verse la relación que existe entre el diámetro del tornillo, la capacidad y la máxima velocidad utilizable para cada clase de material. La capacidad tabulada es aceptable para la mayoría de aplicaciones, pero cuando se quiere tener precisión en los cálculos, deben considerarse otros factores como: espesor de placa, espacio libre entre piso y borde de la hélice, tipo de hélice, etc.

En términos generales, la capacidad puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\dot{V} \cdot \rho}{9810} \quad [\text{ton/hr}] \quad \dots \quad (90)$$

$$Q = \frac{\dot{V} \cdot \rho}{2000} \quad [\text{ton/hr}] \quad \dots \quad (91)$$

Donde:

\dot{V} = cantidad de material a manejar [m^3/hr] [pie^3/hr]

γ = peso específico del material [N/m^3] [lb/pie^3]

VELOCIDAD.

La máxima velocidad por desarrollar depende del diámetro de tornillo empleado y directamente de la capacidad a la que se desea operar.

Las componentes de velocidad que se presentan en el movimiento de un tornillo se representan en el siguiente diagrama:

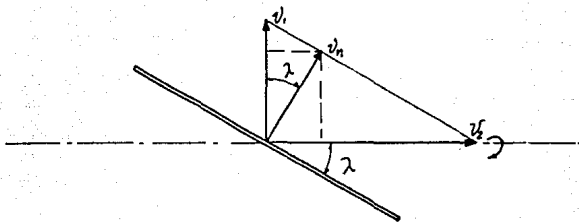


FIG. SF5

Donde v_1 es la velocidad tangencial del tornillo o hélice, que se determina como:

$$v_1 = \frac{\pi D n}{100} \quad (\text{m/min}) \quad \dots\dots (92)$$

$$v_1 = \frac{\pi D n}{12} \quad (\text{pies/min}) \quad \dots\dots (92)$$

D - Diámetro del tornillo [cm], [pulg]

n - rpm de la flecha

v_2 es la velocidad axial o velocidad de avance del material que le imprime el tornillo [m/min] (pies/min)

* v_n - es la velocidad normal a la hélice y es la componente compartida por v_1 y v_2

λ - es el ángulo de hélice del tornillo

De la figura SF5, v_1 y v_2 se encuentran relacionados mediante v_n de la siguiente forma:

$$v_n = v_1 \cos \lambda \quad \dots\dots (93)$$

$$= v_2 \operatorname{sen} \lambda \quad \dots\dots (94)$$

por lo que: $v_2 \operatorname{sen} \lambda = v_1 \cos \lambda \quad \dots\dots (95)$

Despejando v_1 : $v_1 = v_2 \frac{\operatorname{sen} \lambda}{\cos \lambda} \quad \dots\dots (96)$

$$v_1 = v_2 \tan \lambda \quad \dots\dots (97)$$

* PROYECTO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS M.F. SPOTTS.
Design of machine elements Virgil M. Faïres.

o bien, para v_2 :

$$v_2 = \frac{\pi D n}{100 \tan \lambda} \dots\dots (98)$$

Empleando la ecuación de continuidad para flujo constante:

$$Q_m = A \cdot v \dots\dots (99)$$

$$Q_m = A v_2 = \frac{A \pi D n}{1.66 \tan \lambda} \text{ (m}^3\text{/hr)} \dots\dots (100)$$

Donde:

A = Area de la sección transversal de carga, según la clase de material (TSFA-5) [m²], [pie²]

Q_m = Flujo de material [m³/hr]

Cuando un transportador de tornillo sin fin opera con ángulo de inclinación su capacidad se ve reducida debido a que el ángulo efectivo de la hélice que empuja al material se reduce también; esto causa turbulencia y volteo del material hacia atrás, lo cual implicará un mayor consumo de energía, que en realidad no es usada para el transporte de material.

Para tornillos sin fin de hélice regular y paso estándar la velocidad también puede hallarse de la siguiente manera:

$$N = \frac{\text{CAPACIDAD REQUERIDA}}{\text{CAPACIDAD EN UNA RPM}} \text{ [RPM]} \dots\dots (101)$$

$$\frac{[m^3/hr], [pies^3/hr]}{[m^3/hr] [pie^3/hr]/RPM}$$

Cuando se tienen tipos especiales de hélice es necesario corregir por medio de un factor CF_1 para el paso; un factor CF_2 según el tipo de hélice y un factor CF_3 si se tienen paletas mezcladoras entre el paso de la hélice.

Dichos factores pueden tomarse de las tablas TSFA-1, TSFA-2, TSFA-3 del apéndice.

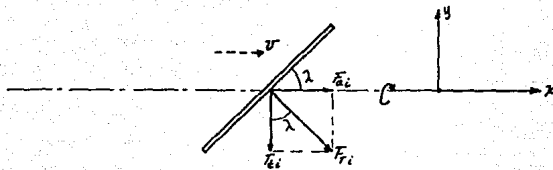
Cuando es necesario dar un tiempo específico para que se realice un mezclado requerido, la longitud del transportador puede calcularse como:

$$L = (RPM) \times PASO \times TIEMPO DE MEZCLADO [m] \text{ (pies)}$$

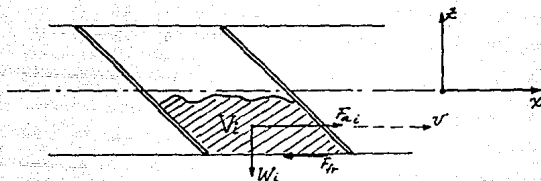
..... (102)

ANÁLISIS DINÁMICO

Un tornillo con k número de espiras en su longitud total L , con volúmenes V_i entre cada una de ellas moverá $k V_i$ m^3 , $(pies^3)$ de material. Para cada volumen V_i se tiene la interacción de las siguientes fuerzas:



DIBUJO DE PLANTA



SECCION TRANSVERSAL LONGITUDINAL

FIG. SF6

Para el sistema de ejes coordenados $x - y$ mostrado y de $\Sigma F_x = m a$

Se tiene:

$$F_{ai} - F_{br} = \frac{W_i}{g} a \quad \dots \quad (103)$$

$$F_{ai} = \frac{W_i}{g} a + F_{br} \quad \dots \quad (104)$$

$$F_{ai} = 1. F_{ri} / \text{sen } \lambda \quad \dots \quad (105)$$

$$\text{Tambi3n: } F_{ti} = |F_{ri}| \cos \lambda \quad \dots \quad (106)$$

$$= \frac{F_{ai}}{\tan \lambda} \quad \dots \quad (107)$$

En la cual:

W_i = peso del material en el volumen V_i

F_{ai} = fuerza axial (fuerza de empuje)

F_{fr} = fuerza fricci3n entre material y pared del ducto.

F_{ti} = componente tangencial de la fuerza total.

F_{ri} = fuerza total en la fracci3n de volumen

Para mover un volumen total $V = kV_i \text{ m}^3$ (pies³) de material con velocidad de n rpm se requiere proporcionar la siguiente potencia:

$$P = \frac{VnL \gamma}{60} \left(\frac{N-m}{\text{seg}} \right) \quad \dots \quad (108)$$

$$P = \frac{VnL \gamma}{60000} \quad [\text{K watt}]$$

O bien:

$$P = \frac{VnL \gamma}{33000} \quad [\text{H.P.}] \quad \dots \quad (109)$$

V = volumen total de material, [m³] (pies³)

n = rpm del tornillo sin fin

L = longitud total de transporte [m] (pies)

γ = peso especfico del material [N/m³] (lb/pie³)

La potencia depende de las características que presente el material, de la longitud del transportador y de la capacidad de operación. En la práctica la potencia total se calcula tomando en consideración los factores antes mencionados y puede considerarse como la suma de tres potencias parciales multiplicadas por un factor de sobrecarga. Esto es, primeramente se requiere de una potencia necesaria para vencer la inercia del sistema y superar las pérdidas por fricción en el sistema sin carga.

$$P_f = \frac{L n F_d F_b}{1\ 000\ 000} \dots\dots (110)$$

Donde:

L - longitud del transportador (pies)

n - RPM de la flecha

F_d - Factor representativo para diámetro del tornillo
tabla TSFA-6

F_b - Factor representativo de la fricción en los soportes según el tipo de éstos, tabla TSFA-7.

La potencia necesaria para mover material con capacidad Q de operación es:

$$P_m = \frac{Q L \delta^2 F_f F_p F_m}{1\ 000\ 000} \dots\dots (111)$$

Donde:

Q - Flujo de material (pies³/hr)

γ - Peso específico del material en las condiciones en que se maneja (lb/pie³)

F_f - Factor de hélice tabla TSFA-8

F_p - Factor por uso de paletas tabla TSFA-9

F_m - Factor de material, según su clase tabla TSFA-10.

La potencia requerida para elevar un material a una altura H esta dada por:

$$P_l = \frac{0.5 Q \gamma H}{1000000} \dots\dots (112)$$

Sumando las tres potencias parciales anteriores se obtiene la potencia total:

$$P_T = \frac{(P_f + P_m + P_l) \cdot F_o}{\eta} \dots\dots (113)$$

en la cual:

F_o = factor de sobrecarga, gráfica TSFA 11

η = eficiencia global del sistema.

CRITERIO DE DISEÑO

- 1.- Enlistar todas las características del material a transportar, en las condiciones en que será manejado.

- 2.- Establecer la clasificación del material (la cual determina la sección transversal de carga que debe usarse, tabla TSFA-5)
- 3.- Especificar las características del tornillo sin fin (tipo de aleta helicoidal, longitud y diámetro del tornillo, empleo de soportes intermedios, etc.)
- 4.- Calcular la capacidad en m^3/hr ($pies^3/hr$) (ajustarla si es empleado algún tipo especial de placa helicoidal, paletas o paso).
- 5.- Determinar la velocidad de operación con ayuda de la tabla TSFA-5, la cual tabula la máxima velocidad recomendada.
- 6.- Establecer factores por: soportes colgantes, diámetro del tornillo, aleta helicoidal, paletas, etc.)
- 7.- Calcular la potencia de accionamiento para la undad.
- 8.- Seleccionar la unidad motriz y elementos de transmisión.
- 9.- Definir tipo de artesa, soportes, plataformas de operación, bocas de alimentación y descarga, así como detalles de construcción, materiales y acabados especiales.

CAPITULO VII

TRANSPORTE NEUMÁTICO

El transporte neumático consiste en mover algún material, por medio de flujo de aire, a través de ductos para llevarlo de un lugar a otro.

Existen tres categorías básicas de transporte neumático:

- 1) Transporte por medio de tubería de conducción, alta velocidad. Transporta partículas de materiales sólidos a través de líneas horizontales y verticales, por la conversión de energía cinética del chorro de aire en presión dinámica.
- 2) Transporte por gravedad con ayuda de aire activador. Usado para transportar partículas sólidas de buena fluidez, por medio de ductos con base permeable al aire. Presenta problemas con materiales no homogéneos y con su contenido de humedad. Se inyecta aire a través del fondo permeable para cambiar el ángulo de reposo del material; se utiliza en distancias cortas.
- 3) Transporte por tubos con alta presión. Es el trans

porte en masa de materiales, donde el flujo libre de las partículas no existe.

Analizando de manera particular el primer caso, según la forma de producir el flujo de aire, se clasifican en tres tipos fundamentales:

- 1.- SISTEMA DE PRESIÓN POSITIVA
- 2.- SISTEMA DE VACÍO
- 3.- SISTEMA COMBINADO

- 1) El sistema de presión positiva utiliza el flujo de aire, producido por un soplador centrífugo o por una máquina de desplazamiento positivo, el cual es inyectado al ducto con alta velocidad, en el alimentador de material (al principio del ducto). Un arreglo general típico, se muestra en la figura N1 y la manera como opera es la siguiente: El material es extraído del depósito de almacenamiento por gravedad y a través de una compuerta reguladora, de la cual es alimentado un transportador de tornillo sin fin que lo llevará a un alimentador rotatorio de burbuja que controla el flujo. El material pasa después a una cámara de mezcla con el aire a alta velocidad, que lo conducirá a través de un largo ducto, hasta el silo receptor donde es separado el material del flujo de aire para llevarlo a proceso o para almacenarlo.

Este tipo de sistema es empleado cuando se desea alimentar a varios silos receptores localizados a distancias considerables en relación a la fuente de suministro.

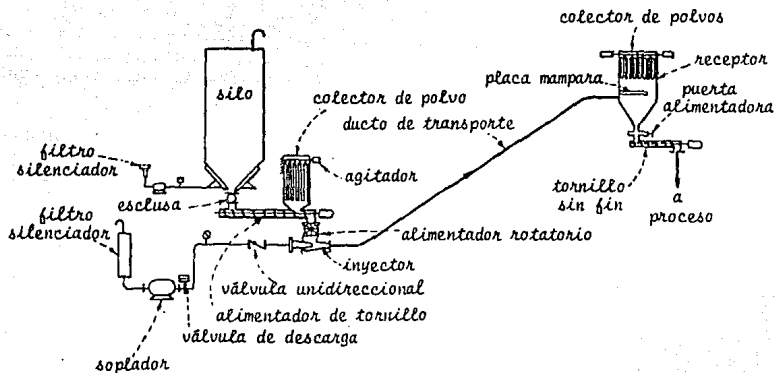


FIG. N 1

- 2) En el sistema de vacío el flujo de aire es producido también por un soplador centrífugo o por una máquina de desplazamiento positivo, localizados al final de la línea, creando succión en el silo receptor y en toda la línea de transporte.

El material se alimenta del silo a través de una compuerta reguladora, hacia un alimentador rotatorio de burbuja que lo pasa a una cámara acoplada a la línea de succión (ducto), la cual lo transportará hasta el silo colector donde, por sedimentación, el material se separa. De este último y a través de otro alimentador rotatorio de burbuja es descargado hacia uno o más depósitos.

