

FACTORES QUE DEBE CONSIDERAR CUANDO SELECCIONE UN EQUIPO DE BOMBEO PARA MANIPULAR LÍQUIDOS VISCOSOS

Existen varios factores que debe considerar cuando selecciona un equipo de bombeo para manipular líquidos viscosos: 1. ¿Qué es un material viscoso? 2. Temperatura de bombeo, 3. Tamaño de la tubería de succión, 4. Tamaños de los puertos de la bomba, 5. Velocidades y capacidades reducidas de la bomba, 6. Tamaño de la tubería de descarga, 7. Espacios extras, 8. Eficiencias, 9. Selección de la bomba.

A veces es necesario considerar estos factores en detalle cuando se manipula líquidos delgados. Su importancia algunas veces se pasa por alto cuando la aplicación comprende líquidos viscosos. La negación a considerar uno o más de estos factores podría resultar en una instalación que no rinde tan bien como se esperaba, por ejemplo, baja capacidad, ruidoso, motor sobrecargado, etc.

1. ¿Qué es un material viscoso?

“Viscoso” es sólo un término relativo. Es mejor definir primero viscosidad (una propiedad medible de los líquidos), para explicar algunos de los términos y unidades usados relacionados a ello, y luego establecer el significado del término “viscoso” como se usa en Viking Pump.

La viscosidad es una medida de resistencia al movimiento entre las partículas adyacentes en un líquido; tal vez una definición más simple podría ser el decir que la viscosidad es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. Frecuentemente la viscosidad se usa para indicar lo mismo que “pegajoso”. A menudo esto es cierto, aunque no siempre. Lo pegajoso es una indicación de adhesión, la capacidad de dos superficies *diferentes* que se pegan, como la cinta adhesiva a la piel o cáscara de huevo. Por otro lado, la viscosidad es una medición de cohesión, la capacidad de que dos superficies *iguales* se peguen, como una cinta de fricción o la envoltura Saran que se pega así mismo.

La viscosidad se expresa en muchas unidades, la más común en la terminología de las bombas es Segundos Universales Saybolt (SSU) y Centipoise (Cp). SSU se usa exclusivamente en Viking para los líquidos con una viscosidad igual a o mayor que #2 aceite de combustible. El Centipoise se usa en líquidos con menor viscosidad, tales como el butano, propano y amoníaco. En Viking un líquido viscoso se define como un líquido que tiene una lectura de viscosidad de 750 SSU o mayor bajo las condiciones de una aplicación en particular.

Los factores de conversión y cuadros se muestran para las diferentes medidas de viscosidad en la página 510.6 de la sección de Ingeniería 510, del Catálogo General Viking. Las viscosidades de varios líquidos comunes se muestran en la página 510.9 y también en la lista de líquidos, Sección 520. Los Laboratorios de Metalurgia de Viking se encuentran equipados con los siguientes tipos de viscosímetros para determinar exactamente la viscosidad de la muestra de los líquidos que podrían entregarse para pruebas: Brookfiels, Saybolt Universal, Saybolt Furol y Zahan. Por lo menos una pinta de líquido se requiere para conducir una prueba precisa de viscosidad. Cuando se requiera una prueba completa de un líquido, por favor asegúrese de enviar por lo menos un cuarto de muestra, claramente etiquetada con el nombre de identificación, referencias de la empresa y tipo de pruebas requeridas. Pregunte por el formulario #876.

Al trabajar con líquidos con viscosidades en el rango de “viscoso”, tarde o temprano hallará los siguientes términos: Newtoniano, tixotrópico, dilatador, flujo laminar. Determinemos lo que estos términos significan.

Newtoniano: un líquido Newtoniano es uno que tiene viscosidad constante a una temperatura dada indiferente al ratio de corte. La mayoría de los líquidos puros y muchos de los aceites son Newtonianos. Los líquidos Newtonianos tienen una relación de línea directa cuando se grafica la viscosidad versus temperatura en el cuadro estándar ASTM de viscosidad. Los cuadros de viscosidad en la página 510.21 de la sección 510 muestran las curvas típicas de los líquidos del tipo Newtoniano.

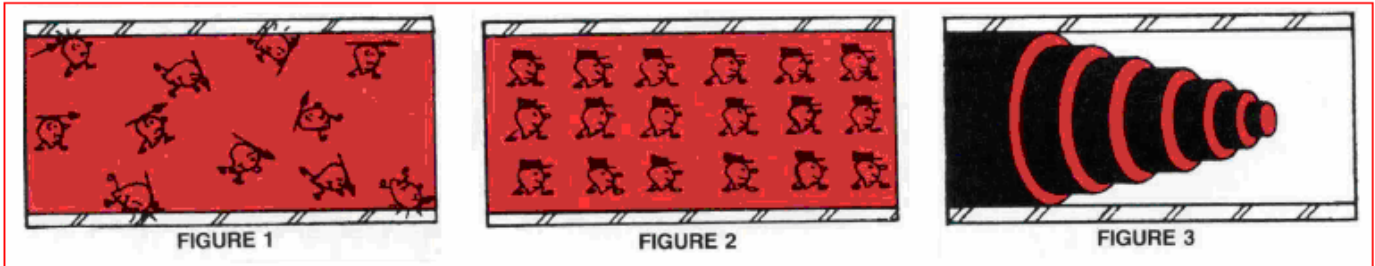
Tixotrópico: un líquido tixotrópico es uno en el que la viscosidad disminuye así como el ratio de corte incrementa. Existen relativamente pocos líquidos que tienen tendencias tixotrópicas suficientemente fuertes para ocasionar preocupación, pero aquellas no presentan problemas peculiares. Los líquidos tixotrópicos típicos son emulsiones, ciertos tipos de “cemento de jebe” industrial y el ketchup. Es una característica tixotrópica del ketchup que es difícil de iniciar, pero una vez que se ha iniciado, es difícil de parar. En otras palabras, cuanto más rápido se mueve, se hace más delgado. Los problemas especiales que incluyen el manipuleo de los líquidos tixotrópicos se revisarán durante las explicaciones de otros factores. Véase la página 12.

Dilatador: un líquido dilatador es uno en el que la viscosidad incrementa con el ratio de la tensión cortante. Esta característica es rara vez un problema en las selecciones de las bombas, pero cuando se encuentra puede ocasionar dificultades ya que el líquido llega a ser altamente viscoso dentro de la bomba. Las féculas y mezclas húmedas de arcilla muestran esta característica a un grado limitado.

Flujo laminar: muchos estudios se han llevado a cabo sobre los patrones de flujo de las partículas del líquido así como su movimiento a través de los diferentes sistemas de tuberías. Se reconocen dos patrones diferentes de flujo: (1) flujo turbulento y (2) flujo laminar.

El flujo turbulento se encuentra normalmente cuando los líquidos delgados se mueven considerablemente a altas velocidades a través del sistema. El patrón del flujo de las partículas de líquido son completamente al azar e impredecibles, véase la Figura 1. El flujo turbulento es muy difícil de encontrar con líquidos viscosos. El flujo laminar se encuentra cuando los líquidos delgados se mueven a velocidades muy bajas o cuando casi ningún material viscoso se mueve. El patrón de flujo de las partículas es una línea recta, véase la figura 2. El ratio de flujo de las partículas varía a través del diámetro de una tubería con aquellos a lo largo de las paredes moviéndose muy despacio mientras que aquellos en el centro se mueven rápidamente. Esto resulta en que podría ser una serie de anillos concéntricos del líquido moviéndose a través de una tubería, véase la figura 3.

Virtualmente todos los cálculos para las disminuciones de las presiones y pérdidas lineales para los líquidos viscosos tratarán con las cantidades del flujo laminar. Véase la Fig. 10, Sección de Ingeniería, P.510.13.

