

# **Universidad Nacional de Ingenieria**

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA  
DE PETROLEO Y PETROQUIMICA**



## **“ Uso del Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal en la Actividad Petroquímica y Petrolera ”**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO PETROQUIMICO**

**SAMUEL TRUJILLO COLAN**

**PROMOCION : 1979 - 2**

**LIMA • PERU • 1984**

" USO DEL SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL EN LA  
ACTIVIDAD PETROQUIMICA Y PETROLERA "

<u>I N D I C E</u>		<u>Pág. N°</u>
<u>Capítulo - I -</u>	<u>Introducción.-----</u>	1
<u>Capítulo - II -</u>	<u>Descripción de un Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal-- Típico.-----</u>	11
<u>Capítulo - III -</u>	<u>Usos del Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal en la Actividad Petroquímica.--</u>	25
<u>Capítulo - IV -</u>	<u>Usos del Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal en la Industria del Petróleo.-</u>	42
<u>Capítulo - V -</u>	<u>Estimado de las Ventajas Econó- micas que podrían lograrse em- pleando el Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal.-----</u>	76
	<u>Gráficos y Figuras</u>	

\* \* \* \* \*

" USO DEL SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL EN LA  
ACTIVIDAD PETROQUIMICA Y PETROLERA "

CAPITULO I - INTRODUCCION

En el presente estudio se tratará de desarrollar brevemente el empleo de los separadores de sólidos - centrífugos horizontales en las actividades petroquímicas y petrolera. Los separadores centrífugos en general tienen numerosas aplicaciones dentro de la industria, pero sus usos - son poco conocidos.

En general a los separadores centrífugos - se les emplea para la separación de dos fases. Estas pueden ser sólido-líquido o bien líquido-líquido. Las condiciones que se requieren para su empleo son que las dos fases - sean no miscibles y que además exista una diferencia de densi- dad entre ambas fases. El principio de funcionamiento está basado en la aplicación de la fuerza centrífuga.

Al respecto podemos decir que un cuerpo en movimiento tiende a continuar su trayectoria en la misma di- rección en la que comenzó. Si es forzado a cambiar de di- rección, por ejemplo para seguir un camino curvado, se resis-

te al cambio y ejerce una fuerza contraria a aquella que la obliga a salir de la línea recta. Esta fuerza que es aplicada hacia afuera partiendo del centro de curvatura, es llamada fuerza centrífuga.

Si una mezcla de agua, aceite y arena es introducida en un cilindro sellado y a su vez este es puesto en reposo absoluto, la fuerza de gravedad actuante en la muestra, hará que la arena se asiente en el fondo, el agua formará una capa sobre la arena y el aceite formará otra capa sobre el agua. Esta separación ocurre puesto que cada uno de los materiales tiene diferente gravedad específica. Si el mismo cilindro, conteniendo la misma mezcla, es rotado rápidamente en un eje horizontal, se desarrollará una fuerza centrífuga perpendicular al eje. La arena formará un anillo sobre la pared del cilindro, el agua formará un anillo intermedio y el aceite formará un anillo interior sobre los anteriores. Nuevamente, la gravedad específica de los materiales determinará la posición de los anillos.

Lo importante de esta experiencia es la demostración de que aplicando la fuerza centrífuga (muchas veces la fuerza de gravedad), hace posible una separación más

completa de los materiales en la mezcla y una reducción del tiempo de separación a una simple fracción del tiempo requerido para el mismo proceso aplicando la fuerza de gravedad.

En muchas aplicaciones industriales, la diferencia entre las gravedades específicas de los materiales involucrados es muy pequeña. El tiempo de separación - en este caso será afectado notablemente por la forma, tamaño y las características físicas de los sólidos; la viscosidad del líquido y otros factores más. Una alta fuerza centrífuga provee una buena eficiencia y una separación económica aún cuando la separación por cualquier otro método es prácticamente imposible. La sedimentación por gravedad es impráctica y lenta; la sedimentación por centrifugación es prácticamente instantánea. Una aceleración de miles de veces la gravedad de la tierra y cortas distancias de asentamiento hacen el proceso muy eficiente.

Hay dos clases importantes de centrífugas de sedimentación, el separador de sólidos centrífugo horizontal y la centrífuga de discos. Esta última puede procesar suspensiones con un bajo contenido de sólidos cuyo tamaño no sobrepase 1mm. de diámetro. El separador de sólidos centrí

fugo horizontal puede procesar soluciones con un contenido de sólidos que va de 0.5% a más de 60% y su diámetro puede ser de hasta media pulgada. Ambos modelos pueden ser provistos de un sistema de descarga automática de sólidos. Incluso pueden ser acondicionados para el tratamiento de sistemas de tres fases: 1 sólida y dos líquidas.

Como se ha especificado las aplicaciones del separador de sólidos centrífugo horizontal cubre un vasto número de usos prácticos en la industria. La versatilidad de este separador se aplica no solo al tipo de suspensión que trata, sino incluso al modo con que lo hace. Para optimizar la performance pueden elegirse configuraciones y componentes alternativos de acuerdo al propósito de la operación. La operación a realizarse puede requerir: clarificación, que es la remoción máxima de sólidos del líquido (incluso aplicable cuando el objetivo es un alto rendimiento de sólidos); concentración, que es la máxima remoción de líquido de los sólidos y clasificación de las partículas de sólidos en dos fracciones, gruesos y finos. Un separador centrífugo horizontal es una máquina de precisión. Cuando se opera bajo condiciones aceptables, se puede esperar un tiempo de vida útil de 20 años o más. La combinación de

baja depreciación, buena performance, bajo costo de instalación y bajo costo de operación dan como resultado que el equipo de un buen retorno a la inversión cuando se hace un análisis de inversiones.

Un separador de sólidos centrífugo horizontal es más liviano y más compacto que un equipo de filtración de igual capacidad. Esto representa un ahorro de espacio de construcción y así mismo no es necesario construir anclajes pesados. Las conexiones de alimentación y descarga son completamente cerradas y nada complicadas. No existe el riesgo de derrames, atoros o evaporaciones.