El sistema de vacío es ideal para la descarga de carros tanque, carga y descarga en general, transferencia de material entre silos de almacenamiento y alimentación para área de proceso. La figura N2 muestra un arreglo general típico, con los elementos constitutivos fundamentales.

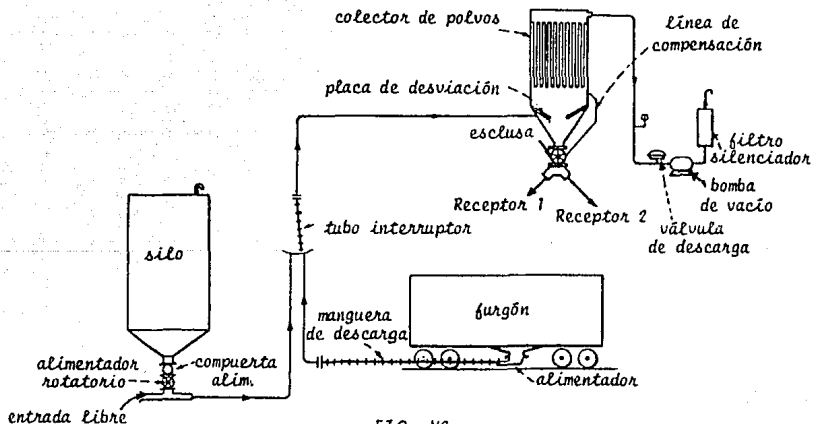


FIG. N2

- 3) El sistema combinado o mixto es una utilización simultánea de los dos sistemas anteriores, en el cual se provoca vacío en un silo receptor y ocupa el mismo flujo de aire para impulsar el material con alta velocidad, a través del ducto de transporte, y llevarlo hasta uno o varios silos de almacenamiento. Su principal aplicación es la descarga de carros tanque.

Un arreglo general con sus principales componentes se muestra en la figura N3.

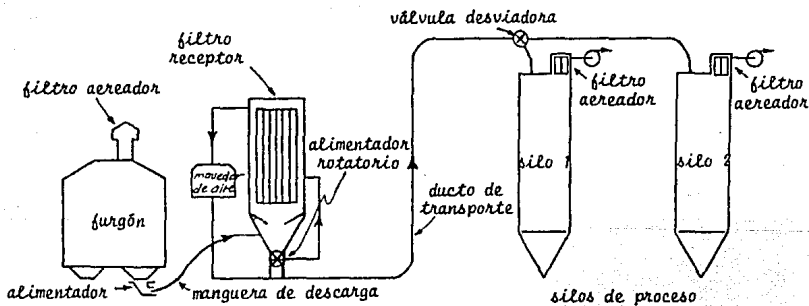
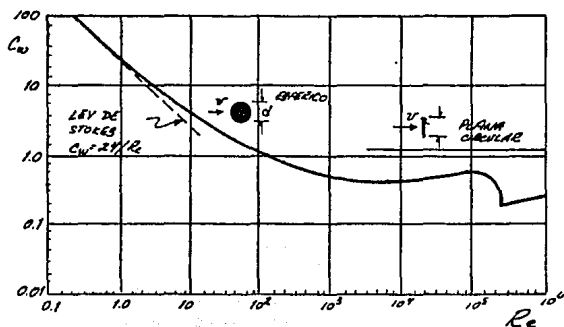


FIG. N3



.FIG. N-4

VELOCIDAD.

La velocidad es el factor de mayor importancia en el diseño de un sistema de transporte neumático. Es necesario que el material transportado posea una velocidad adecuada para asegurar que se mantenga en suspensión durante su viaje, y evitar fricción y erosión en los ductos. Normalmente se busca una alta velocidad para lograr lo anterior, pero es de cuidarse los cambios bruscos de dirección, para evitar el choque del flujo.

Debe conocerse antes la cantidad de aire necesaria por cada kg de material a transportar, la cual depende del

peso específico del material en las condiciones en que es manejado.

Las variables que afectan la mínima velocidad de transporte son:

- Tipo de sistema empleado.
- Densidad absoluta del material.
- Tamaño y forma de la partícula.
- Características físicas (espesor, abrasividad, contenido de humedad, etc.)

La cantidad de aire (Q), que se requiere, para transportar T ton/hr de material puede calcularse con la siguiente fórmula empírica, basada en pruebas de planta piloto:

$$Q = \frac{\gamma T}{5561} \text{ [m}^3\text{/min]} \quad \dots\dots \text{ (114)}$$

$$Q = \gamma T \text{ [pie}^3\text{/min]} \quad \dots\dots \text{ (114)}$$

Donde:

Q - Caudal de aire libre [m³/min].

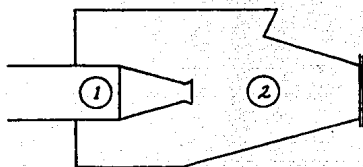
[pie³/min].

T - Cantidad de material a mover [ton/hr]

γ - Peso específico del material [N/m³]
[lb/pie³]

La velocidad de las partículas de material en el flujo es desconocida y difícil de determinar, pero la velocidad del aire puede ser medida o calculada para cualquier punto de la línea.

Para dos puntos (1) y (2) del inyector:



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} \quad z_1 = z_2 \quad \dots \quad (115)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad \dots \quad (115')$$

De la ecuación de continuidad, para flujo constante:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \dots \quad (116)$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 = n v_2 \quad \dots \quad (117)$$

Donde:

$$n = \frac{A_2}{A_1} \quad \dots \quad (117')$$

Sustituyendo (117) en (115') y despejando v_2 se tiene
que:

$$v_2 = \sqrt{2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) \left(\frac{1}{1 - n^2} \right)} \quad [\text{m/min}] \dots\dots (118)$$

o bien, puede deducirse de la ecuación del flujo constante, para los mismos puntos (1) y (2) del tubo de venturi:

$$z_1 + P_1 \gamma + \frac{v_1^2}{2g} + u_1 + Q_1 = z_2 + P_2 \gamma + \frac{v_2^2}{2g} + u_2 + W \dots\dots (119)$$

de la cual, cuando se suprimen los términos de poca importancia, y despejando para v_2 se tiene:

$$v_2 = \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \dots\dots (120)$$

y como:

$$h_1 - h_2 = c_p (T_1 - T_2) = c_p T_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \dots\dots (121)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} (k-1)/k \dots\dots (122)$$

Sustituyendo (121) y (122) en (120) se tiene:

$$v_2 = \sqrt{2g c_p T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right) (k-1)/k \right]} \dots\dots (123)$$

Donde:

v_2 = velocidad teórica en la garganta [m/seg]

c_p = calor específico a presión constante [$\frac{\text{Kcal}}{\text{KN}^\circ\text{K}}$]

P_1 = presión absoluta de entrada [KN/m^2]

P_2 = presión absoluta en la garganta [KN/m^2]

T_1 = temperatura en la entrada $^\circ\text{K}$

$k = c_p/c_v$ = coeficiente isoentrópico

Cuando la diferencia de presión es grande y la variación de la densidad del aire afecta la exactitud del cálculo del flujo, se debe usar la fórmula de flujo adiabático para gases compresibles, para obtener el flujo exacto:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g P_1 v_1 \left(\frac{k}{k-1}\right) \left(1 - \lambda \frac{A_2}{A_1}\right)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \lambda \frac{2}{k}}} \dots \dots (127)$$

[m/seg] [pies/seg]

P - [KN/m^2] [lb/pie²]

v - [m³] [pie³]

A - [m²] [pie²]

$\lambda = P_2/P_1$

ANÁLISIS DINÁMICO

Las fuerzas que afectan el flujo de aire-material en el sistema neumático son:

- 1) GRAVEDAD.- La presión atmosférica causa sedimentación de material en los ductos y en los colectores y debe superarse en las trayectorias verticales del flujo.
- 2) DIFERENCIA DE PRESIÓN.- Se produce una fuerza en dirección del punto de menor presión, que realiza el flujo aire-material, denominada fuerza de arrastre.
- 3) INERCIA.- Se requiere una fuerza para superar la resistencia natural de las partículas y cambiar en velocidad y dirección del flujo, (al inicio del flujo y en los cambios de trayectoria).
- 4) FRICCIÓN.- Las partículas en suspensión son sujetas a la fuerza de fricción con las paredes del ducto y entre ellas mismas, resistencia al levantamiento e impacto; el flujo de aire causa también pérdidas en el ducto.

La fuerza de arrastre que sufre el material puede deducirse de la ecuación para energía cinética en un cuerpo con

velocidad v :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad \dots \quad (128)$$

Donde, considerando una masa específica $\rho = \delta/g$

$$E_c = \frac{1}{2} \frac{\delta}{g} v^2 \quad \dots \quad (129)$$

y para una sección del área de la partícula A_o , considerando un factor de arrastre del cuerpo o partícula C_w se tiene:

$$F_a = E_c A_o C_w = C_w A_o \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{g} \right) v^2 \quad \dots \quad (130)$$

Los valores del coeficiente de arrastre C_w se han determinado experimentalmente para cuerpos de forma regular en función del número de Reynolds R_e , (fig. N-4).

Para rangos de flujo bajo ($Re < 1$) la ley de Stokes es válida y C_w puede calcularse como:

$$C_w = 24/R_e \quad \dots \quad (131)$$

Para flujo turbulento C_w es casi constante, aproximadamente para $R_e = 2.5 \times 10^5$. En una zona de transición C_w será:

$$C_w = \text{constante}/R_e^n \quad \dots \quad (132)$$

donde la constante y el exponente "n" son válidos sólo para intervalos estrechos de número de Reynolds.

La mayor parte de materiales agrícolas son de forma irregular, por lo que se calcula un diámetro equivalente para poder aplicar los criterios anteriores en el cálculo de R_e .

De experimentos se han obtenido los siguientes datos:

COSECHA	COEF. DE ARRASTRE	VELOCIDAD TERMINAL M/S	R_e
TRIGO	0.50	9.6	2700
CEBADA	0.50	7.6	1300
MAIZ	0.56-0.7	11.4	5700
FENOL	0.45	14.5	6300
AVENA	0.47-0.51	6.6	2000
ESPIGA DE TRIGO		2.4	
PAJA			
0.6 cm	0.84	5.15	
2.5 cm	0.80	4.25	
7.5 cm	0.90	3.0	
2.5 cm	0.91	2.7	
PAPAS	0.64	32.0	
SEMILLA REDONDA		40.0	
MAIZANA		42.0	1.9×10^5
ALBARICOQUE		39.0	
CEBEZA		29.0	
BURRANO		42-44	
BIRUELA		32-34	8×10^4

Tabla N-5

La aceleración de una partícula en caída libre cesa después de un tiempo debido a la resistencia del aire, y entonces cae con una velocidad constante denominada velocidad terminal v_{cr} . En este caso la fuerza de resistencia es igual al peso del cuerpo G .

$$F_a = C_w A_0 \left(\frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} \right) v_{cr}^2 = G \quad \dots \quad (133)$$

de la cual, para un cuerpo esférico:

$$v_{cr} = \sqrt{2Gg/C_w A_0 \gamma} \quad \dots \quad (134)$$

$$= \sqrt{4 d \gamma_m g / 3 C_w \gamma} \quad \dots \quad (135)$$

donde:

d = diámetro del cuerpo o partícula

γ_m - peso específico del material

v_{cr} = velocidad terminal del material

Para flujo turbulento $C_w = 0.44$, por lo que:

$$v_{cr} = 1.74 \sqrt{d \gamma_m g / \gamma} \quad \dots \quad (136)$$

En el intervalo $2 < R_e < 1000$ se pueden usar la siguiente ecuación para C_w :

$$C_w = 18.5 / R_e^{0.6} \quad \dots \quad (137)$$

La velocidad terminal para cuerpos de irregular forma no puede ser calculada con suficiente exactitud teóricamente, por lo que debe hacerse experimentalmente.

PÉRDIDAS DE PRESIÓN.

Las pérdidas de presión, debidas a la fricción del flujo de aire en el ducto, se calculan de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P_i = \lambda \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2 \rho}{2g \cdot 10^6} \quad \dots \quad (138)$$

o bien:

$$\Delta P_i = \lambda \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2 \rho}{2g \cdot 144} \quad \dots \quad (139)$$

$$\Delta P_i = H_{rp} = \text{pérdida de carga en la línea} \\ \text{(N/cm}^2\text{), (lb/pulg}^2\text{)}$$

λ = coeficiente de pérdida de carga

L = longitud de la línea [m] (pies)

D = diámetro del ducto [m] (pies)

v = velocidad media de la mezcla [m/seg]
(pies/seg)

λ se determina en función del número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \quad \dots \quad (140)$$

La ecuación (138) también es aplicable para flujo de materiales pulverizados, en la cual:

$$\rho = \frac{\text{(peso de aire)} + \text{(peso del material)}}{\text{(volumen de aire en condiciones promedio en el ducto)} + \text{(volumen del material)}} \quad \dots \quad (141)$$

Para el flujo con sólidos en suspensión las ecuaciones (138) y (139) no son aplicables, por lo que, algunos fabricantes le hicieron ajustes basados en experimentos y obtuvieron la siguiente ecuación simplificada, más general:

$$\frac{\Delta P_i}{L} = \text{constante} \times \frac{\dot{w}}{D} \quad \dots\dots\dots (142)$$

$$\dot{w} = \text{flujo de sólidos [N/seg/m}^2\text{]} \quad (\text{lb/seg/pie}^2)$$

La cual permite relacionar pérdidas de presión por m (pie) de tubo contra flujo de sólidos (FIG. NA-1 del apéndice).

PÉRDIDA DE PRESIÓN CAUSADA POR EL MATERIAL (ΔP_2).