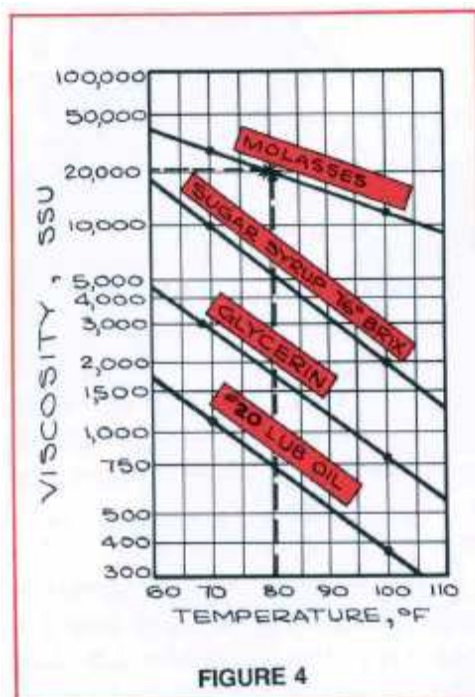


2. Temperatura de bombeo

Para explicar una aplicación que incluye un líquido viscoso sin proveer la temperatura en el que se manipulará es como llamar al doctor y decirle que tiene fiebre; él sabe que tiene un problema, pero no sabe lo serio que puede ser hasta que usted le diga la temperatura. Casi sin excepción, la viscosidad de un líquido varía inversamente a la temperatura. Si la temperatura incrementa, la viscosidad disminuye y viceversa.

Desafortunadamente, la viscosidad no varía con la temperatura en un ratio de 1 a 1; 1° de cambio en la temperatura resulta algo más que 1 SSU de cambio en la viscosidad. La cantidad de cambio de la viscosidad con la temperatura varía de líquido a líquido. La viscosidad de algunos líquidos varía tanto como 20 a 30% y 5°F. Una de las ilustraciones más dramáticas del efecto del cambio de la temperatura en la viscosidad es el incremento de viscosidad del aceite en un carro cuando el motor se enfría. Se usan aceites ligeramente o menos viscosos para los carros en el invierno de los climas fríos de tal manera que el cambio en la viscosidad no sea tan notorio cuando se encienda.

La figura 4 es una porción pequeña de un cuadro de viscosidad ASTM. Estos cuadros tienen una viscosidad en SSU mostrados en la escala vertical (log), con la temperatura en °F mostrado en la escala horizontal (lineal). Las curvas en el cuadro de viscosidad son típicas para el aceite lubricante #20, glicerina, solución de azúcar 76° Brix y melazas. Las diferentes pendientes indican los diferentes ratios de cambio en la temperatura para los diferentes líquidos. Las melazas a 80°F tienen una viscosidad de 20,000 SSU, véase la figura 4.



Es posible incrementar la temperatura de muchos líquidos, lo suficientemente alto de tal manera que sus viscosidades se encuentren por debajo o en la Porción inferior del rango del líquido viscoso. Esto es adecuado si los problemas que resulten de las temperaturas elevadas no son muy problemáticas que aquellas que resulten del manipuleo de un material altamente viscoso.

Existen muchos medios que se usan para elevar la temperatura de un cilindro o tanque de líquido al punto en donde puede manipularse mucho mejor, es decir, se reduce su viscosidad. Las espirales de vapor son una de las formas antiguas de transferir calor y todavía se usan bastante, aunque la temperatura máxima se limita normalmente a 300 – 400°F por la presión máxima de vapor que un sistema puede soportar. En los últimos años lo que se usa cada vez más son las unidades de transferencia de calor que usan un líquido de transferencia de calor como un medio transportador de calor en lugar de vapor. Estas unidades rápidamente están ganando aceptación ya que pueden usarse a temperaturas elevadas de varios cientos de grados a o cerca de las presiones atmosféricas. En ciertas aplicaciones, normalmente aquellos que incluyen pequeños volúmenes de líquido, se usan satisfactoriamente los calentadores de inmersión del tipo de resistencia eléctrica.

La locación de la fuente de calor en un cilindro o tanque es importante. La fuente de calor debe ser tan baja como sea posible en el tanque de tal manera que la circulación natural incrementará eventualmente la temperatura de todo el tanque de líquido al nivel requerido.

Ya que las ventajas de elevar la temperatura de ciertos líquidos viscosos son obvias, es necesario que la propia bomba sea capaz de que se caliente. Esto es necesario por dos razones:

Durante una detención si se permite que el líquido en la bomba se enfríe a temperaturas ambientales* naturalmente será más viscoso y se requiere de un precalentamiento. En el inicio este material altamente viscoso ocasionará que las fajas se deslicen, el disyuntor del motor golpeará, o posiblemente una parte de la bomba se malogrará. Para permitir el precalentamiento, Viking tiene tres líneas de bombas especialmente diseñadas con partes forradas. Estas líneas son las series 34, bombas de trabajo estándar con colector forrado, caja y forro del cojinete del rotor; series 225 y 4225 con un colector forrado y soporte; y las series 724 y 4724, bombas de trabajo pesado de aleación con colector forrado y caja. Estas bombas forradas son diseñadas para su uso con vapor o aceite caliente. Los límites de la temperatura y presión para los fluidos en el forro se dan en las secciones de la Bomba Forrada, de Trabajo pesado y de Aleación del Catálogo General de Viking. Las bombas pueden involucrarse con un cable de calentamiento de resistencia eléctrica o tuberías de vapor. Algunas instalaciones han usado lámparas de calor suspendidas sobre las bombas como ventaja.

Secundo, después que la bomba se ha precalentado y el sistema se encuentra operando bajo una temperatura, la fuente de calor en la bomba se deja normalmente para reducir la pérdida de calor del líquido de la bomba. La bomba, al tener las superficies metálicas expuestas, pueden por conducción, conexión y radiación disipar bastante calor. Esto podría ser un problema especialmente en un sistema con pequeño volumen de líquido o en un sistema de recirculación. Muchas veces la propia bomba se aísla para mantener bajas las pérdidas de calor. Refiérase a la Lista de Líquidos, Sección 520.21, "Sulfuro fundido".

Este mismo problema de que el líquido es más viscoso durante una detención ocurre en la tubería del sistema. El problema puede corregirse al *rastrear la tubería del sistema con una tubería pequeña de vapor, o envolver las tuberías con un cable de resistencia eléctrica.

Para eliminar el problema del calentamiento de la bomba y tuberías hasta la temperatura requerida, para eliminar la contaminación entre tandas o eliminar el líquido que se ha sedimentado o endurecido en el sistema, algunas instalaciones se encuentran equipadas de tal manera que el vapor, agua caliente o solvente pueden enjuagarse a través de las tuberías para eliminar el material viscoso. Este procedimiento algunas veces es adecuado cuando la cantidad adecuada del fluido de limpieza se encuentra disponible. Al enjuagar continuamente por largos periodos de tiempo, particularmente con vapor, se prefiere colocar un bypass alrededor de la bomba para eliminar los posibles problemas; (1) prevenir el restregar y problemas de desgaste – uso de fuerza externa alimentación de lubricación; (2) si se usa el vapor para limpiar el sistema, especialmente a través de la tubería de descarga, esto puede ocasionar que la bomba opere en reversa. Si esto ocurre la bomba actúa como una turbina lo cual hace que el equipo del mecanismo tenga velocidades muy rápidas y puede ocasionar un daño al equipo y motor. Si no se coloca un bypass en la bomba, se requiere de una provisión de tener una "detención por exceso de velocidad" en caso que la bomba actúe como una turbina y acelere el mecanismo. Refiérase a la nota de operación #7 en el TSM-000, edición C, P.8.