El separador de sólidos centrífugo horizontal descarga ambas fases por separado continuamente, por ende la producción no tendrá que detenerse para proceder a un desatoro o limpieza. Normalmente un separador puede operar sin mayor atención, incluso en los casos en los que el volumen y/o la concentración de la alimentación son susceptibles a variación.

Los controles y la instrumentación pueden ser instalados fácilmente en un panel de control central. Estos equipos son generalmente instalados como com-

ponentes de una línea de procesamiento completamente automatizado. Todas estas características contribuyen a que el equipo requiera una atención muy superficial para su operación.

Los factores que tienen mayor significado al determinar la efectividad del equipo serían:

- La fuerza centrífuga
- La longitud del rotor
- La turbulencia interna debido al diseño hidrodinámico.
- La diferencia de velocidades entre el tornillo transportador y el rotor.

Teniendo esto en cuenta podemos desechar la falacia de la máquina grande. Es evidente que una máquina grande que opera con una fuerza centrífuga débil tiene una capacidad de producción menor que una máquina pequeña con una fuerza centrífuga grande. Dicho de otra manera, una máquina que tiene una fuerza centrífuga equivalente a un alto factor "G" tendrá mayor capacidad de producción que una máquina de las mismas dimensiones con un bajo factor "G". Cuando se requieran materiales de construcción espe-

ciales o cuando el espacio disponible es limitado es muy importante conseguir un equipo con una alta razón capacidad efectiva/dimensiones del equipo.

La fuerza centrífuga ideal para cada aplicación se determina por muchos factores, siendo uno de ellos la velocidad. Es bueno recordar que un alto factor "G", no siempre es requerido para todos los casos, en muchas aplicaciones un bajo factor "G" provee mayores ventajas. El usuario podrá operar el equipo a una velocidad óptima (baja, intermedia o alta) para su aplicación particular sin consideraciones de limitación mecánica.

En el presente trabajo se mencionarán aplicaciones de los separadores de sólidos centrífugos horizontales dentro del campo de la actividad petroquímica. Como se ha mencionado con anterioridad estos equipos se emplean usualmente en la separación de dos fases, una sólida y una líquida. Por lo tanto las aplicaciones que aquí se mencionarán serán básicamente en la separación de un producto sólido (monómero, polímero o subproducto) de una fase líquida (agua, hidrocarburo, etc.). Como es evidente las aplicaciones a mencionar en el presente estudio no son las -

únicas aplicaciones de separador de sólidos centrífugo horizontal en el campo petroquímico, pero son las aplicaciones que se puede decir son las más típicas. Esto es, el rendimiento y eficiencia del separador centrífugo horizontal es mayor que cualquier otro tipo de separador de sólidos, ya sea centrífugo o tipo filtro, pero hay aplicaciones en las cuales aún no se han hecho pruebas de rendimiento o simplemente hay equipos que muestran mejor performance. También se mencionarán aplicaciones en las cuales el separador de sólidos centrífugo horizontal puede ser empleado, pero su rendimiento no será tan eficiente con el de otros tipos de separadores de sólidos centrífugos, mencionándose en estos casos el tipo de separador de sólidos recomendado para dicha aplicación.

El lector podrá apreciar que en las aplicaciones aquí mencionadas no se hace incapie en las dimensiones de los equipos a usar o en la capacidad de procesamiento que estos pueden tener. Esto se explica fácilmente al considerar que para cada planta industrial varían los numerosos parámetros que influyen en el rendimiento de los separadores. Esto es, por ejemplo, variaciones en la concentración de la

suspensión alimentada al equipo, tamaño de partícula de los sólidos, solvente, temperatura y presión de operación, etc. Es por ello que no se puede generalizar el rendimiento que un equipo tiene en una planta de procesamiento, pues se podrían dar condiciones adversas en alguna otra planta de procesamiento que no permitan el normal rendimiento del equipo. Para evitar estos inconvenientes lo que generalmente se hace es - instalar un equipo de prueba en la planta, y verificar de esta manera las condiciones de operación del equipo y el rendimiento que este tendrá en la aplicación específica.

Dentro de la actividad petrolera también se emplea el separador de sólidos centrífugo horizontal para el tratamiento mecánico de los lodos de perforación. En el presente estudio se mencionará brevemente la historia de como se comenzó a usar el separador en la actividad petrolera, aquí se podrá apreciar como una aplicación errónea de un determinado equipo casi anula la posibilidad de empleo de este separador y como se fue generalizando su uso.

Mencionaremos además el tratamiento mecánico tradicional aplicado a los lodos de perforación durante el trabajo de perforación de un pozo petrolero, además de los

casos más importantes en los que se emplearía un separador de sólidos centrífugo horizontal, de manera que el lector pueda tener una idea de las condiciones y los casos en los que se emplea un separador de este tipo para poder economizar arcilla, agua o productos químicos (según sea el caso), cuando las con di ci o n e s de la z o n a d o n d e s e e s t á o p e r a n d o n o p e r m i t e n e r f á c i l a c e s s o a a a l g u n o d e e s t o s p r o d u c t o s.

Como se explicó anteriormente para el caso de aplicaciones del equipo en plantas industriales petroquími cas no se puede generalizar los resultados de rendimiento, por centaje de recuperación, etc. Por lo tanto, no es posible hacer un análisis de la economía que se lograría con la aplicación de estos equipos, salvo en el caso de una aplicación específica en una planta industrial determinada donde se conocen datos de anteriores procedimientos de recuperación y su mejora al emplear estos separadores.

Para el caso de el tratamiento de los lodos de perforación, el separador de sólidos centrífugo horizontal es una adición opcional hecha al sistema tradicional, luego de acuerdo a la economía de arcilla (u otro producto) que se hace en cada aplicación se puede determinar una cierta

ventaja económica. Para que el lector tenga una idea de esta ventaja económica se hará un análisis teórico, para así contar con un punto de partida que nos permita realizar un análisis real cuando se presente el caso.

Esperamos que luego de la lectura del presente estudio, el lector tenga un conocimiento básico de lo que el separador sólido centrífugo es, y de sus aplicaciones dentro de la actividad petroquímica y petrolera de manera que pueda analizar el empleo de este equipo para optimizar algún proceso en el cual esté trabajando o hacer prosperar su industria al tener mayores ventajas que las obtenidas con un proceso tradicional en el que no se emplee este tipo de equipo.