En estado estable la pérdida por impacto, por metro de longitud se puede calcular de la siguiente manera:

Fuerza de resistencia = energía cinética

$$C_w A_o (\gamma/2g) v_r^2 = \xi (m_1 C_o^2 / 2) \quad \dots\dots\dots (143)$$

Donde:

v_r = velocidad relativa

ξ = coeficiente de impacto

C_o = velocidad del material

$$v_n = \sqrt{B} c_0 = v_0 - c_0 \quad \dots \quad (144)$$

v_0 = velocidad del aire

$$c_0 = [1/(1 + \sqrt{B})] v_0 \quad \dots \quad (145)$$

$$= (1 - S) v_0 \quad \dots \quad (146)$$

$$B = \frac{E G_1}{\delta A_0 c_w} \quad \dots \quad (147)$$

S = factor de flujo (0.38 - 0.40)

$$\Delta P_2/L = K_p (Q_m v_0 / g A_0) \quad \dots \quad (148)$$

A_0 = sección transversal del tubo

$$K_p = (1 - S)/2 \quad \dots \quad (149)$$

Q_m = flujo de material

Cuando el transporte se efectúa a grandes concentraciones de material y baja velocidad, se dice que es un transporte en masa y la resistencia se debe principalmente a la fricción. La ecuación de equilibrio en este caso es:

$$c_w A_0 (\delta/2g) v_n^2 = K G_1 \quad \dots \quad (150)$$

$$v_n = \sqrt{2K G_1 g / \delta A_0 c_w} = \text{cte} \quad \dots \quad (151)$$

$$c_0 = v_0 - v_n = v_0 - \text{cte} \quad \dots \quad (152)$$

por lo que la pérdida de presión es:

$$\Delta P_1/L = K (Q_m / c_0 A) \quad \dots \quad (153)$$

K = coeficiente de resistencia debe determinarse experimentalmente.

transporte en tubos verticales la resistencia al flujo tiene dos componentes:

1) Pérdida de presión para elevar el material:

$$\frac{\Delta P_0}{L} = \frac{Q_m}{C_0 A_0} \dots \dots \dots (154)$$

2) Pérdida de impacto:

$$\frac{\Delta P_2}{L} = K_p \left(\frac{Q_m C_0}{g A_0} \right) \dots \dots \dots (155)$$

$$K_p = 0.0093 \text{ m}^{-1}$$

Las pérdidas debidas a la inercia, son significativas al inicio del flujo, donde el material debe ser acelerado desde cero hasta lograr la velocidad de transporte, y en regiones curvas (codos).

Del teorema de Momentum:

$$A \Delta P_d = m C_0 - m C, \dots \dots \dots (156)$$

Donde:

A = área de la sección transversal del tubo.

C , = velocidad inicial

Dado que $c_1 \approx 0$.

$$\Delta P_d = \frac{Q_m C_2}{A g} \dots\dots (157)$$

Q_m = peso de material cargado por segundo.

Por cambios de dirección en codos:

$$\frac{\Delta P_d}{v_0} = K Q_m \dots\dots (158)$$

K = es una constante para tipo de codo

K = 8.5 para codos 90° con radio de curvatura de
6 - 10 veces el diámetro del tubo.

La suma de las pérdidas de carga, del aire y material expresadas en metros (pulgadas) de agua se emplea para calcular la potencia de aire requerida:

$$P_a = \frac{(\text{Metros cúbicos de aire/min}) \times \Delta P \text{ (KN/m}^2\text{)}}{60} \dots\dots (159)$$

O bien:

$$P_a = \frac{(\text{Metros cúbicos de aire/min}) \times \Delta P \text{ (m H}_2\text{O)}}{588} \dots\dots (160)$$

En el sistema inglés:

$$P_a = \frac{(\text{pies cúbicos de aire/min}) \times \Delta P \text{ (pulg. H}_2\text{O)}}{6356} \dots\dots (161)$$

La potencia de accionamiento es:

$$P_T = \frac{P_a}{\eta_{\text{Total del sistema}}} \dots\dots (162)$$

Procedimiento de diseño.

- 1.- Determinar la cantidad de aire para transportar un Newton (libra) de material.
- 2.- Determinar la velocidad de transporte del aire.
- 3.- Seleccionar un diámetro de tubo conveniente al flujo y velocidad del aire, que sea adecuado al flujo de material.
- 4.- Calcular las pérdidas de energía debidas al flujo de aire.
- 5.- Calcular las pérdidas de energía debidas al flujo de material.
- 6.- Determinar la potencia de aire necesaria para sobreponerse a las pérdidas debidas al flujo de aire y material.
- 7.- Determinar la presión de aire necesaria para producir la potencia de aire solicitada.
Seleccionar la unidad que cumpla con los requisitos.
- 8.- Determinar la potencia motriz para la unidad.

CAPITULO VIII

TRANSPORTE HIDRAULICO.

El transporte de materiales a través de ductos o en canales abiertos que emplea agua como medio, tiene un amplio campo de aplicación en la actualidad, debido a que es un líquido que ofrece seguridad para el medio ambiente y en muchos casos puede ser integrado al proceso. Además, es un líquido para el cual se tiene un conocimiento bastante grande de sus características intrínsecas y de su comportamiento en movimiento; características como el poder separarse con relativa facilidad de una mezcla o el ser incompresible que le permite transportarse a través de grandes distancias y poder efectuar alturas de carga mayores a 120 mca.

Debido a la fuerza que ejerce sobre materiales sumergidos en ella, tiene facilidad para transportar diferentes tipos de materiales como son: mineral bruto, carbón, viruta, escoria, pulpa de papel, basura, etc. En el campo industrial se utiliza como medio de transporte una gran variedad de líquidos con diferentes grados de viscosidad, para las cuales se emplean los mismos principios que se estudian para el agua, con sus respectivas consideraciones y ajustes de factores según el caso (densidad, viscosidad, R_e , etc.).

El sistema es simple y no ocupa gran espacio, además de que pueden tenderse líneas a través de la planta por donde mejor convenga al proceso. Los componentes fundamentales que se requieren son:

- UNIDAD DE IMPULSIÓN (bomba y unidad motriz)
- DUCTO (tubería de succión y descarga)
- RECIPIENTE (contenedor del material)

CLASIFICACIÓN.

1.- De acuerdo al tipo de unidad de impulsión:

- Sistema de unidad centrífuga. Que a la vez puede ser: de flujo mixto, de flujo axial, de turbina vertical, de turbina regenerativa, etc., según el tipo de impulsor empleado.
- Sistema de unidad rotatoria. La cual puede emplear impulsores como: engranes internos, tornillo, lóbulo, aleta oscilante, etc.
- Sistema de unidad reciprocante. Puede ser: de acción directa; potencia (manivela y volante); de diafragma; rotatoria y pistón; de tubo flexible accionada por rodillos.

2.- Según el tipo de aplicación que se le dé al sistema:

- Sistema de proceso.
- Sistema alimentario
- Sistema de minería y construcción.

En los dos primeros casos normalmente se desea transportar: pulpas, vinos, jugos de frutas, ostiones, camarones, aceite vegetal, etc. Para manejo de alimentos con bajo contenido de sólidos como: jugos de caña, uva y jitomate, licor de azúcar, aceite vegetal, etc., pueden ser empleadas bombas centrífugas.

Para usos sanitarios pueden emplearse bombas centrífugas rotatorias y reciprocantes con accesorios y tuberías de acero inoxidable, aleaciones de níquel, hule duro, cristal o plástico. La bomba misma puede estar hecha de acero inoxidable, monel, aluminio, cristal, porcelana u otros materiales especiales.

Además de resistir al alimento, los materiales de construcción deben resistir los detergentes, jabones y agentes germicidas que se usan en el limpiado y lavado de la bomba. Algunas características típicas que deben tener las bombas son:

- Ser altamente resistentes a la corrosión.
- Fácil de desarmar para su mantenimiento.
- No debe triturar el alimento o producir espuma.
- Tener un sistema de lubricación libre de contacto con el fluido que se maneja.
- Estar libre de partes sujetas a desgaste o frotamiento durante su operación.

- Tener empaques positivamente sellados del interior de la carcasa.
- Tener pasajes internos en la carcasa que sean lisos y libres de esquinas abruptas o cambios pronunciados en su superficie.

En minería y construcción se moviliza una gran variedad de líquidos, muchos de los cuales contienen sólidos abrasivos o son ácidos, o ambas cosas. Se manejan comúnmente metales triturados, lodos, eliminación de desperdicios, lavado de carbón, inyecciones de lechada a presión, drenaje, etc.

La mayoría de las bombas empleadas son tipo centrifugas, aunque en ciertos casos pueden emplearse unidades reciprocantes; las bombas rotatorias encuentran aplicación reducida en este campo. Los materiales que están en contacto con el fluido que se maneja, deben elegirse para una máxima resistencia a la corrosión y a la erosión. En minería es común dividir la capacidad total requerida entre dos o más bombas, con una o más de reserva.

CAPACIDAD.

La capacidad del sistema, depende del tonelaje por hora de substancia que se maneja, convertido a litros por segun-

de 0 a metros cúbicos por minuto, según el tamaño de la bomba que se necesite. El funcionamiento eficiente de las bombas se apoya en sus curvas características de operación $H - Q$ (carga-contra gasto) para flujo normal.

Para manejar sólidos en suspensión, la relación agua-sólidos se da como un porcentaje de la mezcla total presente, expresada en unidades de peso o volumen. Para muchos casos prácticos las concentraciones de material pueden estar dentro de un rango de 5 a 10% de la mezcla total; para las mejores condiciones de bombeo es recomendable mantener la mayor relación posible. Como ejemplo pueden citarse las siguientes relaciones típicas:

Ejotes: 25 litros por kilogramo.

Chicharos: 8.3 litros por kilogramo.

En general la cantidad de agua a utilizar en el transporte de materiales debe determinarse considerando las características físicas que éstos presentan como son: tamaño, forma, peso específico, porosidad, etc., y muchas veces es necesario recurrir a ensayos en plantas piloto para obtener la relación ideal. En algunos textos relacionados con este tema se proporcionan tablas con relaciones agua-sólidos para diversos materiales, obtenidas de pruebas y experiencias, que pueden servir como una guía en un momento dado.

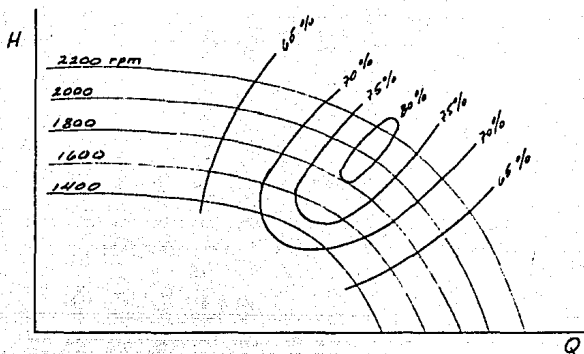


FIG. H1: CURVAS H-Q PARA DISTINTAS VELOCIDADES

VELOCIDAD.

Un líquido que fluye a través de un ducto puede tener un flujo de tipo laminar o turbulento, dependiendo de la velocidad del mismo, diámetro del tubo, viscosidad y densidad; lo cual se encuentra relacionado mediante el número de Reynolds, R_e :

$$R_e = \frac{vD}{\nu} \dots\dots\dots (163)$$

Donde:

v = velocidad del líquido m/seg (pies/seg)

D = diámetro del tubo m (pies)

ν = viscosidad cinemática del líquido m^2/seg
(pie²/seg)

La viscosidad cinemática ν está definida por la siguiente relación:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \dots \dots (164)$$

que tiene la ventaja de que sus unidades son puramente cinemáticas y fáciles de manejar. Una unidad conocida para la viscosidad cinemática es el toke igual a $1 \text{ cm}^2/\text{seg}$ ($1 \text{ m}^2/\text{seg} = 10000 \text{ tokes}$).

TABLA H-2: VISCOSIDAD DINÁMICA μ Y CINEMÁTICA ν DEL AGUA PARA VARIAS TEMPERATURAS

T °C	μ MILIPOISES	ν CENTISTOKES	T °C	μ MILIPOISES	ν CENTISTOKES
0	17.92	1.792	60	4.67	0.477
10	13.08	1.308	70	4.06	0.415
20	10.05	1.007	80	3.57	0.367
30	8.01	0.804	90	3.17	0.328
40	6.56	0.661	100	2.84	0.296
50	5.49	0.556			

$Re < 2000$ flujo laminar

$Re > 4000$ flujo turbulento

$2000 < Re < 4000$ transición.

El flujo laminar se logra con paredes bien pulidas que eviten la fricción y se logre un desplazamiento uniforme de las capas unas sobre otras. Para los líquidos con este tipo de flujo el número de Reynolds Re puede calcularse como:

$$Re = \frac{127.310 \rho_r Q}{d \mu} \quad \dots \dots (165)$$

Q = gasto (lt/seg)

ρ_r = densidad relativa del líquido respecto a la del agua.

Para evitar que las partículas se depositen en el fondo, es necesario que el fluido posea una velocidad tal que las mantenga en movimiento continuo durante el transporte. En otras palabras, se requiere de una turbulencia en la cual las partículas se moverán en trayectorias no definidas.

La máxima velocidad que adquiere una partícula al caer dentro del agua se alcanza cuando su peso sumergido se equilibra con la fuerza de empuje que el agua ejerce sobre ella; en una trayectoria vertical del ducto, la velocidad puede obtenerse del equilibrio de fuerzas, al igual que el sistema neumático para partículas esféricas, de las ecuaciones (133) y (135).

$$F_a = W \quad \dots\dots\dots (166)$$

$$v_{so} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{d_s}{C_w} \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}} \quad \dots\dots\dots (167)$$

Donde:

v_{so} = velocidad de asentamiento o caída [m/seg]
[pies/seg]

d_s = diámetro de la partícula en [m], [pies]

ρ_s = densidad de la partícula [KN/m^3], [lb/pie^3]

ρ_f = densidad del agua o fluido de transporte
[KN/m^3], [lb/pie^3]

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2 \quad (32.2 \text{ pies/seg}^2)$$

C_w = coeficiente de arrastre o empuje que puede obtenerse de gráficas con R_g ; (FIG. N° 29 y 16).