Cuando se requiera manipular líquidos viscosos a temperaturas sobre los 300°F, es necesario considerar materiales de construcción desde lo básico de su capacidad para soportar los efectos del

* Ambiente significa alrededor de todos los lados; por lo tanto las temperaturas ambientales son aquellas alrededor de una bomba por todos los lados. Generalmente la temperatura ambiental es equivalente a la temperatura de una sala.

* Para rastrear un sistema de tubería con una línea de vapor significa normalmente tener una tubería pequeña de vapor adjunta al sistema de tubería con el propósito de que el calor de la tubería de vapor incremente la temperatura en la tubería del sistema. A menudo ambos, la tubería del sistema y la línea de rastreo de vapor se colocarán en un forro de aislamiento común.

calor. Páginas 510.19 y 510.20 de la Sección de Ingeniería 510 proveen algunas recomendaciones muy generales para los materiales que se usan a temperaturas elevadas.

La unidad más común para la medición de la temperatura en las industrias es grados Fahrenheit. Viking usa exclusivamente Fahrenheit. Muchas plantas químicas usan grados Celsius. La conversión de Celsius a Fahrenheit es $9/5^{\circ}\text{C} + 32 = ^{\circ}\text{F}$. la diferencia es significativa, particularmente cuando se trata con líquidos viscosos.

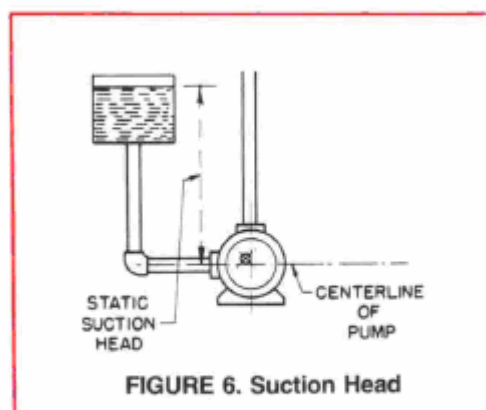
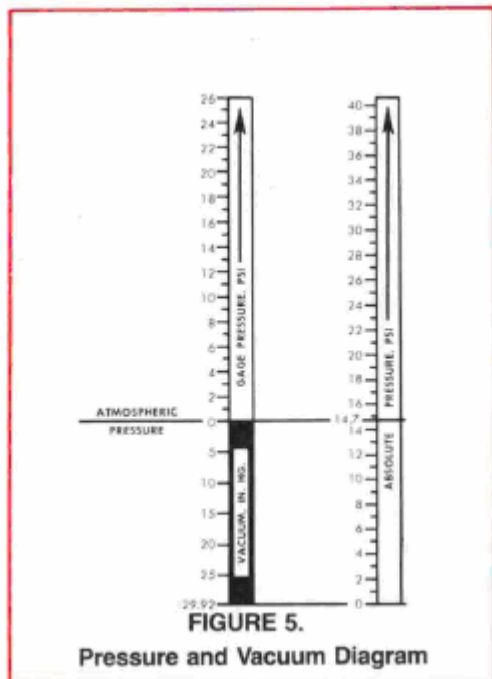
Una temperatura de 70°C (158°F). Asegúrese que la temperatura de una aplicación se exprese en grados Fahrenheit antes de considerar otros factores.

3. Tubería de succión

Hay un dicho antiguo que dice “No puedes bombear un líquido si no puedes colocarlo dentro de la bomba”. Esto es cierto para todos los líquidos pero aún más para los líquidos viscosos. Para entender los problemas incluidos en la selección del tamaño apropiado de la tubería de succión es necesario conocer lo que hace que el líquido fluya a través de la tubería y también conocer lo que resiste el flujo.

Cuando se considere el uso de una bomba en una aplicación que requiere la transferencia de un líquido viscoso, hay por lo menos tres fuentes posibles de presión disponibles para hacer que el líquido fluya desde el tanque o fuente a través de la tubería de succión hacia el puerto de succión de la bomba. Estas fuentes de presión son: presión atmosférica en la superficie del líquido, colector de succión del líquido arriba del puerto de succión de la bomba, y algunos medios mecánicos para ejercer presión en el líquido. Todas las instalaciones deben tener por lo menos una de estas fuentes de presión disponibles antes de que se mueva algún líquido hacia el puerto de succión de la bomba. Muchas de las instalaciones tendrán dos – presión atmosférica y colector de succión.

- A. **Presión Atmosférica** – La presión atmosférica en la superficie de un líquido expuesto es aproximadamente de 14.7PSI; el valor específico para una instalación dada depende de su elevación sobre el nivel del mar. Cuánto de los 14.7PSI se encuentra disponible para mover el líquido al puerto de succión, esto depende de la capacidad al vacío de la bomba. Si la bomba puede desarrollar un vacío perfecto, se encontraría disponible los 14.7PSI. Véase la figura 5 para la comparación de las diferentes presiones y escales de aspiración.
- B. **Colector de succión** – cuando sea posible en una instalación para los materiales viscosos, debe haber un colector de succión positivo de varios pies de líquido sobre la línea central de la bomba. Con el colector de succión, véase la figura 6, la cantidad de presión disponible para forzar el líquido hacia la bomba es una función de la gravedad específica del líquido y el colector en pies. Para determinar la presión en PSI multiplique la gravedad específica por el colector en pies por 0.433. por ejemplo, si hubiera una sección vertical de tubería de 10' llena de melaza con una gravedad específica de 1.42, la presión ejercida en el fondo de la tubería sería de 1.42 por 10 por 0.433 o 6.15PSI.



- C. **Medios mecánicos para ejercer presión** – en algunas aplicaciones hay taladros, transportadores, molidoras, mezcladoras o licuadoras que fuerzan el líquido a través de la tubería de succión. En las aplicaciones difíciles, la presión del aire puede llevarse arriba del líquido en un contenedor cerrado para

forzarlo a través de la tubería de succión. Cierre la presión de aire inmediatamente después que el tanque se vacíe. Sólo el aire puede acelerar la bomba, mecanismo y motor y ocasionar daños-
 Los factores que limitan la utilización completa de la presión siempre que sea uno o más de las fuentes mencionadas son: la capacidad imperfecta de vacío de la bomba, una elevación de succión, si el nivel del líquido en el tanque de suministro se encuentra por debajo de la línea central de la bomba y la pérdida de fricción de la tubería.

a) La capacidad de vacío de la bomba – De los muchos tipos de bombas disponibles, la bomba del tipo de desplazamiento positivo debido a las tolerancias cercanas de operación es una de las mejores para desarrollar el vacío. La capacidad de cualquier bomba de desplazamiento positivo depende de muchos factores. Se mejora por un incremento en la viscosidad – a un límite – y se disminuye por los espacios libres extras.

Para un buen rendimiento de una bomba normalmente se recomienda que la aspiradora en el puerto de succión de la bomba no exceda los 15”Hg. Este valor se ha seleccionado para tener en cuenta los factores indicados arriba y asegurar a los clientes de un rendimiento satisfactorio. Las bombas Viking generalmente pueden desarrollar un vacío considerablemente mayor a los 15”Hg.; así como el vacío se incrementa un punto llega por último en donde la eficiencia volumétrica se afecta adversamente. El vacío máximo en el cual la eficiencia volumétrica se puede mantener es, esencialmente, una forma de expresar el valor requerido neto del colector de succión positivo NPSHR. Para información adicional sobre MPSH refiérase al AD-6 y AD-19.