## CAPITULO II - DESCRIPCION DE UN SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL TIPICO.

Un separador de sólidos centrífugo horizontal basa su funcionamiento básicamente en los principios de la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga.

Se usan para la resolución (separación de fases) de procesos donde existen más de una fase, de los cuales por lo menos una es fluida. Para poder emplear un equipo co-

mo el mencionado es requisito indispensable que exista una diferencia de densidad entre las fases continua y la fase dispersa.

Los separadores de sólidos centrífugos pueden ser clasificados de dos maneras:

- Separador de sólidos de rotor sólido (horizontal y de discos).
- Centrífuga de canasta o filtros centrífugos.

Ambos tipos de separadores de sólidos se encuentran en una gran variedad de modelos, tamaños, materiales de construcción y cubiertas.

La selección de una combinación adecuada de equipos para optimizar la razón costo/eficiencia de la instalación propuesta, obviamente tendrá un apoyo importante en la economía total del proceso. Frecuentemente la selección será influenciada no solo por el tamaño de la operación propuesta y los resultados exactos requeridos o deseados, sino además por condiciones en los equipos que se encuentran antes y después de la centrífuga y la posible variación de estas condiciones.

Los items de mayor importancia que deben

ser considerados son:

- a) Capacidad de la planta.- en términos de fase sólida y fase líquida.
- b) Tamaño de partícula de la fase dispersa.- Si se puede aumentar económicamente. Si se puede aumentar la cristalinidad o dureza de las partículas dispersas por medio de un ajuste en las condiciones del reactor o el empleo de un solvente diferente.
- c) Concentración de sólidos en la mezcla.- Si se puede aumentar para reducir la razón fase líquida/fase sólida en el proceso.
- d) Aspectos corrosivos del proceso.- Si se puede disminuir mediante un cambio en las condiciones del proceso anteriores al equipo.
- e) Características del equipo requerido.- El equipo debe realizar la separación a una determinada temperatura de operación y la correspondiente presión de vapor o sobrepresión con gas inerte.
- f) Resultados deseados y requeridos.- Depende de los valores relativos de capacidad, pureza y eficiencia de lavado, contenido final de productos volátiles en la fase sólida, efectividad en la separación de las dife-

rentes fases y sus componentes y rendimiento del producto terminado.

- g) Disposición de los productos finales.- Si se van a usar la fase líquida y sólida o si una de ellas será deseada. Si es necesario separar el fluido de lavado del licor madre. Si la fase sólida recibirá un tratamiento adicional tal como secado, repulpado, redisolución o va a ser usado como sale de la centrífuga.

La centrífuga de canasta o filtros centrífugos se emplean para la separación de partículas sólidas de la fase líquida, siendo el uso de especial interés cuando se requiere una eficiente reducción de impurezas solubles contenidas en la fase continua.

Existen diferentes variedades de filtros centrífugos, siendo los más conocidos en la industria:

Tipo maya cónica      Este tipo es usado para el desaguado de cristales relativamente grandes y otros sólidos similares, incluso para el desaguado de sólidos fibrosos. Está hecho para una operación continua. En general alcanza a filtrar 50% de sólidos que se encuentran en el rango de malla N° 100 o mayores. La eficiencia en el lavado generalmente

es pobre. Se le encuentra en una gran variedad de ángulos de rotor, sin mecanismo interno, o con ángulos de rotor más pequeños con un tornillo diferencial para el control de avance de los sólidos.

El tipo de avance de sólidos se emplea en una malla de ángulo muy pequeño y generalmente está limitada a una baja capacidad de proceso de líquido con muy poco o ningún lavado.

Tipo recíprocante Es un tipo de separador convencional con solo una sección de malla cilíndrica o modificada - con una sección cónica de presecado seguida de una sección cilíndrica. Se le emplea para desaguar partículas medianas o gruesas con una alta eficiencia de enjuague, lo que varía de acuerdo a la composición de las partículas. Se les puede obtener disponibles para trabajos bajo condiciones severas, hasta 400°F y 450 psig, de operación.

Tipo batch, automático con velocidad cte. Consiste en una canasta cilíndrica perforada colocada en un eje horizontal para procesar unidades de carga a través del ciclo separación, enjuague, desaguado y resecación cuando opera a velocidad constante. Se puede obtener una buena relación eficien

cia de enjuague en sólidos en el rango de medio a finos.

Tipo batch, automático con velocidad variable Es una centrífuga de canasta cilíndrica con un eje vertical, se le emplea para procesar unidades de carga repetitivamente a través del ciclo separación, enjuague, desaguado y reseparatoración mientras opera a una velocidad óptima seleccionada para cada fase del ciclo.

Provee máxima área de drenaje por unidad de capital invertido, es excelente para sólidos que requieren drenaje lento y minimiza las roturas de los cristales por medio de una velocidad controlada en la separación y una mucho menor en la reseparatoración.

A continuación pasaremos a hablar de el separador de sólidos centrífugo horizontal. Este tipo de separador ha sido construido especialmente para la separación continua y controlada de sólidos de suspensiones en general y en particular en suspensiones acuosas de partículas insolubles, - bajo las condiciones más diversas.

Esta centrífuga combina eficazmente las funciones de sedimentación, separación y drenaje de sólidos, en distintos grados, según lo requiera el procedimiento. Es uti

lizada con frecuencia para deshidratar sólidos de tipo amorfo o cristalino, clarificar líquidos y clasificar sólidos.

Los diseñadores han perfeccionado configuraciones de la construcción interna logrando las más apropiadas para cada una de estas operaciones. Para sólidos de drenaje lento, donde la humedad de los mismos es de primordial importancia, es preferible una larga parte cónica interna del rotor. De esta manera los sólidos son retenidos sobre la cara líquida durante un tiempo máximo, bajo alta fuerza centrífuga, antes de ser descargados. La capa líquida está establecida de forma que ocupa solamente la mitad o un tercio del largo del rotor en la sección de su mayor diámetro. La parte restante del rotor consiste en la parte cónica interna, por la cual los sólidos conducidos fuera de la capa líquida. En esta sección se efectúa el drenaje bajo potente fuerza centrífuga y los sólidos secos aun descargados por aberturas adecuadas. El líquido clarificado es descargado en el extremo opuesto del rotor.