Si la velocidad del fluido es v_f la velocidad del sólido v_s será:

$$v_s = v_f - v_{s0} \quad \dots\dots\dots (168)$$

Por lo general es recomendable que $v_f \gg v_{s0}$.

En una trayectoria horizontal el comportamiento del flujo es difícil de establecer teóricamente, debido a que normalmente se presenta en un régimen turbulento. Para partículas finas donde solo el peso relativo y las fuerzas debido a la turbulencia son efectivas, se puede establecer el siguiente criterio de análisis:

La oscilación media de la velocidad de atravesamiento v_y debe ser mayor que la velocidad de asentamiento o sedimentación:

$$\sqrt{v_y^2} \gg v_{s0} \quad \dots\dots\dots (169)$$

Puesto que esta oscilación de la velocidad de atravesamiento, en promedio es casi 5% de la velocidad axial media, esto significa que la velocidad del fluido sea:

$$v_f \gg 20 v_{s0} \quad \dots\dots\dots (170)$$

Es importante que la velocidad de transporte v_f sea mucho mayor que la velocidad crítica v_c , en la cual los sólidos empiezan a sedimentarse, pues de otra manera puede haber transporte por arrastre en el fondo de la tubería; se ha visto que esta condición es cercana a la pérdida de carga mínima para la misma concentración de material. Al sedimentarse el material se forma un lecho que deformado con dunas y rizados aumenta notablemente la fricción, además de disminuir el área hidráulica de la tubería.

Según los estudios hechos por DURAND* y sus colaboradores, la condición crítica de velocidad puede graficarse, como función del diámetro de partículas (esféricas), diámetro del tubo, densidad relativa y concentración, de la siguiente manera:

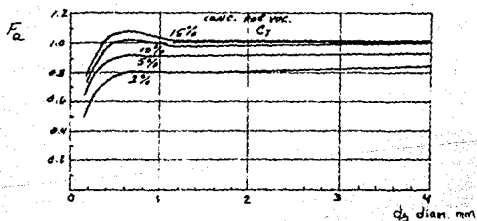


FIG. H4

VELOCIDAD CRÍTICA PARA TRANSPORTE HIDRÁULICO
 COMO FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA, DIÁMETRO
 DE TUBO, DENSIDAD Y CONCENTRACIÓN.

(*) DURAND R. "BASIC RELATIONSHIPS OF THE TRANSPORT OF SOLIDS
 IN PIPES."

En la gráfica de la figura H5 se presenta la relación entre velocidad y pérdida de carga para una mezcla de fluido y sólidos para diferentes tipos de flujo. La línea discontinua 3 representa la condición de transición de transporte con depósito de material y transporte sin depósito. A la derecha de esta línea el transporte es sin depósito y a medida que aumenta la velocidad, la concentración de sólidos se hace cada vez más uniforme, por lo que se le denomina comúnmente flujo homogéneo; de esta manera el líquido aparecerá homogéneo con una mayor densidad y viscosidad y puede tratarse como flujo de puro líquido, se cumple esto para:

$$R_{es} < 0.02 \quad \dots\dots\dots (171)$$

(flujo homogéneo Newtoniano)

Considerando que la mezcla es perfectamente homogénea la densidad del nuevo fluido ρ_m es igual a:

$$\rho_m = C_v \rho_s + (1 - C_v) \rho_f \quad \dots\dots\dots (172)$$

O bien

$$\rho_m = \rho_f + (\rho_s - \rho_f) C_v \quad \dots\dots\dots (173)$$

Donde:

C_v = concentración de sólidos en volumen

ρ_f = densidad del fluido

ρ_s = densidad de los sólidos

La vel.

como:

$$v_m = \frac{\dot{V}_s + \dot{V}_f}{A} = C_v v_s + (1 - C_v) v_f \dots \dots \dots (174)$$

Donde:

\dot{V}_s = tasa de cambio de volumen de sólidos.

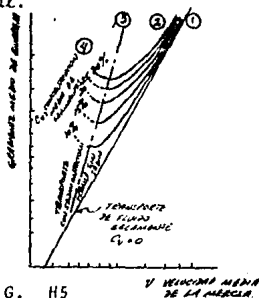
\dot{V}_f = tasa de cambio de volumen de líquido.

A = área de la sección transversal del ducto.

C_v = concentración volumétrica V_s/V_{tot} .

Con altas concentraciones de sólidos la mezcla puede tener un comportamiento no Newtoniano.

Si se requiere de un alto grado de turbulencia en el flujo para mantener los sólidos en suspensión, entonces la concentración en el tubo horizontal depende, además de la velocidad de sedimentación de los sólidos, de la velocidad de transporte y del diámetro del tubo. Los sólidos no se encontrarán distribuidos de manera homogénea en ningún momento, por lo que a este tipo de flujo se llama flujo heterogéneo; aún no existe depósito pero hay un notorio gradiente de concentraciones en la vertical.



.. FIG. H5

VELOCIDAD MEDIA DE LA MEZCLA

En el lado izquierdo de la línea 3 de la figura H5 el material sólido empieza a sedimentarse y a formar dunas, o simplemente una capa que se arrastra por la parte más baja de la tubería; reduce la sección y puede llegar a un eventual taponado de la tubería.

En un flujo heterogéneo no se cumplen las expresiones (172) y (173); usualmente se define por el siguiente rango:

$$0.1 < Re_s < 2$$

Al seleccionar la velocidad para los tubos de succión y descarga de la bomba, debe cuidarse de que el flujo sea tal que los sólidos viajen en o cerca del centro del tubo. Esto conserva la fricción en el tubo a un mínimo, protege a los sólidos de desintegración en la pared del tubo y reduce el desgaste que causa la abrasión del tubo por los sólidos.

La velocidad más conveniente es la más baja, que produzca un gasto en el cual se cumplan estas tres condiciones. En general las bombas centrífugas pueden manejar los tipos más abrasivos de suspensiones.

ANÁLISIS DINÁMICO.

En problemas de líquidos con material en suspensión es

de interés conocer:

- La concentración de partículas en suspensión.
- La viscosidad del líquido con material en suspensión.
- El peso específico de la mezcla líquido-material en suspensión.
- Las pérdidas de carga en la tubería.

Respecto a las partículas de material los parámetros de interés a considerar son:

γ_s = Peso específico

ρ_s = Masa específica

Las cuales se encuentran relacionadas de la siguiente forma:

$$\gamma_s = \rho_s g \quad \dots\dots\dots (175)$$

$$\rho_r = \text{Densidad relativa} = \frac{\gamma_s}{\gamma_f} = \frac{\rho_s}{\rho_f \text{ del agua a } 4^\circ\text{C}} \quad \dots\dots\dots (176)$$

El mejor parámetro para tomar en cuenta la forma de las partículas es el factor de forma S.F.:

$$\text{S.F.} = \frac{c}{a b} \quad \dots\dots\dots (177)$$

Donde a, b y c son tres longitudes medidas en tres direcciones perpendiculares entre sí. a es la máxima longitud,

b la mínima y c la que resulte perpendicular a ambas. La forma de las partículas afecta notablemente el comportamiento que tendrán en el transporte.

El diámetro de una esfera con igual volumen que la partícula en cuestión es denominado diámetro nominal, y es aplicable en general a partículas grandes:

$$V = \frac{\pi d^3}{6} \quad \dots\dots (178)$$

La cantidad de partículas contenida en el seno de un líquido se expresa mediante su concentración dada en %,

KN/m^3 ó KN/lt :

$$C_v = \frac{\text{peso seco de las partículas}}{\text{peso del volumen inicial (considerado todo como un líquido)}} \quad \dots\dots (179)$$

$$C_v = \frac{\rho_s \cdot V_s}{\rho \cdot V_m} \quad \dots\dots (180)$$

La presencia de material fino en suspensión cambia la viscosidad del líquido y para estimarla se tienen los siguientes criterios:

- Según Einstein $M_m = M(1 + 2.5C_v) \quad \dots (181)$

para $C_v < 0.03 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

- Según Ward $M_m = M(1 + 4.5C_v) \quad \dots (182)$

para $C_v > 0.03 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

En las cuales μ es la viscosidad del agua a la misma temperatura de la mezcla.

El peso específico de un líquido con material en suspensión puede calcularse como promedio de la siguiente manera:

Peso de la mezcla = peso del líquido + peso de sólidos

$$\delta_m V_m = \delta V + V_s \delta_s \quad \dots\dots\dots (183)$$

Despejando δ_m :

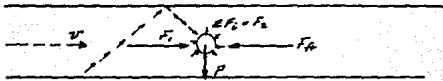
$$\begin{aligned} \delta_m &= \frac{\delta V}{V_m} + \frac{V_s \delta_s}{V_m} \\ &= \frac{\delta(V_m - V_s)}{V_m} + \frac{V_s \delta_s}{V_m} \\ &= \delta - \delta \frac{V_s}{V_m} + \delta_s \frac{V_s}{V_m} \quad \dots\dots\dots (183) \end{aligned}$$

$$= \delta + \frac{V_s}{V_m} \cdot (\delta_s - \delta) \quad \dots\dots\dots (184)$$

Sustituyendo (180) en (184) se obtiene finalmente:

$$\delta_m = \delta + \delta C_v - \frac{\delta^2 C_v}{\delta_s} \quad \dots\dots\dots (185)$$

Una partícula de material que se transporta en un ducto experimenta las siguientes fuerzas:



P = peso de la partícula sólida

F_1 = fuerza de conducción

F_2 = fuerza del medio sobre el sólido

F_{fr} = fuerza resistente de arrastre (impacto del sólido con paredes y otras partículas)

La fuerza resistente de arrastre se puede calcular según la ecuación (133):

$$F_{fr} = C_w (R_{es}) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (v_b - v_s)^2 \frac{\pi d_s^2}{4} \quad \dots \quad (186)$$

$C_w (R_{es})$ = coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds, FIG. N4 (pag. 116)

d_s = diámetro de la partícula

los demás parámetros tienen el mismo significado ya definido.

El coeficiente de arrastre puede calcularse con bastante aproximación como sigue:

$$C_w = \frac{24}{R_{es}} + \frac{4}{\sqrt{R_{es}}} + 0.40 \quad \dots \quad (187)$$

Un sólido en suspensión experimenta una disminución en peso o flotación de:

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (188)$$

Lo cual hace posible al líquido proporcionar la fuerza necesaria de empuje con relativamente pequeñas velocidades de flujo, para transportarlo.

En términos generales la pérdida de carga aumenta con la concentración de material en suspensión y varía con el régimen en que se efectúa el transporte. En la gráfica de la figura H5 puede apreciarse que ^{para} una cierta concentración existe un valor mínimo de pérdida de carga; a medida que la velocidad aumenta, la ley de pérdida de carga se hace paralela a la del fluido sin sedimento.

Para un flujo homogéneo la pérdida de carga por unidad de longitud se puede obtener de la fórmula de D'Arcy:

$$i_m = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\delta_m v_m^2}{2gD} \dots\dots\dots (189)$$

i_m = pérdida de carga por unidad de longitud expresada en altura de columna de la mezcla.

δ_m = coeficiente fricción obtenido del Abaco de Moody con la viscosidad de la mezcla homogénea.

D = diámetro de la tubería.

v_m = velocidad media de la mezcla.

g = aceleración de la gravedad.

Una relación que proporciona la diferencia de pérdidas de carga entre fluido con y sin sedimento, siempre que la viscosidad no esté afectada por el sólido, está dada por la siguiente ecuación:

$$(i'_m - i) = (i + \text{sen } \theta) (\rho_s - 1) C_v^* \dots \dots \dots (190)$$

i'_m = pérdida de carga por unidad de longitud de tubería para una mezcla homogénea de fluido y sedimento dada en altura de columna de fluido.

i = pérdida de carga para el fluido solo.

θ = ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal; su valor es positivo cuando la mezcla sube por la tubería.

ρ_s = densidad relativa, material sólido a fluido.

Cuando la viscosidad del fluido se ve afectada por la presencia de sedimento, lo cual ocurre cuando es este muy fino (menor de 0.15 mm), es necesario medir la viscosidad de la mezcla y corregir el número de Reynolds para obtener el coeficiente de fricción en la obtención de i .

(*) TASK Committee for preparation of the sedimentation "transportation of sediment in pipes" ASCE.

Cuando el flujo es heterogéneo no son válidas las ecuaciones (189) y (190), pues la diferencia $i_m - i$ aumenta. Durand presenta una forma de estimar dicho aumento, para partículas de cuarzo transportadas en agua clara, de la siguiente forma:

$$\frac{i_m - i}{i C_r} = 176 \left(\frac{g D}{v_m^2 \sqrt{C_w}} \right)^{3/2} \dots\dots (191)$$

Investigaciones posteriores para generalizar la ecuación (191) para cualquier fluido y cualquier sedimento llevaron a la siguiente relación corregida:

$$\frac{i_m - i}{i C_r (\rho_s - 1)} = 106 \left(\frac{g D}{v_m^2 \sqrt{C_w}} \right)^{3/2} \dots\dots (192)$$

NEWITT y otros investigadores derivaron una fórmula con un criterio energético y la comprobaron con gran número de ensayos de transporte de sólidos de diversas densidades y formularon la siguiente relación:

$$\frac{i_m - i}{i C_r (\rho_s - 1)} = 1100 \frac{g D v_{s0}}{v_m^3} \dots\dots (193)$$

En caso de transporte de material no uniforme las condiciones del flujo pueden verse alteradas, especialmente cuando existe material menor de 0.15 mm. Se ha observado que el efecto del material fino es el de facilitar el transporte del

material más grueso; esto se explica por el aumento de la viscosidad del fluido que reduce la velocidad de sedimentación de las partículas más gruesas.

Para primeras aproximaciones en la medición de aumento de viscosidad se puede emplear la relación de Einstein:

$$\frac{\nu'}{\nu} = 1 + 2.5 C_{vf} \dots\dots\dots (194)$$

ν' = viscosidad cinemática modificada por la concentración volumétrica de material fino C_{vf} .