Al usar los 15”Hg indicados arriba como un vacío máximo práctico para asegurar el buen rendimiento de la bomba, entonces existe sólo 7.4PSI. (15”Hg) disponibles de la atmósfera para forzar el líquido en la bomba.

b) Elevación de la succión – si la bomba se ensambla sobre el líquido, la bomba realmente deberá “elear” el líquido hacia el puerto de succión, véase la figura 7. Parte de los 7.4PSI (15”Hg) que se encuentran disponibles por la bomba se usarán en la elevación físicamente del líquido hacia el puerto de succión. Esto reduce la cantidad de presión disponible para superar las pérdidas en la tubería. Por lo tanto, se requiere ensamblar la bomba por debajo de la fuente del líquido (véase la figura 6) de tal manera que parte de la presión disponible para mover el líquido hacia la bomba no se use en elevar físicamente el líquido.

c) Fricción de la tubería – cuando se manipule líquidos delgados, las pérdidas de la fricción de la tubería en la tubería de succión son bajas y usualmente no ocasionan ninguna dificultad. Esto no es cierto en las instalaciones que manipulan líquidos viscosos. Aquí la pérdida de la fricción de la tubería a menudo es la causa de una instalación inadecuada ya que no se ha dado una consideración apropiada. Ningún líquido fluirá a través de la tubería sin una disminución de presión así como fluye. Cuanto más viscoso es el líquido, la disminución de la presión es más grande por la misma cantidad del líquido a través del mismo diámetro y longitud de la tubería. La figura 8 muestra una porción de las “Pérdidas de Presión por la Fricción de la Tubería” tabla contenida en la Sección 510 del Catálogo General de Viking.

Para un líquido de 25 GPM, 20,000 SSU que fluye en una tubería de 2 ½”, la figura 8 muestra una caída de presión de 0.80 PSI por pie de tubería. El valor de la pérdida de presión tomada de la figura 8 siempre debe multiplicarse por la gravedad específica del líquido bombeado.

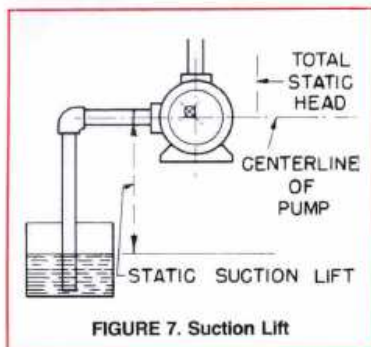


FIGURE 7. Suction Lift

G.P.M.	PIPE SIZE	LOSS IN POUNDS PER SQ. INCH PER FOOT OF PIPE†				
		VISCOSITY, S.S.U.				
		15,000	20,000	25,000	30,000	40,000
25	2½	.60	.80	1.0	1.2	1.6
	3	.25	.35	.42	.51	.70
	4	.085	.11	.14	.18	.23
	6	.016	.022	.028	.032	.043
50	2½	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2
	3	.50	.70	.85	1.0	1.4
	4	.17	.23	.29	.35	.46
	6	.033	.044	.055	.065	.086

FIGURE 8. Pressure Losses from Pipe Friction

*Multiply these values by specific gravity if other than 1.00.

†Loss based on new schedule 40 steel pipe. For old or rough pipe, add 20% to these values.

La caída de la presión para 25 GPM de 40,000 SSU de un líquido a través de una tubería de 2 ½” es de 1.6 por pie de tubería. Para el material de 20,000 SSU, fue de 0.80 PSI por pie. Por lo tanto, si la viscosidad se dobla, la caída de la presión también se duplica por la misma capacidad a través del mismo tamaño de la tubería. Revisando las figuras de pérdida de presión para 50 GPM en la figura 8, hay una pérdida de presión de 1.6 PSI por pie para 20,000 SSU un líquido a través de 2 ½” de diámetro de tubería. Esto es el doble de la pérdida de

0.80 PSI para el líquido de 25 GPM de 20,000 SSU a través de la misma tubería de 2 ½". Por lo tanto, si la capacidad se duplica, la caída de la presión se duplica para el mismo líquido viscoso a través del mismo diámetro de tubería.

Un breve estudio de las caídas de presiones para la misma capacidad y viscosidad a través de diferentes tamaños de tuberías muestra que la pérdida se reduce considerablemente para cada incremento del tamaño de la tubería. La pérdida de la presión entre dos tamaños de tubería varía inversamente al ratio de los diámetros a la cuarta potencia. Por ejemplo, el ratio de 2 ½" a la cuarta potencia sobre 4" a la cuarta potencia es 39 a 256. Este ratio multiplicado por la caída de la presión para 25 galones de un líquido de 20,000 SSU a través de una tubería de 2 ½" (0.80 PSI) es igual a 0.12 PSI lo cual se aproxima a los 0.11 PSI que se muestra en el cuadro de la figura 8 para la caída de presión de 25 GPM de un líquido de 20,000 SSU a través de una tubería de 4".

De esto puede apreciarse que al cambiar el tamaño de la tubería tiene un efecto muy importante sobre las pérdidas de presión. Al incrementar el tamaño de la tubería generalmente es más fácil y menos costoso hacerlo que tratar de reducir la viscosidad o capacidad para reducir la pérdida de la presión en una instalación dada.

Cuando se calcula la longitud de la tubería para determina la caída de la presión en una tubería, es práctica normal en Viking, cuando se encuentra presente un flujo laminar, incluir cada accesorio de la tubería y válvula compuerta como a un pie de la tubería, en lugar de usar el largo "equivalente" usado cuando se trabaja con un flujo turbulento. Esta práctica parece haber funcionado muy bien.

Para ilustrar los cálculos que se incluyen al determinar el tamaño de la tubería de succión, imagine un tanque de suministro de melaza de 10' sobre y 20' horizontalmente desde el puerto de succión de la bomba. Desde este tanque de melaza (Sp. Gr. 1.42) debe bombearse en la proporción de 25 GPM a una temperatura de 80°F (20,000 SSU). Al figurar la presión que se encuentra disponible para llevar la melaza a la bomba, hay 7.4PSI (15"Hg) de capacidad de vacío de la bomba más el colector de succión el cual es 10' de melaza o un equivalente de 6.15 PSI. Esto da una presión total disponible de 13.55PSI. El largo total de la tubería de 30' incluye un espacio para un codo y una válvula. Para determinar el tamaño apropiado de la tubería de succión, divida el largo total de la tubería (30') entre la presión disponible para llevar el líquido a la bomba (13.55 PSI). La caída permitida resultante de presión por pie de la tubería es de 0.45 PSI. En la figura 8, una tubería de 2 ½" tiene una pérdida de presión por pie de 0.80 PSI por la gravedad específica de 1.42 o una pérdida de presión de 1.14 PSI por pie, lo cual se considera en exceso de los permitido de 0.45PSI. El siguiente tamaño más grande de la tubería (3") tiene una pérdida de presión por pie de 0.35 PSI por 1.42 o 0.50 PSI el cual todavía se encuentra sobre los 0.45 disponibles. Por lo tanto, el tamaño recomendado para la tubería de succión para esta instalación debería ser 4". Podría usarse el de 3", pero el de 4" proveerá una mejor instalación con respecto al rendimiento y duración de desgaste, además permite el incremento de la viscosidad sin ningún problema.

4. Tamaños de los puertos

Para las aplicaciones que comprenden líquidos delgados, siempre se recomienda que el tamaño de la tubería de succión sea la misma que el tamaño del puerto en la bomba. De alguna manera lo opuesto de esto es cierto para el manipuleo del líquido viscoso. Muchas de las veces las condiciones de succión indicarán el tamaño de la tubería más grande que el tamaño del puerto de la bomba. Se prefiere incrementar el tamaño del puerto de la bomba igual que el de la tubería de succión o por lo menos que sea tan cercano como sea posible. Para las bombas de trabajo pesado de Viking tiene muchas cajas disponibles con puertos con bridas más grandes que el tamaño estándar de los modelos catalogados. Estas cajas se enumeran en el Catálogo General página P600.3. Generalmente ambos puertos en las cajas especiales se han hecho de una medida mayor de tal manera que no exista restricción en el uso de la caja en cuanto a dirección de la rotación de la bomba o con respecto a la locación del puerto de succión.