En casos en que la clarificación del efluente es de especial importancia, el separador de sólidos centrífugo horizontal es construido con una parte cónica in-

clinada para que los sólidos sean conducidos fuera del líquido por el camino más corto compatible con una humedad razonable de los sólidos. La parte del rotor que ocupa el líquido es entonces más larga, de modo que, para un promedio de alimentación determinado, el líquido está expuesto al campo centrífugo por mayor tiempo, resultando así una mejor clarificación.

Estos equipos son capaces de procesar con éxito suspensiones con contenidos de sólidos de 0.5% al 10%. La única condición es que las suspensiones a tratar tengan la suficiente fluidez como para ser bombeadas continuamente al equipo. No es necesario reajustar el equipo cuando varía la consistencia de la suspensión dentro de límites amplios, dado que los separadores de sólidos centrífugos horizontales compensan automáticamente tales variaciones.

El equipo, al compensar las fluctuaciones en la relación entre sólidos y líquidos, fluctuaciones que pueden presentarse en las suspensiones acuosas de partículas insolubles con las que se alimenta la máquina, asegura la uniformidad de la producción.

La construcción de estos equipos permite

el tratamiento de sólidos de 1/4 de pulgada hasta unos pocos micrones de tamaño. Solo se requiere que, bajo fuerza centrífuga alcancen una consistencia suficiente para su extracción por el tornillo transportador. Debido a su gran fuerza exprimidora de 3200xG, es posible lograr un alto grado de sequedad.

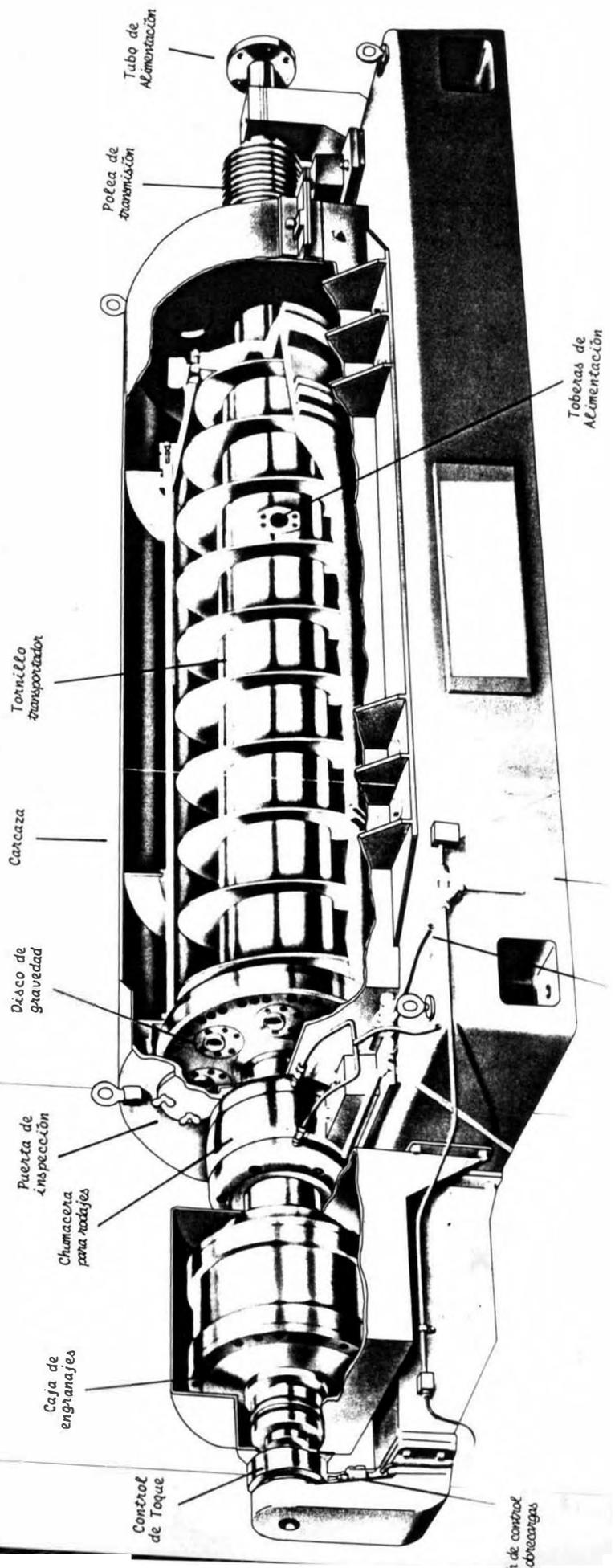
Algunas operaciones, particularmente cuando se trata de productos alimenticios, requieren un cuidado en la limpieza de la máquina, a intervalos regulares. Los equipos pueden ser lavados con agua y detergentes u otros medios de limpieza, sin necesidad de abrir la centrífuga. Una construcción "sanitaria", puede suministrarse para exigencias más rigurosas, por ejemplo en la industria alimenticia, en la que puede ser imprescindible la limpieza diaria con un cepillo, de cada una de las partes. Gracias a su sólida construcción y a su diseño "sanitario", esta centrífuga puede ser desarmada, limpiada y rearmada en aproximadamente una hora.

En lo referente a las capacidades de los equipos, debemos mencionar que son función de varios parámetros, variando para cada aplicación. Dentro de los factores que regulan la capacidad de los equipos podemos mencio-

nar: el paso específico (del sólido y del líquido), porcentaje de sólidos en la mezcla de alimentación, tamaño de partícula de los sólidos, naturaleza de los sólidos ( si son cristales, amorfos, etc.), pero como factores determinantes dentro de la capacidad se consideran a la humedad requerida de los sólidos en la descarga y el porcentaje de sólidos en el líquido afluente. Estos dos últimos son básicos pues se tiene que llegar a un punto óptimo en uno de los casos sacrificando el otro o en su defecto determinar un punto intermedio para ambos casos. Esto se obtiene de un mínimo de porcentaje de humedad en los sólidos con una pérdida razonable de sólidos con el líquido efluente o en su defecto se minimiza la pérdida de sólidos en el líquido efluente elevando ligeramente la humedad de los sólidos descargados.