Si el material fino es de tipo coloidal, el aumento en viscosidad puede ser más importante de lo que indica la ecuación anterior; además el fluido tendrá características no Newtonianas.

En tuberías con inclinación, al aplicar las ecuaciones (191) y (192), se puede emplear un factor de corrección para estimar este efecto: $(i_m - i) / (i + \text{sen } \theta)$ en lugar de $(i_m - i) / i$.

La potencia hidráulica está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\gamma_m H_m Q}{7.36} \dots\dots\dots (195)$$

Donde:

γ_m = peso específico de la mezcla

$$\left[\frac{KN}{m^3} \right] \quad \left(\frac{lb}{pie^3} \right)$$

Q = gasto de líquido y sólidos

$$[m^3/seg] \quad [pie^3/seg]$$

H_m = carga de altura manométrica

[m] [pies], considerando las pérdidas de carga primarias y secundarias.

En términos generales, el sistema hidráulico presenta las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Es un sistema simple - Ocupa poco espacio - Es un sistema adaptable - Facilidad en selección de ruta - Facilidad para hacer desviaciones - Facilidad de control - Pueden ser automático - Alto grado de disponibilidad - Seguridad para el medio ambiente - Bajo costo de mantenimiento - Puede ser integrado al proceso por lo cual tiene buena economía de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto consumo de energía - Corrosión - Peligro de bloqueo - Pequeña flexibilidad - Eventual dificultad en el tratamiento de sólidos antes de transportarse - Eventual dificultad en la separación de polvos.

Comparando con el transporte neumático presenta las siguientes ventajas:

- Transporte de materiales más pesados.
- Mayor capacidad (arriba de 500 ton/hr)
- Distancias mayores de traslado (mayor a 25 Km)

- Alturas de carga mayores a 1200 mca.
- Manejo de partículas de alrededor 80 mm de tamaño.
- Presiones arriba de 16000 KN /m² (160 bar)

Comparación entre un sistema neumático y un sistema hidráulico:

	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO
1.- Densidad del fluido de transporte Kg/m ³	1.2 - 5	1000
2.- Velocidad requerida m/seg	30	5
3.- Reducción en peso - debido a la fuerza de flotación %	0	40 para arena
4.- Compresibilidad	muy grande	muy pequeña
5.- Especificaciones para los sólidos a transportar	<ul style="list-style-type: none"> - secos - buena fluidez - No ser toscos - Puede transportarse en cápsula. 	<ul style="list-style-type: none"> - compatible con el agua - finos para largas distancias. - Toscos para cortas distancias. - Puede transportar cápsulas.

	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO
6.- Longitud posible de transporte según 1, 2, 3, 4. Transportación en cápsula, en etapa única	$\cong 4 \text{ Km}$ $\cong 10 \text{ Km}$	- Sin límite para sólidos finos - sólidos toscos 10 Km - sin límite
7.- Consumo de energía específica para ducto horizontal. K Wh/ tKm	1 - 10	0.1 - 1 en lln vertical 10 o más
8.- Aplicaciones típicas:	-distancias relativamente cortas, comúnmente ingeniería química interdepartamental combinada con procesos industriales. -Traslado de desechos	- Distancias cortas (igual que en neumático.) - Distancias medias; minería, traslado de desechos, dragado. - Distancias largas; conducción de carbón, minerales metálicos, transporte de cápsulas.

CONCLUSIONES

El campo del transporte y elevación de materiales es en realidad bastante amplio y sería difícil cubrirlo en un solo tratado, ya que cada sistema tiene una serie de variantes en sus componentes según el tipo de aplicación y material que se maneje. Es posible también encontrar una gran variedad de casos especiales dentro de cada uno de los sistemas vistos, pero en general tendrá componentes como en los casos más comunes, por lo que su análisis se verá simplificado.

Existen discrepancias entre la evaluación teórica y práctica de los parámetros de funcionamiento, debido a apreciaciones y correcciones hechas por los fabricantes de equipo, obtenida de experiencias y pruebas de laboratorio; como en el caso de la longitud corregida L_c de transportadores de banda.

En la práctica, la comunicación con el fabricante siempre es recomendable ya que, su experiencia y la facilidad de efectuar previos experimentos en planta piloto, con material en las condiciones que será manejado, llevará a un mejor diseño del sistema, garantizando su correcto funcionamiento. Cuando lo anterior no es posible, catálogos y nomogramas proporcionados por ellos son una gran ayuda en la selección del equipo.

B I B L I O G R A F I A

- MODERN MATERIALS HANDLING
Simeon J. Koshkin, M.E.
Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- CONVEYORS AND RELATED EQUIPMENT
Wilbur G. Hudson M.E. A.S.M.E.
3a. Edición 1954. Ed. John Wiley & Sons Inc.
- APARATOS DE ELEVACION Y TRANSPORTE (I, II, III)
Hellmut Ernest.
1a. Edición Española 1972. Ed. Bume.
- PNEUMATIC CONVEYING OF BULK MATERIALS
Milton N. Kraus.
2a. Edición 1981. M C. Graw-Hill Publications Co.,
- MECHANICS OF AGRICULTURAL MATERIALS
György Sitkei
1986 Elsevier Science Publishing. Co., Inc.
- TRANSPORTES INDUSTRIALES
M.M. Williamson- G.M. Williamson
Ed. Reverté.
- ELEMENTOS DE MAQUINAS ELEVADORAS
G.D. Jerie - W. Heepke
Ed. Labor, S.A., Sexta impresión 1973.

- ENGINEERING RUBBER CONVEYOR BELTING
B.F. Goodrich Industrial Products Company
1964.
- BANDA TRANSPORTADORA SELECCION Y APLICACION
Gates.
- INMAN, S.A. (Catálogo de selección y aplicación de bandas transportadoras).
- INTERNATIONAL CONSTRUCTION EQUIPMENT
(Catálogo de elevador de cangilones)
- BELT CONVEYOR DESIGN.
Stephens - Adamson MFG. Co.
- COMO SELECCIONAR CORRECTAMENTE UNA BANDA TRANSPORTADORA.
Delamac de México, S.A. - Goodrich Euzkadi.
- BOMBAS SU SELECCION Y APLICACION
Tyler G. Hicks, BME
Traducido por el Ing. Lionel Dignowity
Cla. Editorial Continental, S.A.
10a. Impresión 1975.
- CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería
"TRANSPORTE DE SOLIDOS EN TUBERIAS"
Por: Carlos Cruickshank V.

- THE BEST OF BULK SOLIDS HANDLING 1981 - 1985
HYDRAULIC CONVEYING & SLURRY PIPELINE TECHNOLOGY
Reinhard H. Wehber
Trans tech publications 1985.

- "BASIC RELATIONSHIP OF THE TRANSPORTATION OF SOLIDS IN PIPES"
R. Durand.
Memorias del Congreso de la International
Association for hydraulic research, minnesota 1953.

- MECHANICAL CONVEYORS FOR BULK SOLIDS
H. Colijn
Elsevier science publishing company Inc.
1985, U.S.A.

APÉNDICE

TABLA A B 1 : ÁNGULO DE REPOSO PARA DIVERSOS MATERIALES

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO PROM. lb/pt ³	ÁNGULO DE REPOSO Grados	INCLINACIÓN MÁXIMA Grados	CONDICIÓN DE ABRASIÓN	CONDICIÓN
ALUMBRE	45-50	30-45		C	FINO
ASBESTO	81	20-30		A	MINERAL
CEMIRA	35-40	40	20-25	B	SECO
ASFALTO	45	45		C	TRITURADO
FRÍJOL	36	20	8-10	C	1/2"
TRIGO NEGRO	40-42	25	11-13	C	1/8"
CEMENTO PORTLAND	94	39	20-23	B	MALLA 100
CEMENTO CLINKER	75-95	30-40	18-20	A	IRREGULAR
CARBÓN	60	35	18	C	1/8"
CARBÓN	55-60	27	16	B	1/2"
CAFÉ HOJUELA VERDE	32	25	10-15	C	1/2"
COKE NATURAL	23-35	45	18	A	IRREGULAR
MINERAL DE COBRE	120-150	20-30	20	A	IRREGULAR
TRIGO	45	21	10	C	GRANO
TRIGO	38-40	35	22	C	HARINA
PESCADO	35-40	45		C	HARINA
GRANO DE LINO	45	21	12	C	1/8"
HARINA DE TRIGO	35-40	45	21	C	FINO
VIDRIO	80-100	20-30	20-22	A	IRREGULAR
YESO	70-80	40	21	B	1/2"
HIELO TRITURADO	35-45	20		B	IRREGULAR
ARCILLA	60-66	43	23	C	1/8"
PIEDRA CALIZA	68	20-30	20	B	1/8"
MICA	13-15	34	23	B	FINO
AVENA	26	21	10	C	-1/2"
SALES DE POTASIO	80	20-30		C	FINO
AREDA	45-48	20	8	C	-1/8"
HULE PELETIZADO	50-55	35	22	C	IRREGULAR
HULE REGENERADO	25-30	32	18	C	IRREGULAR
SAL SECA	40-55	20-30	18-22	B	EN GRANO
ARENA HUMEDA	110-130	45	20-22	A	FINO
ARENA SECA	90-110	35	16-18	A	FINO
JABÓN	15-25	30	18		-1/2"
SODA ASH	50	22	7	B	-1/2"
SOYA	55-65	32	19	B	-1/8"
SODA ASH	20-35	37	22	B	-100
SOYA	45-50	21-28	12-16	B	-1/2"
AZÚCAR GRANULADA	50-55	20-30		C	-1/2"
SULFATO DE CALCIO	50-60	20-30	20	C	-1/2"
TALCO	80-90	20-30		C	1/2"
TRIGO	45-48	28	12	C	-1/2"
MADERA EN ASTILLAS	10-30	45	27	C	IRREGULAR
ZINC MINERAL	160	38	22	B	1/4"

A- MUY ABRASIVO

B- ABRASIVO

C- NO ABRASIVO

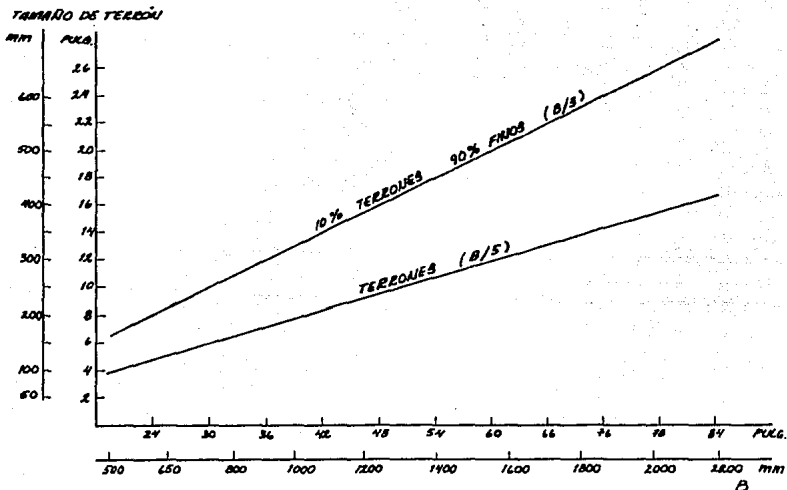


FIG. AB-2 TAMANO DE TERCION CONTRA ANCHO DE BANDA

CONDICION DE LA BANDA	POLEA DESLUBERTA	POLEA CUBIERTA
SECA	0.5	0.6
LIGERAMENTE HÚMEDA	0.2	0.4
HÚMEDA	0.1	0.4
HÚMEDA Y SUCIA	0.05	0.2

TABLA AB-3 FACTOR DE FRICCION f

TIPO DE CONDUCCION	ANGULO DE AGARRE θ	TELAS DE GRANULADA		TELAS DE FORMILLO	
		POLEA DESHUMIDA	POLEA CUBIERTA	POLEA DESHUMIDA	POLEA CUBIERTA
PLANA	180°	0.84	0.50	1.2	0.8
CON POLEA DE ARCO	200°	0.72	0.42	1.0	0.7
	210°	0.66	0.38	1.0	0.7
	220°	0.62	0.35	0.9	0.6
	240°	0.54	0.30	0.8	0.6
DOBLE	380°	0.23	0.11	0.5	0.3
	420°	0.18	0.08	-	-