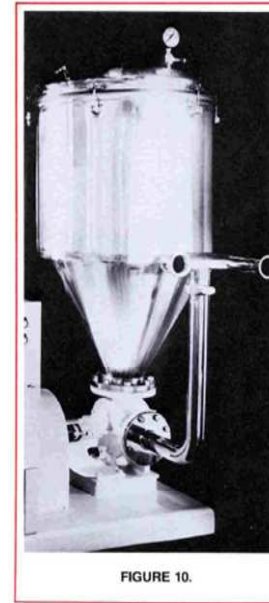
Los puertos más grandes no sólo eliminan la necesidad de un accesorio de reducción en la bomba y eliminan la restricción en el puerto, pero también proveen un flujo más suave después que el líquido llega a la bomba y mejor llenado del espacio de los dientes dentro de la bomba. Algunas veces cuando la tubería de succión es sólo un tamaño más grande que las bridas de la caja estándar, es posible tapar una brida de acompañamiento de un tamaño más grande para aceptar la tubería de succión. Esto permite el uso de una tubería más larga de succión con una caja de bridas estándar sin instalar un accesorio de reducción.

Para los líquidos tales como las grasas frías que tienen tendencia a sedimentarse en las restricciones, se prefieren cajas de puertos más grandes en lugar de las bridas de acompañamiento tapadas de un tamaño más grande.



La figura 9. Muestra un bomba "N" (nominal 600 GPM a 350RPM) con un puerto de succión de 14" y un puerto de descarga de 4". Esta preparación inusual pero altamente exitosa muestra las modificaciones que algunas veces son necesarias para llevar el líquido a la bomba apropiadamente. En esta bomba en particular el colector también es especial y toma ventaja del diámetro incrementado del puerto de succión y permite más carga de los dientes

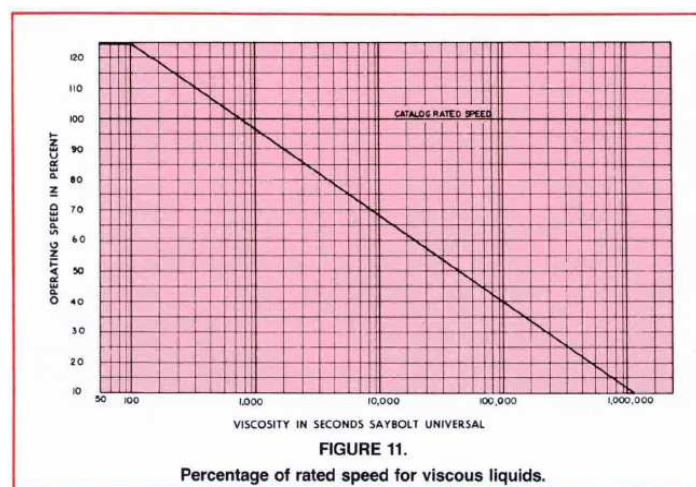
La figura 10. Muestra una bomba con puertos más grandes. Una tolva que puede presurizarse se ensambla en la parte superior del puerto de succión. Esta preparación especial pero exitosa se requiere por la naturaleza inusual del material bombeado.



5. Velocidades y capacidades reducidas de la bomba

Hay una resistencia al flujo en un líquido después que ingresa a la bomba así como hay una cuando el líquido fluye a través de la tubería de succión. Así como esta resistencia interna fluye en el líquido se hace más grande (debido al incremento en la viscosidad), el líquido se mueve más lento. Por esto hay una velocidad de la bomba arriba en donde un líquido dado no fluirá lo suficientemente rápido para llenar los vacíos entre el rotor y los dientes del engranaje aún cuando en la separación de los engranajes de la bomba se desarrolla un vacío casi perfecto. Cuando los vacíos entre los dientes no se llenan completamente, la eficiencia volumétrica (ratio de capacidad entregado a la capacidad que podría entregarse si los vacíos del diente se encontraran llenos) empieza a caer. Esto también ocasiona que la bomba sea ruidosa y resulte en un desgaste indebido de la bomba.

Los datos recolectados de extensivas pruebas de laboratorio proveen una información definitiva con respecto a la velocidad en el que la eficiencia volumétrica inicia a caer rápidamente. De estas pruebas la curva mostrada en la figura 11 se grafica. Esta curva muestra un porcentaje de la velocidad operativa versus la viscosidad en SSU. Las variaciones entre los tamaños de las bombas y modelos debido a las diferentes velocidades periféricas bajo clasificaciones nominales, diferentes puertos, diferentes largos de dientes, etc., naturalmente ocasionan alguna desviación desde la curva de línea recta para las bombas individuales. Sin embargo para el uso general, la curva es una guía excelente.



La bomba Viking, siendo de un diseño de desplazamiento positivo, entrega una capacidad en ratio casi directo a la velocidad. Ya que es necesario reducir la velocidad para mantener la eficiencia volumétrica cuando se manipula los líquidos viscosos, la capacidad de una bomba dada se encontrará por debajo de su clasificación

nominal. Por lo tanto, una bomba, más grande que la que se usa normalmente para los líquidos delgados se requiere cuando se manipula líquidos viscosos. La Sección de Ingeniería 510 del Catálogo general tiene un Diagrama de Selección de Tamaños de Bombas, figura 9, que muestra el tamaño apropiado de la bomba que debe usarse para las diferentes capacidades y viscosidades. La figura 12 muestra una porción de un diagrama similar. Para la melaza de 25GPM y 30,000 SSU bombeado en una aplicación típica se indica el tamaño "K" (véase la intersección de las líneas respunteadas). Nótese que la intersección de las líneas respunteadas se encuentra en la porción del diagrama indicando que la bomba debe ser "Suministrada de Acero". Una bomba "Suministrada de Acero" tiene un rotor de acero como se compara con un rotor de hierro fundido en una bomba "Suministrada Estándar". El rotor de acero reduce la posibilidad de que los dientes del rotor se rompan lo que se experimenta algunas veces cuando se manipula los líquidos viscosos con un rotor de hierro.

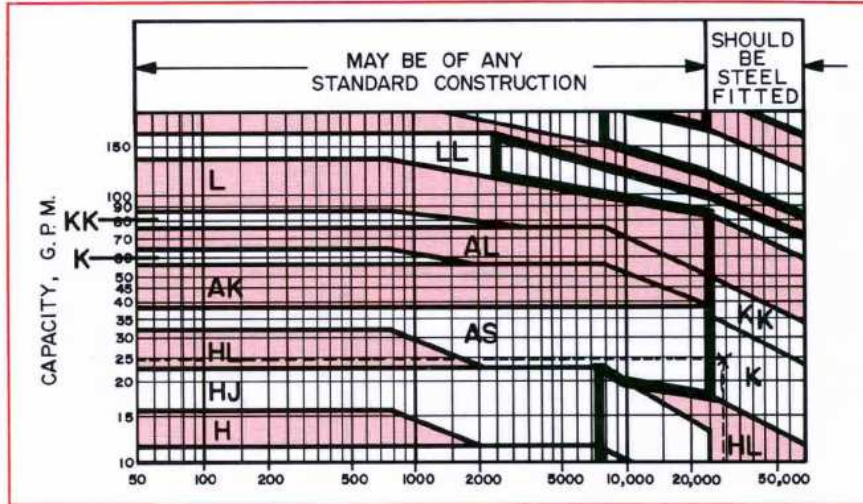


FIGURE 12. Pump Size Selection Diagram

6. Tubería de descarga

La fuente para el desarrollo de la presión para forzar el líquido a través de una tubería de descarga es, por supuesto, la propia bomba. Existen limitaciones en las presiones que los diferentes modelos de las bombas pueden desarrollar y todavía proveen una duración aceptable de servicio. Si un modelo dado de bomba se prefiere por alguna razón, por ejemplo, (1) ya se encuentra disponible, (2) es como un modelo que ya se encuentra en servicio en algún lugar de la locación, o (3) experiencia favorable con modelos similares en aplicaciones parecidas, etc., esto automáticamente determinará la cantidad de presión que se encuentra disponible. Si ciertos tamaños de tuberías ya se encuentran disponibles o hay espacio en una prima, el tamaño de la tubería de descarga podrá determinarse por circunstancia y deberá seleccionarse una bomba que desarrolle la presión requerida por el sistema.