A continuación describiremos el separador de sólidos centrífugo horizontal típico según el gráfico N°1 mostrado a continuación. El equipo separador consta de un rotor sólido el cual lleva en su interior un tornillo transportador que gira a una velocidad ligeramente menor que el rotor gracias a la acción de una caja de engranajes. El sistema es accionado mediante el movimiento de un motor eléc

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS  
DEL SEPARADOR DE SÓLIDOS  
CENTRÍFUGO HORIZONTAL



trico que transmite su acción mediante correas en "V" de larga duración. Para operaciones en condiciones arriesgadas se puede emplear correas a prueba de estática. El rotor y las demás partes que se hallan en contacto con el líquido y sólidos son de acero inoxidable 316 o de monel.

La relación entre el largo y el diámetro ha sido establecida de tal forma que proporciona una sequedad máxima de los sólidos y/o máxima claridad de los líquidos, según se requiere.

El borde guía de la hélice del tornillo transportador, la zona de alimentación por la cual el líquido es descargado al rotor y las aberturas de descarga de sólidos son las partes más vulnerables a la erosión por la acción abrasiva de los materiales que son suministrados a la máquina.

Cuando se requiere, se pueden colocar adecuadamente toberas de enjuage que permiten el lavado de los sólidos a medida que estos son drenados bajo fuerza centrífuga antes de ser descargados.

El rotor, además, lleva en el extremo por donde descarga el líquido el denominado "disco de gravedad",

el cual permite regular fácilmente desde el exterior, y sin necesidad de desarmar el equipo, la profundidad de la capa de líquido en el rotor con lo cual variaremos la humedad de los sólidos descargados y la clarificación del líquido efluente.

Como se indicó anteriormente la diferencia de velocidad entre el rotor y el tornillo transportador lo genera la denominada "caja de engranajes", cuyo sistema planetario de engranajes se compone de ruedas de acero forjado, especialmente endurecido, provisto de dientes de precisión. El suministro de aceite está sellado, asegurando una lubricación adecuada y, por lo tanto, una larga duración de los rodajes y los engranajes.

Para un trabajo eficiente del sistema se han colocado cojinetes principales, lo que hace que el conjunto rotor-tornillo transportador no esté sujeto a tiranteses, ni a vibraciones. Dichos cojinetes principales son de una línea de rodajes con ranuras profundas de alta precisión, lubricados a grasa y ubicados en cajas a prueba de salpicaduras.

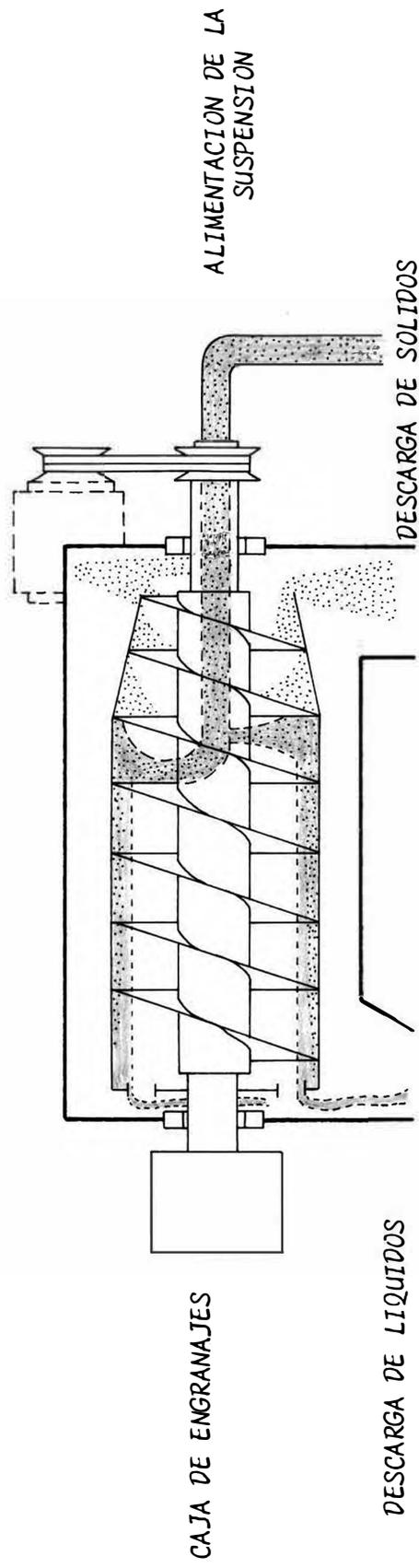
El sistema rotor-tornillo transportador va montado sobre un bastidor de fierro fundido, llevando una carcasa de acero inoxidable cuya parte superior forma la tapa del

separador y lleva en su interior tres deflectores que tienen por función el impedir la mezcla de sólidos y líquidos una vez que estos han sido separados. La parte inferior de la carcasa, forma las descargas tanto de sólidos como de líquidos y han sido diseñadas de tal manera que resisten las exigencias más severas de funcionamiento continuo, operando con personal medianamente capacitado.

El equipo está protegido contra las sobrecargas por un control de torque. La sobrecarga del tornillo transportador es transmitida al control de torque, regulable mediante resortes, el cual desconecta el sistema antes que se ocasionen daños a la máquina. El control de torque acciona automáticamente un interruptor eléctrico que cierra la válvula de admisión en la tubería de alimentación y detiene el funcionamiento del motor que acciona el equipo.