TABLA AB-4 FACTOR DE ARROLLAMIENTO k

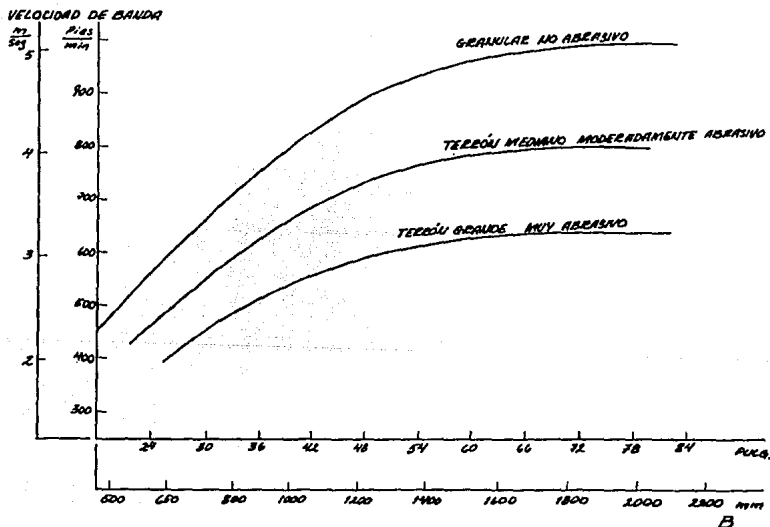


FIG. AB-5 VELOCIDAD DE BANDA RECOMENDADA CONTRA ANCHO DE BANDA

TABLA AB-6 : ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

ANCHO DE BANDA (PULG.)	ÁNGULO DE SOBRECARGA					
	0°	5°	10°	15°	20°	25°
CANAL 20°						
24	0.174	0.189	0.204	0.218	0.231	0.244
30	0.285	0.301	0.316	0.331	0.344	0.357
36	0.423	0.438	0.453	0.467	0.480	0.493
42	0.589	0.604	0.619	0.633	0.646	0.659
48	0.782	0.800	0.817	0.834	0.850	0.866
54	1.003	1.023	1.043	1.062	1.081	1.099
60	1.250	1.272	1.294	1.315	1.336	1.356
66	1.525	1.549	1.573	1.596	1.619	1.641
72	1.826	1.852	1.877	1.901	1.925	1.948
CANAL 35°						
24	0.178	0.194	0.209	0.224	0.238	0.252
30	0.285	0.301	0.316	0.331	0.344	0.357
36	0.426	0.441	0.456	0.470	0.484	0.497
42	0.590	0.605	0.620	0.634	0.648	0.661
48	0.783	0.800	0.817	0.834	0.850	0.866
54	1.004	1.024	1.044	1.063	1.082	1.101
60	1.251	1.273	1.295	1.316	1.337	1.357
66	1.530	1.554	1.578	1.601	1.624	1.646
72	1.832	1.858	1.883	1.907	1.931	1.954
CANAL 45°						
24	0.327	0.355	0.383	0.411	0.440	0.470
30	0.536	0.560	0.585	0.611	0.636	0.661
36	0.735	0.760	0.785	0.810	0.835	0.860
42	1.106	1.134	1.162	1.190	1.217	1.245
48	1.467	1.496	1.525	1.553	1.581	1.609
54	1.877	1.906	1.935	1.963	1.991	2.019
60	2.347	2.376	2.404	2.432	2.460	2.488
66	2.885	2.914	2.942	2.970	3.000	3.028
72	3.493	3.522	3.550	3.578	3.606	3.634

TABLA AB-7







FLUIDEZ - ÁNGULO DE SOBRECARGA - ÁNGULO DE REPOSO					
FLUJO MUY LIBRE 1	FLUJO LIBRE 2	FLUJO MEDIO 3		FLUJO LENTO 4	PERFIL SOBRE BANDA PLANA
ÁNGULO DE SOBRECARGA 5°	10°	20°	25°	30°	ÁNGULO DE SOBRECARGA α
					
ÁNGULO DE REPOSO - 0°-20°	20°-30°	30°-35°	35°-40°	40° O MÁS	OTROS ÁNGULOS DE REPOSO
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL					
TAMANO UNIFORME, MUY PEQUEÑO PARTÍCULAS REDONDAS, ENTES MUY HÚMEDAS Y MUY SECAS: ARENA, SILICA SECA, CEMENTO, CONCRETO HÚMEDO, ETC.	REDONDEADAS, PARTÍCULAS TIERNAS SECAS, DE PESO MEDIO, TAL COMO GRANOS Y FENOLO	IRREGULAR, GRANULAR O TERROÑOS DE PESO MEDIO, TAL COMO: SEMILLA DE ALGODÓN, ARELLA	MATERIALES COMUNES TÍPICOS	IRREGULAR, FIBROSO	PUEDA INCLUIR CUALQUIERA CARACTERÍSTICA SEGUN LA DESIGNACIÓN 1

TABLA AB-B: % DE TENSION T_1 (TRANSP. INCLUIDOS)

ELEVACION H (PIES)	CABEZA MOTRIZ (POLEA DE CABEZA)	POLEA DE COLA MOTRIZ
1 - 24	0 %	0 %
25 - 49	0	5
50 - 74	0	10
75 - 99	0	15
100 - 124	5	20
125 - 149	8	25
150 - 174	12	30
175 - 200	15	35

AB-9 : FACTORES DE LONGITUD L Y Lc

METROS	PIES	METROS	PIES	METROS	PIES	METROS	PIES
7.6	25.3	25	82.3	175.3	575	481	3881.0
15.2	49.7	50	164.0	181.9	598.7	600	1988.2
22.9	72.7	75	238.0	198.5	651.8	625	2059.1
30.5	97.8	100	328.1	198.1	651.1	650	2126.7
38.1	124.0	125	394.2	205.7	681.2	675	2201.0
45.7	150.2	150	491.8	218.4	712.4	700	2281.2
53.3	174.4	175	559.9	222.0	728.6	725	2361.4
61.0	198.6	200	628.0	228.6	750.8	750	2441.7
68.6	222.8	225	700.0	234.2	768.0	775	2521.9
76.2	247.0	250	772.1	243.8	792.2	800	2602.2
83.8	271.2	275	844.2	251.5	816.4	825	2682.4
91.4	295.4	300	916.3	257.1	832.6	850	2762.6
99.1	319.6	325	988.4	264.7	856.8	875	2842.8
106.7	343.8	350	1060.5	274.3	881.0	900	2923.0
114.3	368.0	375	1132.6	281.9	905.2	925	3003.2
121.9	392.2	400	1204.7	289.6	929.4	950	3083.4
129.5	416.4	425	1276.8	297.2	953.6	975	3163.6
137.2	440.6	450	1348.9	304.8	977.8	1000	3243.8
144.8	464.8	475	1421.0	312.4	1002.0	1025	3324.0
152.4	489.0	500	1493.1	320.0	1026.2	1050	3404.2
160.0	513.2	525	1565.2	327.6	1050.4	1075	3484.4
167.6	537.4	550	1637.3	335.2	1074.6	1100	3564.6

AB-10 : CAPACIDAD DE CARGA

ANCHO DE LA BANDA cm	PESO DEL MATERIAL Kg/m ³	CAPACIDAD EN TOMAS DADAS MIENTRAS POR HORA													
		VELOCIDAD DE LA BANDA m/min													
		16.2	30.5	46.7	61.0	76.2	91.0	106.7	121.9	137.2	152.4	167.6	182.9	198.1	213.4
30.4	560	3.4	7.3	11	15	18	22								
	800	5.4	11	16	21	24	28								
	1200	8	15	24	32	37	43								
	1600	11	21	32	42	48	53								
	2400	15	28	41	53	58	65								
46.7	560	9	17	26	35	44	52	61	69						
	800	13	25	37	49	62	74	86	99						
	1200	18	33	48	64	81	97	111	128						
	1600	25	49	70	93	113	140	172	197						
	2400	31	62	91	123	154	185	218	249						
61.0	560	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160				
	800	23	45	69	92	114	137	160	183	206	229				
	1200	35	67	103	137	171	206	240	283	318	348				
	1600	45	82	123	163	207	249	288	342	392	428				
	2400	57	114	171	229	286	343	400	468	512	557				
76.2	560	26	53	78	104	131	157	182	209	235	261	287	313	339	366
	800	37	74	112	149	186	223	261	298	336	373	410	447	485	522
	1200	53	112	167	223	279	335	391	447	503	558	617	671	726	786
	1600	74	149	223	293	363	433	504	574	644	714	784	854	924	993
	2400	112	223	336	449	558	671	785	894	1007	1116	1229	1343	1451	1566
91.0	560	39	78	117	156	195	235	273	313	352	391	430	467	508	549
	800	56	112	168	223	279	335	391	447	503	558	617	671	726	786
	1200	83	168	253	338	423	508	593	678	763	848	931	1017	1099	1185
	1600	112	223	336	449	558	671	785	894	1007	1116	1229	1343	1451	1566
	2400	148	285	503	671	839	1007	1175	1343	1506	1678	1842	2009	2177	2345
106.6	560	45	111	166	221	277	332	387	442	497	553	608	662	721	776
	800	69	138	207	276	346	416	485	554	623	692	761	830	899	968
	1200	119	237	356	474	594	712	830	948	1066	1183	1301	1419	1537	1656
	1600	158	316	474	632	790	948	1107	1264	1421	1578	1733	1889	2045	2201
	2400	237	474	712	948	1186	1424	1660	1896	2132	2368	2604	2840	3076	3312
121.0	560	76	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	898	975	1052
	800	109	217	325	428	532	634	737	839	942	1040	1139	1238	1338	1437
	1200	161	321	481	641	803	964	1125	1285	1446	1606	1767	1927	2087	2250
	1600	214	426	639	852	1065	1278	1491	1704	1917	2130	2343	2556	2769	2982
	2400	321	644	966	1288	1609	1928	2245	2562	2879	3196	3513	3830	4147	4500
137.0	560	98	197	295	394	493	590	689	789	888	984	1084	1179	1279	1379
	800	147	294	441	588	735	884	1032	1180	1328	1476	1624	1772	1920	2069
	1200	210	422	635	848	1062	1276	1491	1706	1921	2136	2351	2566	2781	2996
	1600	281	562	844	1125	1406	1687	1968	2250	2531	2812	3093	3374	3655	3937
	2400	351	703	1052	1406	1760	2114	2468	2822	3176	3530	3884	4238	4592	4947
162.4	560	126	251	377	503	630	753	880	1007	1134	1261	1388	1515	1643	1760
	800	180	359	540	717	898	1080	1262	1443	1624	1806	1987	2168	2349	2530
	1200	269	537	807	1080	1353	1625	1898	2171	2444	2717	2990	3263	3536	3809
	1600	359	717	1080	1443	1716	2000	2284	2568	2852	3136	3420	3704	3988	4272
	2400	499	998	1497	1996	2495	2994	3493	3992	4491	4990	5489	5988	6487	6986

AB-11 : PESO DE LAS PARTES MÓVILES (G) Kg/m (lb/100)

ANCHO DE LA BANDA cm (PULGADAS)	DE TRANSPORTADORES PARA SERVICIO LIVIANO, USANDO RODILLOS DE 10 cm (4")	DE TRANSPORTADORES PARA SERVICIO EQUI- LÍBRICO, USANDO RODILLOS DE 12.7 cm (5")	DE TRANSPORTADORES PARA SERVICIO EQUI- LÍBRICO, RODILLOS DE 15 cm (6") BANDAS HASTA DE 6 CAPAS	DE TRANSPORTADORES PARA SERVICIO PESADO, BANDAS DE 7 A 10 CAPAS, USANDO RODILLOS DE 15.2 cm ó 12.8 cm (6" ó 7")
35.6 (14)	18 (12)	21 (14)		
40.6 (16)	21 (14)	22 (15)	30 (20)	
45.7 (18)	22 (16)	25 (17)	33 (22)	
50.8 (20)	24 (16)	27 (18)	37 (25)	
61.0 (24)	28 (19)	36 (24)	45 (30)	48 (32)
76.2 (30)	37 (26)	46 (31)	57 (38)	67 (45)
91.4 (36)	43 (29)	55 (37)	70 (47)	86 (58)
106.7 (42)	51 (34)	64 (43)	82 (55)	106 (71)
121.9 (48)		71 (48)	95 (64)	125 (84)
137.0 (54)			107 (72)	145 (97)
152.3 (60)			120 (81)	164 (110)
			146 (97)	200 (135)

TABLA AC-1

CAPACITY OF FLIGHT CHAIN CONVEYORS

Speed, 100 ft. per min. Depth, 6 in. Weight, 50 lbs. per cu. ft.

Trough Width, inches	Capacity, tons per hour
10½	4.5
13	6
16	7.5
20	9.5

TABLA AC-2

CAPACITY AND SIZE OF LUMBER HANDLED BY FLIGHT CONVEYORS

Flight Width and Depth, inches	Amount of Material per Foot of Conveyor, cubic feet	Approximate Capacity for 50-Lb. Material at 100 Ft. per Min., ¹ tons per hour	Lump Size, inches exceeding of total volume ²	
			Single Strand	Double Strand
12 by 6	0.10	60	3½	4
15 by 6	0.19	73	4½	5
18 by 6	0.56	81	6	6
24 by 8	1.16	174	...	10
30 by 10	1.60	210	...	14
36 by 12	2.40	390	...	16

¹If this conveyor is inclined, multiply the horizontal capacity by 0.90 for 20°, by 0.80 for 25°, by 0.70 for 30°, by 0.50 for 35°. ²Free-flowing materials give maximum load capacity.

TABLA AC-3

MAXIMUM LOADS AND STRESSES FOR FLIGHT CONVEYORS

Lump Size, inches	Maximum Size of Lump		Approx. Stress (lb.)		
	Un-sized	Sized	9	11	12
12	6	4	100	110	120
15	8	5	120	130	140
18	10	6	140	150	160
24	14	8	180	190	200
30	18	10	220	230	240
36	24	12	260	270	280

TABLA AC-4 FACTOR DE FRICCION f_d PARA CADENA DESLIZABLE

CADENA SOBRE CARRIL DE ACERO SIN LUBRICAR	0.3 - 0.5
CADENA SOBRE CARRIL DE ACERO LUBRICADO	0.1
CADENA SOBRE MADERA DURA	0.5
CADENA SOBRE PLÁSTICO	0.2 - 0.3
CADENA SOBRE POLIETILANO ULTRA DURO	0.15 - 0.2

TABLA AC-5

CAPACIDAD DE HORizontAL APRON CONVEYORS AND FLIDERS AT 20 FT. PER MIN. WITH MATERIAL WEIGHING 50 LB. PER CU. FT. AND SIZE OF Lumps PERMISSIBLE:

Width of Apron or Flider Slats, inches	Depth of Material on Apron, inches	Capacity at 20 Ft. per Min., tons per hour	Lumps ^a Avg. Max. inches
24	12	45	4 6
24	12	56	6 8
24	16	70	6 10
24	12	68	8 12
24	18	102	8 14
36	12	70	8 14
36	21	158	10 18
48	12	90	8 18
48	21	180	12 21
60	12	113	12 18
60	21	225	15 28

^a Lumps of irregular shape assumed.