Los factores principales que ocasionan la presión que la bomba debe desarrollar son (1) elevación y (2) pérdida de fricción de la tubería. La presión se requiere para desarrollar la velocidad principal, pero con ratios bajos de flujos usados en el flujo laminar o viscoso, este requerimiento de presión es muy pequeño y normalmente no se considera.

- A. **Elevación** – la elevación como se usa acá significa lo que normalmente significa – un cambio en altura. Generalmente, aunque no siempre, el extremo de la tubería de descarga en el punto en donde el líquido se entrega se encuentra sobre el nivel del puerto de descarga de la bomba. Este cambio en altura se expresa en pies. Este valor en pies se multiplica por la gravedad específica del líquido bombeado y dará un equivalente en pies de agua. Los pies de agua por el factor de conversión 0.433 dará el espacio de elevación en PSI. Esto se refiere comúnmente al "Espacio de Descarga Estática". Se refiere a la estática ya que esta presión existiría en la bomba aún cuando no hay líquido. Hay aplicaciones en donde el punto de descarga se encuentra por debajo del nivel de los puertos de la bomba. Los ejemplos podrían ser en transferencia o descarga de un material viscoso que no podría fluir o descargar por sí mismo en cantidades suficientes que sea prácticas, o una instalación en donde el flujo debe medirse. En este tipo de aplicación la elevación o espacio estático se resta de la presión que la bomba debe desarrollar para superar la fricción.
- B. **Fricción de la tubería** – la pérdida de fricción de la tubería se ha explicado en detalle bajo el Factor 3, Tubería de Succión. Véase la figura 8. Al determinar la pérdida de la fricción de la tubería para la tubería de descarga, calcule el largo total de la línea sin tener en cuenta ya sea que la tubería es horizontal o vertical (incluye ambos tendidos hacia arriba y abajo). La pérdida de la fricción de la tubería es independiente al arreglo de la tubería ya que depende completamente del largo de la tubería, tamaño de la tubería, capacidad y viscosidad. Los accesorios generalmente se descartan cuando se calcula la longitud de la tubería, ya que para el flujo laminar la pérdida a través de un accesorio es bajo. La práctica previa en Viking ha sido agregar un pie de tubería por cada accesorio o válvula de compuerta. Para una instalación con un número inusual de codos, válvulas de bola, etc., se tomaron consideraciones adicionales a la

pérdida a través de los accesorios, pero para una instalación normal la adición de un pie de tubería por accesorio ha funcionado muy bien.

Para ilustrar los cálculos incluidos al determinar el tamaño apropiado de la tubería de descarga, considere la aplicación típica que incluye el bombeo de 25GPM de melaza de 20,000 SSU con gravedad específica de 1.42. Asuma que la bomba se instala en el sótano y que el extremo abierto de la tubería de descarga se encuentra en el tercer piso arriba. La elevación del puerto de descarga de la bomba es de 100.0'; la elevación del extremo de la tubería de descarga es a 150.0'. La diferencia en la elevación es de 50'. Los 50' verticales provee un espacio estático de 50×1.42 (Sp.Gr.) $\times .433$ o 31 PSI. Esta es la presión que la bomba debería tener para desarrollar sin considerar el ratio del flujo.

La tubería de descarga (véase el dibujo de instalación, figura 13) incluye la porción vertical de 50' indicada antes más los 45' de tendido horizontal. El largo de la tubería para determinar la pérdida de fricción es 50' vertical, 445' horizontal más 1' por cada uno de los tres codos y dos válvulas para un total de 100'. La pérdida de fricción de la tubería en PSI pro pie de la tubería (véase la figura 8) para 25GPM de un líquido de 20,000 SSU con Sp.gr de 1,0 es de .80 para la tubería de 2 1/2", .35 para 3" y .11 para la tubería de 4". Tomando en consideración la gravedad específica de 1.42, estas cantidades de pérdidas llegan a ser 1.14PSI por pie para las tuberías de 2 1/2", .50 para 3" y .16 para la tubería de 4". La presión total en la bomba incluye el espacio estático (31PSI) y la pérdida de fricción de la tubería. La presión de la bomba que usa una tubería de descarga de 2 1/2" es de 145PSO, usando la tubería de 3" 81PSI, y usando la de 4" es de 49PSI. La figura 14 muestra en una forma de cuadro cómo se determina estas cantidades.

Estas cantidades muestran que si una bomba tenía un límite de presión de 100PSI, sería necesario usar por lo menos una tubería de descarga de 3". También muestran la presión que la bomba desarrollaría si el tamaño de la bomba se predeterminaría por alguna razón.

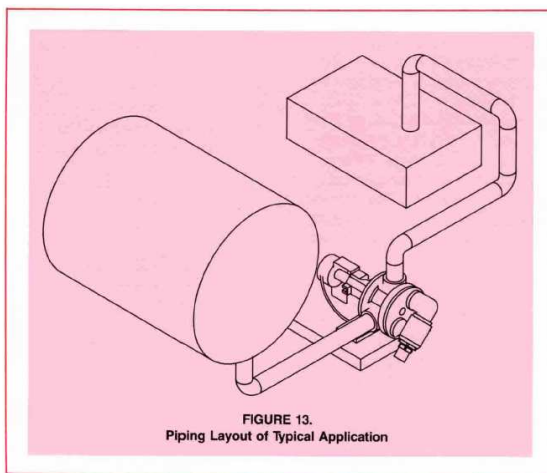


FIGURE 13.
Piping Layout of Typical Application

Las consideraciones diferentes a los límites de la presión de la bomba o tubería que ya se encuentran disponibles a menudo se toman en cuenta cuando se selecciona la tubería de descarga. En la figura 14, un incremento del tamaño de la tubería reduce la presión que la bomba debe desarrollar por un porcentaje bastante significativo. Los caballos de fuerza requeridos por una bomba es una función de la presión desarrollada. El poder suministrado por un motor eléctrico es una indicación de la electricidad usada. Por lo tanto, la presión de descarga tiene un gasto directo en el gasto operativo de la unidad de bombeo. Los ahorros en los gastos operativos resultantes del uso de tuberías más largas comparadas a la inversión extra en el material e instalación a menudo regirán el tamaño de la tubería que debe usarse.

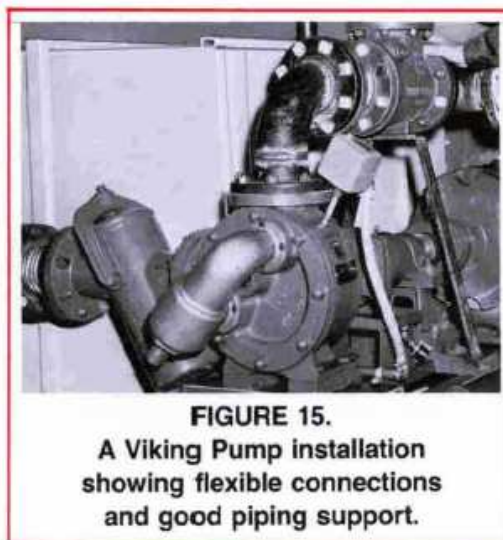
PIPE SIZE	P.S.I.				Total Pressure At Pump Discharge (C + D)
	(A) Loss Per Foot of Pipe S.G. 1.0"	(B) Loss Per Foot of Pipe S.G. 1.42	(C) Loss Per 100' of Pipe (B x 100)	(D) Static Head	
2 1/2"	0.80	1.14	114	31	145
3"	0.35	0.50	50	31	81
4"	0.11	0.16	16	31	49

FIGURE 14. Pump Discharge Pressure Using Different Pipe Sizes.