El conjunto en si opera de la siguiente manera: Tal como se muestra en la fig. N° 2, la mezcla sólido-líquido es alimentada a la máquina por el tubo de alimentación, hasta llegar a las toberas de alimentación que se encuentran en la parte central del tornillo transportador. El sistema gira a una velocidad aproximada de 4000 RPM, generando una fuerza centrífuga

OPERACION DEL SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL



ga de 3200 veces la fuerza de gravedad de la tierra. Por efecto de esta gran fuerza centrífuga y la diferencia de densidades entre el sólido y el líquido, el primero se pega a las paredes internas del rotor, formando el líquido un anillo sobre los sólidos. Por efecto de la rotación ligeramente menor del tornillo transportador respecto al cuerpo del rotor, se genera una corriente de líquido que avanza por la parte cilíndrica del rotor y a su vez el tornillo arrastra los sólidos hacia la parte cónica del rotor, denominada playa de secado, descargando continuamente el sólido por un extremo del rotor y el líquido por el otro. Por medio del denominado "disco de gravedad", se puede variar el espesor de la capa de líquido. Cuando el espesor es mínimo, se tiene un "tiempo de residencia" mínimo del líquido en el rotor, con lo cual se tiene mínima clarificación del mismo. En contraposición la playa de secado se hace más extensa con lo cual se tiene un máximo secado de sólidos, descargados. Cuando el espesor de la capa de líquido es máxima, se tiene un tiempo de residencia máximo del mismo dentro del rotor, con lo que se obtiene el máximo grado de clarificación; como es previsible la playa de secado se reducirá y por ende el sólido tendrá un grado de humedad máximo.

Otro sistema para regular el tiempo de residencia del material en el sistema es por medio del control de la velocidad de alimentación. Cuando esta es mayor, el tiempo de residencia será menor y viceversa. Una buena regulación se logrará controlando primero el flujo de alimentación para tener la producción deseada y luego el disco de gravedad para tener la clarificación de líquido y humedad de los sólidos que se consideren los óptimos.

### CAPITULO III - USOS DEL SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO

#### HORIZONTAL EN LA ACTIVIDAD PETROQUIMICA

El separador de sólidos centrífugo horizontal puede procesar prácticamente cualquier mezcla sólido-líquido. La alta eficiencia de sedimentación y la alta capacidad de torque de estas máquinas le permiten absorber las variaciones en la alimentación que afectarían la operación continua.

Dentro de las numerosas aplicaciones del separador de sólidos centrífugo horizontal se pueden enumerar las siguientes:

- Productos de desecho para conservación del medio ambiente:

Municipales

Industriales

Industria de papel

tratamiento de agua

tratamiento de desagües

- Productos químicos:

Polietileno (de alta densidad)

polipropileno

cloruro de polivinilo

celulosa

paraxileno

sulfuros

Acido tereftálico

potasio

prod. de fermentación.

soda cáustica

diversos prod.

cristalinos

- Productos alimenticios:

granos de café

hojas de té

almidón de maíz

almidón de papa y camote

desgrasado de huesos

elaboración de gelatina

tratamiento de huesos,

sangre y grasas

gluten de maíz

fibra de maíz

lactosa

- Productor mineros:

finos de carbón	slime de potasio
colas de carbón	slimes de cobre
colas de minería	slimes de plomo
slimes de uranio	

CENTRIFUGACION DE POLIMEROS:

La producción y purificación de polímeros presenta un gran espectro de utilización de las centrífugas en cualquier grupo de industrias relacionadas con estos productos.

Nuestra intención es examinar la aplicación específica de los equipos representativos en términos de su uso en la producción de algunos de estos polímeros y de los monómeros de los cuales se derivan.

A continuación desarrollaremos la siguiente lista de las principales aplicaciones en términos del procesamiento de monómeros y polímeros:

POLIMERO	<u>APLICACION</u>
-Urea-formaldehido	Desaguado, frecuentemente con lavado

	de urea cristalizada
-cloruro de polivinilo (PVC)	desaguado, algunas veces con lavado, de las partículas de polímero de PVC, y de ambos homopolímero y copolímero
-floruro de polivinilideno	lavado y desaguado de las partículas de polímero de una suspensión acuosa
-poliestireno	lavado y desaguado de camas de polímero
-metilmetacrilato	lavado y desaguado de las partículas de polímero
-resinas ABS	lavado y desaguado de las partículas de polímero
-polietileno	lavado y deliquescencia del polímero de una suspensión en líquido orgánico tal como hexano, para eliminar impurezas o en un proceso alternativo, clarificación de una solución de hexano del polímero para remover partículas de catalizador
-polipropileno	separación primaria de partículas de

polímero isostático de una solución de polímero atáctico en un líquido orgánico tal como hexano. Esto es, usualmente seguido por una purificación secundaria y deliquescencia de las partículas del polímero isostático de metanol o solución acuosa de ácido hidroclicórico para remover impurezas o residuos de catalizador

-poliésteres

recuperación y purificación de paraxileno de isómeros mixtos, la deliquescencia y lavado de cristales de ácido tereftálico de una solución acuosa y la deliquescencia y lavado de dimetiltereftalato de una solución de metanol.

-poliamidas  
(Nylon 6)

remoción y recuperación de catalizador de ciclohexanona, lavado y desaguado de oximas de ciclohexanona y lavado y desaguado de cristales monómeros de caprolactama

- poliamidas  
(Nylon 6/6)

lavado y desaguado de cristales de ácido adípico de una solución acuosa de ácido nítrico y acético, y el lavado y deliquescencia de cristales monómeros de sal de nylon de una solución de metanol
- melamine

lavado y desaguado de cristales intermedios de dicianamida de una solución acuosa y el lavado y desaguado de cristales monómeros de melamine de una solución acuosa
- policarbonatos

lavado y deliquescencia de cristales intermedios de bisphenol -A de una solución de benceno y posiblemente otras aplicaciones de desaguado de sólidos
- sulfato de amonio

lavado y desaguado de cristales de sulfato de amonio formados como subproductos de desechos que se originan del ácido sulfúrico gastado de muchos de los sistemas anteriores.

A continuación pasaremos a detallar cada una de estos procesos mencionando las aplicaciones de los equipos que nos proporcionará mayor beneficio en el aspecto de calidad del producto, recuperación máxima, eficiencia de secado, lavado y operación más económica.