TABLA AE-1

Performance of Various Bulk Hopper Types

Type	Bulk	Resistance to Bulk Flow	Total Strength	Flexibility
Cotton-Wayss	Excellent	Excellent	Excellent	Good
Art-Cotton	Excellent	Good	Good	Good
Art-Wayss	Good	Good	Excellent	Excellent
Art-Metall	Good	Excellent	Excellent	Excellent

TABLA AE-2

Performance of Hoppers for Vertical Centrifugal Elevators

Lead alloy diameter (in.)	11	12
	Material (Coarse, lump)	Material (Fine, lumps, such as grains)
	Speed (ft/min)	Speed (ft/min)
21	250	330
33	27	160
36	320	370
42	350	410
46	375	450
54	400	490
60	425	520
66	450	540
72	475	570

TABLA AE-3

Vertical Centrifugal Disc Hopper Elevators

Hopper Spacing	Size, by Width	Speed, feet per minute	Max. Lumps		Capacity in Tons per Hour		
			All 10"	10"	25-Lb.	50-Lb.	100-Lb.
13	6 x 1	225	1 1/2	2 1/2	5	7	11
16	8 x 5	230	3 1/2	3	9	13	27
16	10 x 6	230	1	3 1/2	10	23	47
18	12 x 7	268	1 1/2	4	27	38	77
18	11 x 7	268	1 1/2	4	32	46	92
21	16 x 8	262	1 1/2	4 1/2	41	63	127

TABLA AE-4

BUCK ETYPES

Centering, set in size (1 per 100) recommended speed, and pulley diameters.

Head Pulley Diameter, inches	High Speed, with Fine Thread for use M. resins (Guns, Dry Seal, etc.) feet per minute	Machine Speed, for Cast, Strong, Emboss, Coated, etc. feet per minute
18	270	220
20	285	230
21	315	240
30	355	240
36	360	320
42	420	350
48	465	375
60	525	425
84	630	615

TABLA AE-5

MAXIMUM LOADS AND CAPACITIES

Bucket Spacing, inches	Size, Length by Width	Speed, feet per minute	Maximum Loads		Capacity in Tons per Hour		
			All Loads	10" Loads	35-Lb. Material	50-Lb. Material	100-Lb. Material
14	6" x 4"	225	1	2 1/2	5	7	1
16	8" x 5"	258	2 1/2	5	11	15	9
18	10" x 6"	258	4	10	18	26	12
18	12" x 7"	298	5 1/2	14	30	42	18
18	14" x 7"	298	7 1/2	18	36	52	20
18	16" x 8"	298	10 1/2	25	55	77	32

TABLA AE-6

PERCENTAGES OF SLACK-TIME TENSION TO DRY POWER TENSION

180° arc of contact

Pulley Condition	Bare Pulley		Lagged Pulley	
	Dry	Wet	Dry	Wet
Clean	100%	85%	100%	80%
One end, no slack on 1	80-90%	80-120%	80-100%	80-160%
One end, no slack, etc.	100-130%	120-170%	120-170%	100-170%
Slip on end	80-160%	80-120%	60-100%	60-100%

TABLA AE-7

MAXIMUM TENSIONS PER PLY-FOUR

28 oz.	21 lb. per ply-in.
32 oz.	27 lb. per ply-in.
36 oz.	30 lb. per ply-in.
35 oz.	32 lb. per ply-in. (hard woven)

TABLA AM-1

Tipo de Suelo	Diámetro nominal, milímetros	Porcentaje de Suelo que Pasa por el Tamiz								
		20	40	60	75	100	150	200	300	425
Suelo fino (S)	0.075	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0.150	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Suelo intermedio (SI)	0.425	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0.750	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Suelo grueso (SG)	2.000	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4.750	100	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLA AM-1 (CONTINUACIÓN)

Tipo de Suelo	Diámetro nominal, milímetros	Porcentaje de Suelo que Pasa por el Tamiz								
		20	40	60	75	100	150	200	300	425
Suelo fino (S)	0.075	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0.150	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Suelo intermedio (SI)	0.425	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	0.750	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Suelo grueso (SG)	2.000	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4.750	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tamaño nominal de tamiz de acuerdo con ASTM D 4751-90

SI = Suelo Intermedio

S = Suelo Fino

SG = Suelo Grueso

Capacity (lb)	Capacity (kg)	Capacity (lb)	Capacity (kg)
1000	454	1000	454
1500	681	1500	681
2000	908	2000	908
2500	1135	2500	1135
3000	1362	3000	1362
3500	1589	3500	1589
4000	1816	4000	1816
4500	2043	4500	2043
5000	2270	5000	2270
5500	2497	5500	2497
6000	2724	6000	2724
6500	2951	6500	2951
7000	3178	7000	3178
7500	3405	7500	3405
8000	3632	8000	3632
8500	3859	8500	3859
9000	4086	9000	4086
9500	4313	9500	4313
10000	4540	10000	4540

FIG. AM-3 SELECTION NOMOGRAM FOR A TWO BUCKET BALANCED SKEIP HOIST SYSTEM

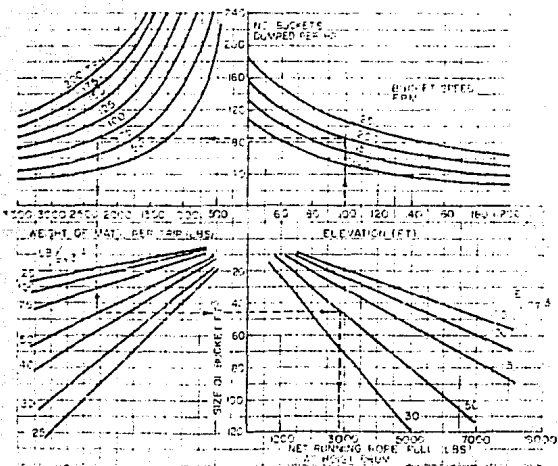


TABLA AA-1

CARRIAGE CAPACITIES IN TONS PER HOUR FOR CONTINUOUS TRAMWAY

Size of Car, cubic feet	Car Spacing, feet	Line Speed									
		400 ft. per min.		450 ft. per min.		500 ft. per min.		550 ft. per min.		600 ft. per min.	
		Material		Material		Material		Material		Material	
		50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.
10	250	21	41	27	47	31	52	33	57	36	62
	200	30	52	34	59	38	65	41	71	45	78
	150	40	69	45	75	50	86	55	95	59	103
	100	61	103	68	117	75	129	81	143	90	155
20	250	48	82	54	94	60	103	66	113	72	124
	200	60	103	68	116	75	129	83	143	90	155
	150	80	138	90	155	100	172	110	190	120	206
	100	120	204	135	232	150	258	165	284	180	310
40	250	96	165	105	186	120	206	132	227	144	248
	200	120	204	136	238	150	258	165	284	180	310
	150	160	274	187	310	200	341	220	378	240	412
	100	240	412	279	464	300	519	320	566	360	620
60	250	144	248	162	276	180	310	198	340	216	372
	200	180	310	204	348	225	387	248	420	270	464
	150	240	412	270	464	300	516	330	567	360	620
	100	360	618	405	696	450	774	480	850	540	930
80	250	192	330	216	372	240	412	264	454	288	495
	200	240	412	270	464	300	516	330	567	360	620
	150	320	550	360	620	400	683	440	732	480	821
	100	480	825	540	930	600	1020	660	1124	720	1230

TABLA AA-2

CARRIAGE CAPACITIES IN TONS PER HOUR FOR TWO-CAR SHUTTLES

Size of Car, cubic feet	Car Speed, feet per minute	Haulage Distance											
		1000 ft.		1500 ft.		2000 ft.		2500 ft.		3000 ft.		3500 ft.	
		Material		Material		Material		Material		Material		Material	
		50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.	50 lb.	85 lb.
60	1000	80	138	56	96	42	72	34	58	20	50	25	43
	1200	94	162	65	114	40	84	40	70	34	58	27	50
	1400	106	182	75	129	38	100	46	79	39	67	34	58
	1600	120	206	84	145	36	113	54	92	41	76	39	67
80	1000	107	184	74	127	56	96	46	79	38	65	33	57
	1200	125	215	87	150	65	114	54	93	45	77	39	67
	1400	143	246	99	170	77	133	62	107	51	88	44	78
	1600	160	275	111	191	88	152	72	124	60	103	52	90
100	1000	134	228	93	160	71	122	57	98	48	85	41	71
	1200	156	258	109	187	82	143	67	115	56	96	48	85
	1400	178	287	124	212	97	166	78	131	64	110	55	95
	1600	200	314	140	239	109	188	89	154	75	129	65	111
120	1000	160	275	112	192	84	144	68	117	50	98	50	86
	1200	188	324	131	225	99	170	80	138	68	117	59	102
	1400	214	368	150	258	116	199	91	160	78	131	67	115
	1600	240	412	168	288	130	226	107	184	90	155	78	134
140	1000	187	322	129	222	99	170	80	138	67	115	56	100
	1200	219	376	151	260	116	199	94	162	79	136	68	117
	1400	251	431	173	297	135	232	107	184	90	155	78	134
	1600	280	485	196	338	153	263	125	214	105	182	91	156
160	1000	214	368	148	254	112	192	92	167	76	131	66	113
	1200	251	431	174	298	134	228	108	187	89	154	78	134
	1400	287	491	198	340	155	266	125	216	104	178	96	155
	1600	320	550	225	388	175	308	143	246	120	206	104	178

TABLA TSFA-1 FACTOR C_{F1}

PASO	DESCRIPCION	C_{F1}
ESTANDAR	PASO: DIÁMETRO DEL TORILLO	1.00
CORTO	= 2/3 DIAM. DE TORILLO	1.50
MEDIO	= 1/2 " "	2.00
LARGO	= 1/2 " "	0.67

TABLA TSFA-2 FACTOR C_{F2}

FACTOR DE CAPACIDAD PARA TRANSPORTADORES DE HÉLICE ESPECIAL

TIPO DE HÉLICE	CARGA	% DE AEA	
	15%	30%	48%
HÉLICE CORTANTE	1.95	1.57	1.43
HÉLICE CORTANTE Y DOBLADA	-	3.75	2.54
HÉLICE TIPO LISTÓN	1.04	1.37	1.62

TABLA TSFA-3 FACTOR C_{F3}

FACTOR DE CAPACIDAD PARA TRANSPORTADORES CON PALETAS MEZCLADORAS

PALETAS ESTANDAR A 45° EN CONTRAFUJO	PALETAS POR PASO				
	NINGUNA	1	2	3	4
FACTOR C_{F3}	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

TABLA TSFA-5

Screw Conveyor Capacities

TABLA TSFA-4

Screw Conveyor Maximum Lump Size.

Screw Diameter Inches	Pipe O.D. Inches	Radial Clearance Inches	10% lumps Ratio R = 1.75 Max. lump, inch	25% lumps Ratio R = 2.5 Max. lump, inch	95% lumps Ratio R = 4.5 Max. lump, inch
6	2 3/8	2 5/16	1 1/4	3/4	1/2
9	2 3/8	3 13/16	2 1/4	1 1/2	3/4
9	2 7/8	3 9/16	2 1/4	1 1/2	3/4
12	2 7/8	5 1/16	2 3/4	2	1
12	3 1/2	4 3/4	2 3/4	2	1
12	4	4 1/2	2 3/4	2	1
14	3 1/2	5 3/4	3 1/4	2 1/2	1 1/4
14	4	5 1/2	3 1/4	2 1/2	1 1/4
16	4	6 1/2	3 3/4	2 3/4	1 1/2
16	4 1/2	6 1/4	3 3/4	2 3/4	1 1/2
18	4	7 1/2	4 1/4	3	1 3/4
18	4 1/2	7 1/4	4 1/4	3	1 3/4
20	4	8 1/2	4 3/4	3 1/2	2
20	4 1/2	8 1/4	4 3/4	3 1/2	2
24	4 1/2	10 1/4	6	3 3/4	2 1/2

Based on DIN 15261, the limiting lump sizes are:

mm	mm	mm	mm
100	35	10	5
125	40	15	10
160	45	20	15
200	50	30	20
250	60	40	25
315	75	50	30
400	100	65	40
500	125	80	50
630	150	100	65
800	175	150	85

Cemg 30-40 Less Lump	Degree of Trough Loading	Screw D-1 Inch	Maximum RPM *	Capacity, Tons Per Hour	
				At Max RPM	At 1/2 RPM
1.15	15°	6	16	0.65	2.2
1.25		8	15	1.0	3.2
1.35		11	15	1.5	4.8
1.45		14	15	2.0	6.4
1.55		18	15	2.5	8.0
1.65		23	15	3.0	9.6
1.75		28	15	3.5	11.2
1.85		35	15	4.0	12.8
1.95		42	15	4.5	14.4
2.05		50	15	5.0	16.0
1.35	Non-Abrasive Materials 30°	6	15	1.0	3.2
1.45		8	14	1.5	4.8
1.55		11	14	2.0	6.4
1.65		14	14	2.5	8.0
1.75		18	14	3.0	9.6
1.85		23	14	3.5	11.2
1.95		28	14	4.0	12.8
2.05		35	14	4.5	14.4
2.15		42	14	5.0	16.0
2.25		50	14	5.5	17.6
1.10	Abrasive Materials 30°	6	16	0.6	2.0
1.20		8	15	0.8	2.7
1.30		11	15	1.0	3.3
1.40		14	15	1.2	4.0
1.50		18	15	1.4	4.7
1.60		23	15	1.6	5.3
1.70		28	15	1.8	6.0
1.80		35	15	2.0	6.7
1.90		42	15	2.2	7.3
2.00		50	15	2.4	8.0
1.15	15°	6	60	1.5	4.7
1.25		8	55	1.8	5.6
1.35		11	50	2.2	6.6
1.45		14	45	2.6	7.8
1.55		18	40	3.0	9.0
1.65		23	35	3.4	10.2
1.75		28	30	3.8	11.4
1.85		35	25	4.2	12.6
1.95		42	20	4.6	13.8
2.05		50	15	5.0	15.0
1.10	30°	6	45	1.0	3.0
1.20		8	40	1.2	3.6
1.30		11	35	1.4	4.2
1.40		14	30	1.6	4.8
1.50		18	25	1.8	5.4
1.60		23	20	2.0	6.0
1.70		28	15	2.2	6.6
1.80		35	10	2.4	7.2
1.90		42	8	2.6	7.8
2.00		50	6	2.8	8.4
1.15	30°	6	60	1.5	4.5
1.25		8	55	1.8	5.4
1.35		11	50	2.2	6.3
1.45		14	45	2.6	7.5
1.55		18	40	3.0	8.7
1.65		23	35	3.4	9.9
1.75		28	30	3.8	11.1
1.85		35	25	4.2	12.3
1.95		42	20	4.6	13.5
2.05		50	15	5.0	14.7