El ratio de desgaste o de duración de servicio de la bomba también es una función de la presión de descarga. La comparación del costo de mantenimiento y producción perdida entre los dos sistemas que operan con diferentes presiones debido al tamaño diferente de la tubería de descarga también, frecuentemente indicarán la selección del tamaño de la tubería de descarga.

Además de lo que se indica arriba, hay un número de factores misceláneos relacionados con la tubería de descarga que deben indicarse.

Cuando una tubería de descarga tiene una válvula de cierre, debe realizar algunas provisiones para proteger la bomba. Las bombas de desplazamiento positivo formarán presión inmediatamente si la línea de descarga se apaga. Esta presión *deberá* liberarse por medio de una válvula de escape en la bomba o en la tubería, o por algún equipo activado por presión que apague el suministro de energía o desconecte el mecanismo desde la bomba. Al usar una válvula de escape o un equipo automático de cierre, ya no hay peligro de dañar la bomba o equipo del mecanismo.



Las tuberías en ambos lados de la bomba deben estar bien apoyadas. Ya que la tubería de descarga es mucho más larga que la tubería de succión y algunas veces no tiene la oportunidad de drenar, es muy importante que se encuentre bien apoyada. Los soportes deben colocarse de tal manera que no se imponga una tensión en la caja de la bomba. Una de las mejores maneras de asegurarse que no se transmita tensión a la caja de la bomba por medio de la tubería de descarga es instalando una conexión flexible o largo de tubería flexible en el puerto de descarga. Los soportes deben ser adecuados no sólo para soportar la propia tubería, pero también el líquido que se encuentra en la tubería. La figura 15 muestra una instalación con una conexión flexible y buen soporte.

Cuando manipule los líquidos que se calientan para reducir la viscosidad, es importante recordar que las tuberías se enfriarán a temperatura ambiente cuando se detenga la bomba. Esto incrementará la viscosidad del líquido que queda en las tuberías. Es posible que la viscosidad se incremente a un punto en donde no pueda iniciarse el movimiento del líquido nuevamente. Si el sistema se encuentra equipado con una válvula de escape de presión, la bomba puede desarrollar la presión suficiente para abrir la válvula antes de que el flujo se inicie en la tubería. El problema del enfriamiento del líquido en la tubería puede superarse de muchas maneras: enjuague las tuberías al término del ciclo de la operación, caliente las tuberías de tal manera que la temperatura en ellos pueda regularse, permita que el sistema opere continuamente, e incline las tuberías para que drenen.

Con un espacio vertical de líquido de cualquier altura apreciable en el lado de la descarga de la bomba, es posible que durante las detenciones el líquido se filtre a través de la bomba o fluya hacia atrás. Esto puede ocasionar problemas y apuros si la tubería de la succión se deja abierta y el líquido termina en donde no se espera. Esta condición puede eliminarse al instalar una válvula de cierre o válvula de anti regreso en el sistema cerca a la bomba.

Casi todas las bombas de trabajo pesado de Viking tienen agujeros para los medidores de presión en los puertos de succión y descarga. Se recomienda instalar los medidores en estas aberturas de tal manera que se revisen las condiciones normales de operación y cualquier desviación de las condiciones normales operativas podrá revisarse y corregirse, o por lo menos tener conocimiento de ello.

Al seleccionar la locación de las unidades bombeo para manipular los líquidos viscosos, siempre es necesario recordar que es más fácil “empujar” el líquido a través de la tubería de descarga que “jalarlo” a través de la tubería de succión.

7. Espacios extras

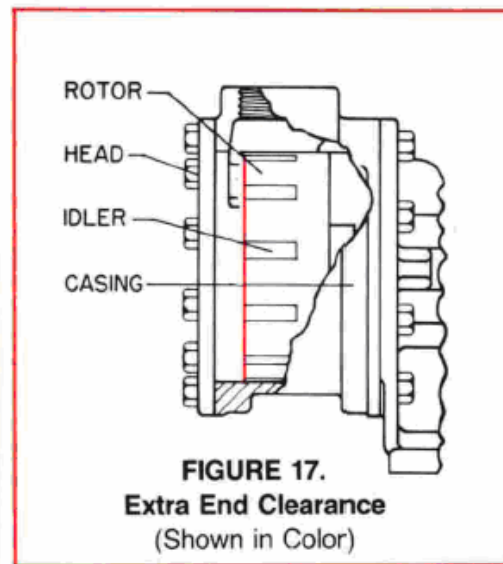
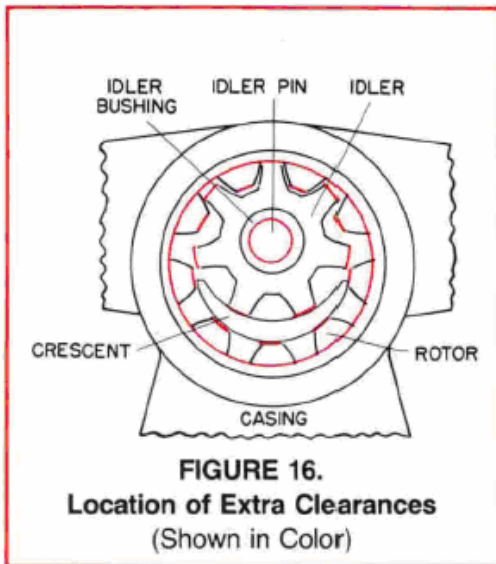
Justo después que las bombas Viking se desarrollaran y comercializaran en 1991, llegó a ser obvio que era beneficioso cuando se trataba con ciertos tipos de aplicaciones tener espacios mayores que los normales entre

las partes con movimiento relativo. Las bombas tienen menor desgaste. Los requerimientos de los caballos de fuerza cuando se manipula los líquidos viscosos se redujeron.

Una buena parte de la energía requerida por la bomba que manipula los líquidos viscosos se usa para cortar la película del líquido entre las superficies con movimiento relativo. Al tener mayores espacios entre estas superficies, dentro de la razón, se requería menor cantidad de energía para cortar la película del líquido. Los espacios extras para los líquidos altamente viscosos ayudan a proveer una operación ligera de la bomba. También, los espacios adicionales permiten una pequeña cantidad de sólidos finos que pasen a través de la bomba sin un daño significativo.

Para establecer y promover consistencia en los espacios extras requeridos para la temperatura y viscosidad, los estándares de Viking Pump de los espacios extras se desarrollaron para la bomba de mecanismo interno. Estos espacios extras se agregaron a las dimensiones básicas.

Cuando se considere un espacio extra deberá considerarse para cinco superficies diferentes. Estas superficies son (1) diámetro exterior y (2) diámetro interior del rotor, (3) diámetro exterior del engranaje y (4) diámetro interior de los cojinetes (engranaje y caja, forro del cojinete del rotor o soporte) y (5) entre los extremos de las partes. Véase las figuras 16 y 17.



El espacio extra en el diámetro exterior del rotor incrementa el espacio de operación entre el diámetro interior de la caja y el diámetro exterior del rotor; el espacio extra en el diámetro interior del rotor incrementa los espacios entre el diámetro exterior del creciente y el diámetro interior del rotor; el espacio extra en el diámetro externo del engranaje incrementa el espacio entre el diámetro interno del creciente y el diámetro externo del engranaje; el espacio extra en el diámetro interno de los cojinetes incrementa el espacio de operación entre el pin del engranaje o el eje y el diámetro interno del cojinete; el espacio extra del extremo incrementa el espacio de operación entre los extremos de los dientes del rotor y cabeza, entre la cara y cabeza del engranaje, cara del engranaje y la cara del rotor y entre el extremo del creciente y la cara del rotor. Por lo tanto, los espacios extra agregados a las cinco superficies listadas arriba proporcionan espacio adicional de operación entre todas las partes que tienen un movimiento relativo.