#### UREA

El sistema acuoso de la úrea a ser centrifugado usualmente contiene cristales relativamente largos en una alta concentración. El sistema es caracterizado por un gradiente de temperatura de solubilidad muy pronunciada. La única impureza presente es biuret, que es un producto de condensación de la misma úrea, cuya formación es favorecida por el tiempo, temperatura, condensación y ausencia de un exceso de amoníaco. En la práctica actual, se requiere una alta eficiencia en el enjuague para reducir el contenido de biuret en los cristales centrifugados en el rango de 0.02 a menos de 0.1 % cuando el licor madre puede contener de 2.5 a más de 10%. A causa del gradiente de temperatura de solubilidad tan pronunciado y otras consideraciones del proceso, el monto de agua de enjuague disponible está limitada al 5 -ó 6% del peso de los cristales. La temperatura de operación está usualmente mantenida alrededor de 70 °C

pa

ra asegurar una completa solubilidad de la biuret. El valor de seado para el condensado residual contenido en los cristales que dejan la centrífuga es de menos de 2% para minimizar la posible formación de biuret y que el secado final por calentamiento sea lo más económico posible. Para ésta separación, la centrífuga de malla cónica tiene una excelente razón costo/performance cuando no se requiere lavado, e incluso en procesos especiales en los cuales se desea procesar grandes volúmenes de una solución saturada de úrea a elevada temperatura y con bajo contenido de biuret donde se requiere un enjuague.

Para operaciones más convencionales con un enjuague con agua, se emplea la centrífuga tipo reciprocante que dá la mejor razón costo/performance.

#### CLORURO DE POLIVINILO (HOMO Y CO-POLIMERO)

Se producen como soluciones acuosas a temperaturas en el rango de 100 a 180°F. En algunos casos, se requiere un lavado para reducir impurezas solubles. El separador de sólidos centrífugo horizontal es el equipo que ofrece la mejor performance en esta aplicación. El contenido de residuo volátil del polímero centrifugado es variable, dependiendo del tamaño de

la partícula y otras características, encontrándose generalmente en el rango de 10-30%. Tanto el PVC como su copolímero ofrecen una resistencia considerable a ser arrastrados por el tornillo transportador, estando por ello la capacidad limitada por el torque que puede ser transmitido al tornillo transportador. Usualmente, una centrífuga de 14 pulgadas de diámetro tendrá una capacidad de 2000 a 3000 lbs./hora de copolímero y 5000 a 6000 lbs./hora de homopolímero, mientras que una centrífuga de 25 pulgadas de diámetro tendrá una capacidad de 6000 a 10000 lbs./hora de polímero.

La pérdida de sólidos en el líquido efluente varía de 0.0 a 0.1% dependiendo de la distribución del tamaño de las partículas en la mezcla de alimentación y algunas otras características variables.

#### FLORURO DE POLIVINILDIENO

El compuesto se produce como una suspensión acuosa la cual tiene una razón de drenaje muy baja y además requiere una buena eficiencia en el enjuague. Esta combinación favorece la centrífuga de canasta vertical de velocidad variable, la cual tiene el más bajo costo inicial por unidad de área de

### POLIESTIRENO

Se produce como una suspensión acuosa usualmente de partículas esféricas de tamaño muy uniforme. En adición a los requerimientos usuales de bajo contenido de condensado en el sólido que sale de la centrífuga, se requiere una excelente eficiencia en el enjuague. La centrífuga de canastita de velocidad constante, da una buena performance y alta eficiencia de enjuague. Experimentos recientes muestran que el separador de sólidos centrífugo horizontal con un rotor de doble ángulo dá una mayor performance en términos de un menor condensado final con una excelente eficiencia de enjuague. En este diseño, el agua de enjuague se aplica al rotor como anillo constante de enjuague puro a travez del cual las partículas de poliestireno son arrastradas y lavadas antes de ser llevadas a travez de la playa de secado para el drenaje final. Usualmente, un separador horizontal de 14 pulgadas de diámetro puede ser usado para procesar hasta 5000 lbs./hora de poliestireno con un contenido de condensado menor al 1% y un contenido de cloruro residual y ácido menor a 3ppm.

### RESINAS ABS

Se produce como una suspensión acuosa con

moderado a baja características de drenaje y los sólidos requieren un tiempo de residencia relativamente largo para alcanzar el equilibrio con el contenido de condensado residual.

Económicamente se favorece el uso de una centrífuga de canasta vertical y de velocidad variable, por su bajo costo por unidad de área de drenaje y su volumen de retención de sólidos.

#### POLYETILENO (ALTA DENSIDAD)

Normalmente se produce como una suspensión de partículas, en el rango de 10 a 15 micrones, en hexano a una concentración de 1 a 3 lbs./galón. Por seguridad y para minimizar la pérdida de solvente se requiere una presión menor a 15 psig.

La razón de drenaje a través de la centrífuga de canasta es muy variable como función del tamaño de partícula y el punto de liquefacción. Un bajo punto de liquefacción y partículas grandes dan una buena performance en este tipo de equipos.

Usualmente, una centrífuga de canasta automática de velocidad constante puede ser usada para procesar

hasta 4000 lbs./hora de polímero con buena eficiencia de enjuague y que descarga los sólidos lavados con 10 a 30% de residuos volátiles.

Para un punto de liquefacción alto, o cuando una considerable cantidad de cera soluble está presente, una centrífuga horizontal ofrece la mejor performance. Una unidad mediana puede procesar hasta 3000 lbs./hora de polímero y una más grande hasta 8000 a 10000 lbs./hora de polímero.

#### POLIPROPILENO

En el proceso usual de 2 etapas, la suspensión de la primera etapa consiste en una concentración de 15 a 20% de partículas de polímero isostático en hexano o heptano a una temperatura lo suficientemente elevada para mantener el polímero atáctico en solución. La centrífuga de canasta no es aplicable a causa del taponeamiento de las perforaciones. El separador de sólidos centrífugo horizontal con un enjuague de hexano se usa para obtener sólidos con un contenido de 25 a 45% de residuos volátiles.

En este proceso, la segunda etapa requiere la remoción de catalizador y la suspensión a ser tratada

consiste en los sólidos de la primera etapa redisolto en metanol. La centrífuga de canasta automática de velocidad constante se puede aplicar con una buena eficiencia de enjuague.

Otro proceso para propileno está diseñado alrededor de la remoción de partículas de catalizador insoluble de una solución de polímero en hexano. El sistema es mantenido a elevadas temperaturas y su correspondiente presión para asegurar el tratamiento de una concentración económica del polímero. En esta aplicación se emplea una centrífuga de rotor sólido llamada de toberas o de discos, pues tiene doce toberas para descarga de sólidos continuamente en forma de un efluente concentrado.