* Maximum recommended RPM

TABLA TSFA-6

Factor of Safety F_s

No. of Wires per Pitch	Factor F_s	No. of Diameter Tail Fe	Factor F_s
1	1.0	1	1.0
2	1.1	1	1.1
3	1.2	2	1.2
4	1.3	2	1.3
5	1.4	2	1.4
6	1.5	2	1.5
7	1.6	3	1.6
8	1.7	3	1.7
9	1.8	3	1.8
10	1.9	3	1.9
11	2.0	3	2.0
12	2.1	4	2.1
13	2.2	4	2.2
14	2.3	4	2.3
15	2.4	4	2.4
16	2.5	4	2.5
17	2.6	5	2.6
18	2.7	5	2.7
19	2.8	5	2.8
20	2.9	5	2.9
21	3.0	5	3.0
22	3.1	6	3.1
23	3.2	6	3.2
24	3.3	6	3.3
25	3.4	6	3.4
26	3.5	6	3.5
27	3.6	7	3.6
28	3.7	7	3.7
29	3.8	7	3.8
30	3.9	7	3.9
31	4.0	7	4.0
32	4.1	8	4.1
33	4.2	8	4.2
34	4.3	8	4.3
35	4.4	8	4.4
36	4.5	8	4.5
37	4.6	9	4.6
38	4.7	9	4.7
39	4.8	9	4.8
40	4.9	9	4.9
41	5.0	9	5.0
42	5.1	10	5.1
43	5.2	10	5.2
44	5.3	10	5.3
45	5.4	10	5.4
46	5.5	10	5.5
47	5.6	11	5.6
48	5.7	11	5.7
49	5.8	11	5.8
50	5.9	11	5.9
51	6.0	11	6.0
52	6.1	12	6.1
53	6.2	12	6.2
54	6.3	12	6.3
55	6.4	12	6.4
56	6.5	12	6.5
57	6.6	13	6.6
58	6.7	13	6.7
59	6.8	13	6.8
60	6.9	13	6.9
61	7.0	13	7.0
62	7.1	14	7.1
63	7.2	14	7.2
64	7.3	14	7.3
65	7.4	14	7.4
66	7.5	14	7.5
67	7.6	15	7.6
68	7.7	15	7.7
69	7.8	15	7.8
70	7.9	15	7.9
71	8.0	15	8.0
72	8.1	16	8.1
73	8.2	16	8.2
74	8.3	16	8.3
75	8.4	16	8.4
76	8.5	16	8.5
77	8.6	17	8.6
78	8.7	17	8.7
79	8.8	17	8.8
80	8.9	17	8.9
81	9.0	17	9.0
82	9.1	18	9.1
83	9.2	18	9.2
84	9.3	18	9.3
85	9.4	18	9.4
86	9.5	18	9.5
87	9.6	19	9.6
88	9.7	19	9.7
89	9.8	19	9.8
90	9.9	19	9.9
91	10.0	19	10.0

TABLA TSFA-7

Hanger Bearing Factor, F_b

Hanger Type	Bearing Type	Hanger Bearing Factor, F_b
Standard	Standard	1.0
Flat	Standard	1.2
Flat	Flat	1.4
Flat	Flat	1.6
Flat	Flat	1.8
Flat	Flat	2.0
Flat	Flat	2.2
Flat	Flat	2.4
Flat	Flat	2.6
Flat	Flat	2.8
Flat	Flat	3.0
Flat	Flat	3.2
Flat	Flat	3.4
Flat	Flat	3.6
Flat	Flat	3.8
Flat	Flat	4.0
Flat	Flat	4.2
Flat	Flat	4.4
Flat	Flat	4.6
Flat	Flat	4.8
Flat	Flat	5.0
Flat	Flat	5.2
Flat	Flat	5.4
Flat	Flat	5.6
Flat	Flat	5.8
Flat	Flat	6.0
Flat	Flat	6.2
Flat	Flat	6.4
Flat	Flat	6.6
Flat	Flat	6.8
Flat	Flat	7.0
Flat	Flat	7.2
Flat	Flat	7.4
Flat	Flat	7.6
Flat	Flat	7.8
Flat	Flat	8.0
Flat	Flat	8.2
Flat	Flat	8.4
Flat	Flat	8.6
Flat	Flat	8.8
Flat	Flat	9.0
Flat	Flat	9.2
Flat	Flat	9.4
Flat	Flat	9.6
Flat	Flat	9.8
Flat	Flat	10.0

TABLA TSFA-8

Flight Factor, F_f

Flight Type	F_f Factor for Per Cent Conveyor Loading			
	15	30	45	95
Standard	1.0	1.0	1.0	1.0
Flat Flight	1.10	1.15	1.20	1.3
Flat & Tilted Flight	N.R.*	1.30	1.70	2.20
Flat Flight	1.05	1.14	1.20	-

* Not Recommended

TABLA TSFA-9

Paddle Factor, F_p

Standard paddles per pitch, paddles set at 45° reverse pitch.

Number of Paddles per Pitch	0	1	2	3	4
Paddle Factor - F_p	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

TSFA-10 FACTOR DE MATERIAL F_m

TYPE OF MATERIAL	F_m
CLASS I	0.5 - 1.0
CLASS II	1 - 2
CLASS III	2 - 3
CLASS IV	3 - 4

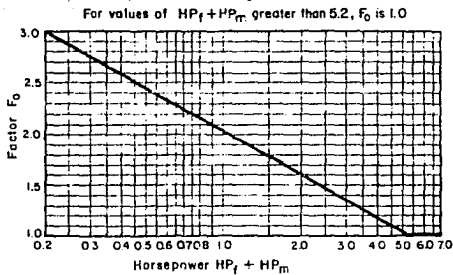


Chart For Values of Factor F_0

FIG. TSFA-11

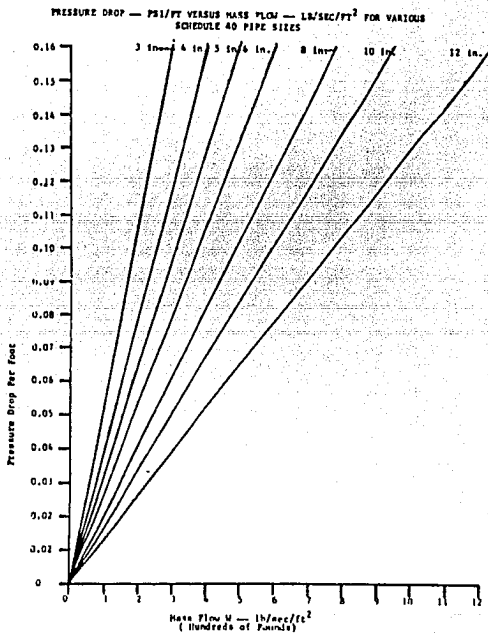


FIG. NA-1 Pressure drop, psi/ft versus mass flow, lb/sec/ft² for various Schedule 40 pipe sizes.

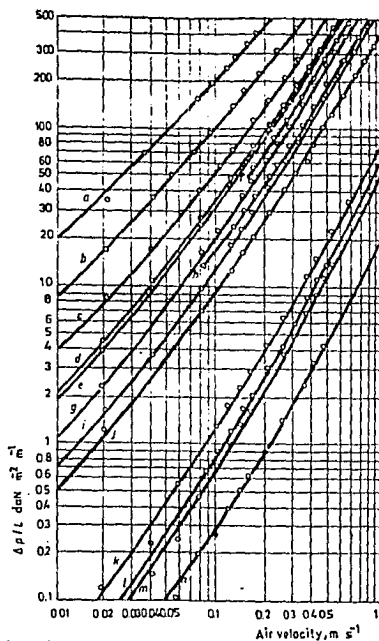


FIG. NA-2

Air resistance of crop and root tuberous products: (a) clover seed; (b) rape seed; (c) pea; (d) barley; (e) rye; (f) wheat; (g) maize; (h) vetch; (i) bean; (j) carrot; (k) carrot; (l) potato; (m) sugar beet; (n) fodder beet

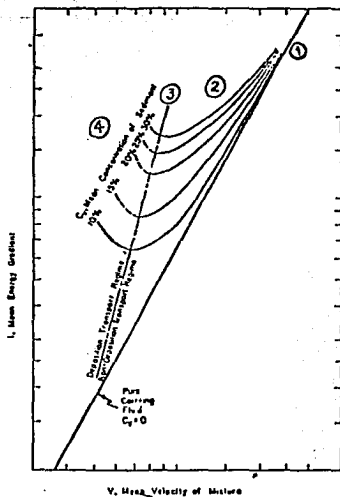


FIG. HA-1 -TYPICAL HEAD LOSS AND SEDIMENT CONCENTRATION CURVES FOR GIVEN FLUID, SEDIMENT AND PIPE SIZE

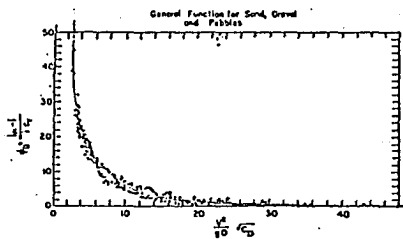


FIG. HA-2 -HEAD LOSSES IN PIPES WITH NONDEPOSIT FLOW REGIMES AFTER DURAND

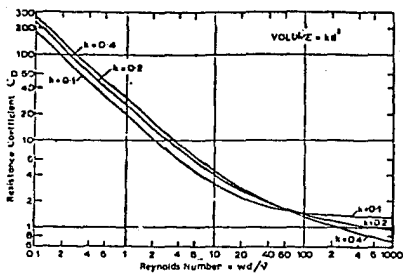


FIG. HA-3 Resistance coefficient $C_D = 8k(\rho_1 - \rho)gd/\mu \rho w^2$ plotted against Reynolds number by various shapes of particles. (By permission of the Institution of Mechanical Engineers, London.)

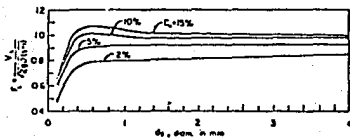


FIG. HA-4—LIMIT DEPOSIT VELOCITY FOR NONUNIFORM MATERIAL AFTER DURAND AND CONDOLIOS

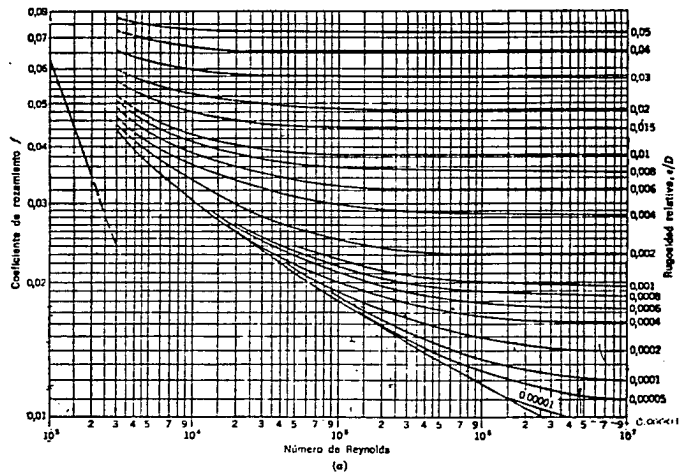


FIG. HA-5

Coefficiente de rozamiento para flujo en tuberías.

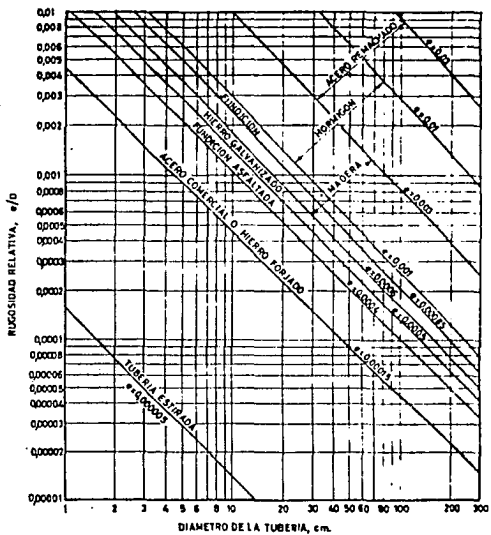


FIG. HA-6

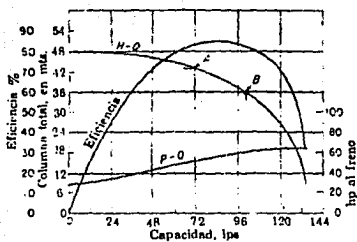


FIG. HA-7 Curvas características típicas para una bomba centrífuga.

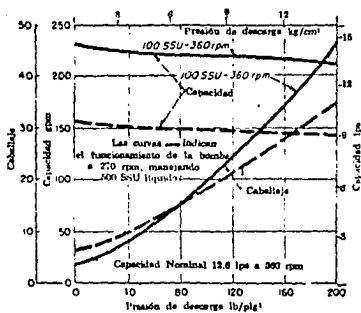


FIG. HA-8 Características de capacidad y cabalaje de una bomba de engranes internos. (Cortesía de Viking Pump Co.)

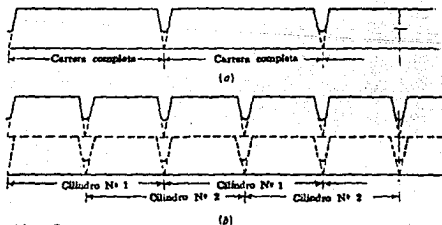


FIG. HA-9 Curvas de descarga para bombas de acción directa (a) simplex y (b) duplex.