Para determinar el valor actual de los espacios extras que deben usarse con una viscosidad dada, una serie de pruebas de rendimiento se llevaron a cabo con los factores constantes con excepción de los espacios extras. Los espacios extras se agregaron en pequeños incrementos a las cinco superficies en las relaciones que se indican arriba hasta que hubo una caída evidente en la eficiencia volumétrica.

El espacio extra en este punto se consideró óptimo para la viscosidad ya que se redujeron los caballos de fuerza para el beneficio de los espacios pero la capacidad no fue afectada materialmente.

La continuación de las pruebas de rendimiento establecieron espacios extras óptimos sobre el rango de viscosidades desde el 750 SSU a 2,000,000 SSU. Para hacer mejor uso de estos datos y mantener su aplicación a las partes de la bomba actual, se establecieron ocho conjuntos de espacios para cubrir el rango completo de los tamaños de las bombas y viscosidades. Con el espacio extra en el diámetro exterior del rotor como la base, el rango de ocho juegos desde el mínimo .000" al máximo de .040".

Para una bomba de tamaño K que manipula 25 GPM de melaza de 30,000 SSU, el espacio extra sería de: .010 diámetro exterior del rotor, .015 diámetro interior del rotor, .008 diámetro exterior del engranaje, .004 diámetro interior del cojinete del engranaje, .002 diámetro interior del cojinete de soporte, .010 espacio extra de extremo. Cuando manipule un líquido tixotrópico (Véase Tixotrópico bajo el factor 1) se puede usar a menudo menor espacio que lo que la viscosidad aparente podría indicar ya que el líquido tiene una tendencia de "adelgazar" cuando se fuerza entre las partes de cierre de la bomba.

Los espacios extras, mientras que se usan principalmente para las aplicaciones que manipula los líquidos viscosos, también han probado ser beneficios en las bombas de aleaciones para reducir la tendencia de rozaduras de los metales de altas aleaciones y en las bombas que se usan en temperaturas elevadas para compensar la diferencia en el ratio de expansión de las partes de la bomba.

8. Eficiencias

Las bombas Viking cuando manipula líquidos viscosos normalmente reducen su velocidad a una que les permite desarrollar una eficiencia volumétrica del 90% o más. Esto se explicó bajo el factor 5, Velocidades y Capacidades reducidas de la Bomba. La explicación de aquí se limitará a la eficiencia mecánica – el ratio de los caballos de fuerza hidráulico para frenar los caballos de fuerza –

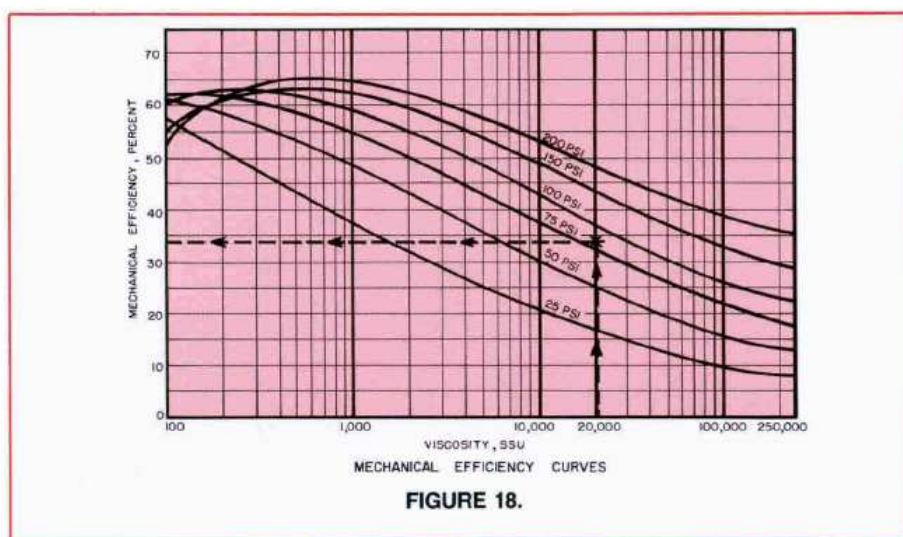
$$\frac{(\text{psi} \times \text{GPM})}{1715}$$

(la energía para manejar la bomba).

Bajo el factor 7, Espacios Extras, se explicó la necesidad de energía para cortar la película del líquido. Esta energía permanece virtualmente constante para una aplicación dada sin considerar la presión de descarga de la presión. Por lo tanto una bomba es relativamente ineficiente a presiones bajas de descarga por la energía requerida para cortar la película del líquido en comparación a la energía requerida para desarrollar la presión en el líquido. Así como incrementa la presión de la descarga la eficiencia mecánica incrementa. Véase la figura 18.

Por lo que la energía “desperdiciada” usada para cortar la película del líquido incrementa como la viscosidad del líquido incrementa, es fácil de ver que la eficiencia de una bomba disminuye para un conjunto dado de condiciones así como incrementa la viscosidad.

La figura 18 muestra un conjunto de curvas graficadas en porcentaje versus la viscosidad en SSU para las diferentes presiones. Las curvas claramente ilustran cómo la eficiencia mejora cuando la presión incrementa y cómo la eficiencia cae cuando la viscosidad incrementa. De la figura 183, nótese que la bomba “KK” usada en la aplicación típica (20,000 SSU a 80psi) tendría una eficiencia de aproximadamente 34%. Las curvas en la figura 18 son muy generales. Una mejor forma y exacta de determinar la eficiencia y caballos de fuerza es usar las curvas de rendimiento de la bomba que se encuentran en el Catálogo General. (Resultados reales de las pruebas de I&D).



9. Selección de la bomba

La sección 510 (Sección de Datos de Ingeniería) del Catálogo General de Viking incluye una parte titulada “Selección de la bomba correcta de Viking en 10 Pasos fáciles”. Debe seguir estos pasos cuando seleccione una bomba para cualquier aplicación. Muchos de los factores explicados aquí en AD’3 son elaboraciones de varios puntos en los “10 pasos fáciles” teniendo una atención especial en las aplicaciones de líquidos viscosos. Además de los “10 pasos fáciles” y los factores explicados aquí en el AD-3, hay varias consideraciones adicionales que deben revisarse para asegurar la mejor selección posible de la bomba para la aplicación del líquido viscosos. Estas consideraciones pueden incluir: (1) Ciclo de operación. ¿La bomba operará continuamente, 8 horas al día o sólo un trabajo de transferencia ocasional? (2) Presión de sistema, ¿El sistema se encuentra bajo un vacío alto o presión alta? (3) El tipo de la válvula de escape. ¿Interna, retorno al tanque o en línea? (4) Sellado de eje. Empaquetadura, sello mecánico u otro. (5) naturaleza del líquido. Abrasivo, sucio, no soporta la contaminación, debe moverse lento, etc. (6) la locación del puerto y tipo. Horizontal, vertical, tapado, con bridas u otro (7) Mecanismo. Motor eléctrico, motor de gasolina u otro.

Las dos páginas de la sección del catálogo general son una Hoja de Datos de Aplicación. Esta hoja de datos de aplicación completada y revisada conjuntamente con los “10 pasos fáciles”, las explicaciones en este AD-3 y la experiencia personal permitirá que un empleado de Viking lo ayude a realizar una buena selección de la bomba para la aplicación del líquido viscoso.