#### POLIESTERES (DACRON, TERYLENO, ETC.)

La materia prima de estos productos usualmente son producidos en tres pasos, con más de una aplicación de centrífuga por paso.

1. Recuperación de paraxileno, partiendo de isómeros mezclados a través de cristalización a baja temperatura y centrifugación, seguido de uno o más pasos de recris

talización y centrifugación, para dar el 99% deseado en el producto final. Dos etapas de aplicación de la centrífuga de canasta de velocidad constante (dos primarias y una secundaria), nos rendirá de 5000 a 6500 lbs./hora del producto requerido con más del 99% de pureza.

2. El producto es oxidado para formar ácido tereftálico. En esta etapa se requiere una buena eficiencia en el enjuague de los cristales finos, los cuales tienen una razón de drenaje de buena a media. Se usan ambos tipos de centrífugas de canasta (de velocidad constante y variable), eligiendo la mejor razón costo/performance, dependiendo no solo de la razón de drenaje y la concentración a la alimentación, sino también en la capacidad requerida y la semejanza entre la capacidad de producción de la planta y los tamaños de centrífuga disponible en el mercado.
3. En esta etapa, el ácido tereftálico es esterificado a dimetil tereftalato en suspensión de metanol. En algunos procesos, dos etapas de aplicación del separa-

dor de sólidos centrífugo horizontal en serie nos dá la mejor razón costo/performance, mientras en otros casos la economía favorece un solo paso por una centrifuga de canasta de velocidad variable y con una buena eficiencia de enjuague.

#### POLIAMIDAS (TIPO NYLON 6)

Un proceso típico para la producción de estos monómeros envolverá los siguientes pasos.

1. Remoción en forma de concentrado, para ser reusada, de partículas finas de catalizador de ciclohexanona.
2. Centrifugación con lavado de oxinas de ciclohexanona.
3. Desaguado, con lavado de los cristales monómeros de caprolactama.

Para la primera etapa se emplea el separador de sólidos centrífugo horizontal, recuperando las partículas de catalizador concentradas descargándolas directamente en la corriente de alimentación al reactor. Para la caprolactama, el tipo de centrifuga de canasta recíprocante es el que tiene mejor razón costo/performance.

### POLIAMIDAS (NYLON 6/6)

El principal proceso de aplicación en este proceso es el desaguado con lavado del producto intermedio ácido adípico. Para esto, la centrífuga de canasta de velocidad constante muestra la mejor razón costo/performance.

El tipo reciprocante también muestra excelentes valores, particularmente cuando el sistema rinde cristales relativamente duros a una concentración relativamente alta y cuando los cristales de menos 100 mesh que van a ser filtrados pueden ser convenientemente manejados en el sistema de reciclo de filtrado.

### MELAMINE

Este proceso envuelve dos pasos de centrifugas, el desaguado con lavado de cristales de dicyandiamida y la centrifugación final de los cristales de melamine. La mejor razón costo/performance se obtiene para el primer paso, para la centrífuga canasta de velocidad constante. Para el segundo caso la centrífuga de canasta cónica ofrece ventajas económicas. Esta es una centrífuga que produce 1200 a 1500 lbs./hora de cristales con 10% de condensado y con aproxima-

damente 3% de cristales de la alimentación en el efluente para ser filtrados en el reciclo.

#### RESINAS DE POLICARBONATO

La principal aplicación de la centrífuga en este proceso es en la remoción del producto intermedio, - cristales de bifenol-A de una suspensión en benceno, con su posterior lavado. El sistema debe contener vapor para evitar explosiones y daños personales. Las centrífugas de canasta de velocidad constante han encontrado aplicación en este proceso, tendiendo la economía a favorecer el tipo de velocidad variable, a causa de la relativamente baja razón  $f$  de drenaje del material y su tendencia a taponear el medio filtrante cuando se le centrifuga a alta velocidad.

#### SULFATO DE AMONIO

Muchos de los procesos mencionados descargan una corriente de desecho con una gran concentración - de ácido sulfúrico contaminado en varios grados de productos orgánicos. Cuando su eliminación es definitiva y necesaria, pueden ser neutralizados con amonio, se cristalizará el sul-

fato de amonio y se le recupera para venderlo como fertilizante. Estas corrientes varían tan pronunciadamente en su composición que es imposible generalizar, por lo tanto no se puede mencionar un tipo particular de centrífuga que dé la mejor razón costo/performance.

Los separadores de sólidos centrífugos - horizontales, centrífugas de canasta de velocidad constante, de velocidad variable, centrífugas cónicas y de tipo re ciprocante han encontrado aplicaciones óptimas en este proceso, dependiendo particularmente del sistema a procesar.

CAPITULO IV USOS DEL SEPARADOR DE SOLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO.

Dentro de la actividad petrolera la posi bilidad de empleo de un separador de sólidos centrífugo horizontal es muy limitada. En realidad, la única aplicación posible es en el tratamiento mecánico de los lodos de perforación.

Como es sabido todos los sistemas de perforación rotativa emplean un fluido de corte llamado lodo de perfora-

ción cuyas características son básicas para el eficiente trabajo del sistema.

El lodo de perforación debe ser capaz de llevar a la superficie los recortes o detritus, cortados por la broca, en forma ininterrumpida mientras se está perforando. Además debe ser capaz de mantener en suspensión los recortes de la perforación dentro del pozo valiéndose de su propiedad tixotrópica.

En cualquier instante de la perforación y sea cual fuere la formación por la que se está atravesando, el lodo debe tener una densidad tal, de manera que la columna de lodo produzca una adecuada contrapresión y poder así contrarrestar las presiones de las formaciones y evitar el ingreso de gas, aceite o agua al pozo.

Una de las principales funciones de los lodos de perforación es la de limpiar y lubricar la broca de manera que se prolongue la vida útil de la misma.

El lodo de perforación debe facilitar los trabajos de entubación, cementación y de perfilaje eléctrico, siendo indispensable para cumplir esta función, que el lodo tenga una resistencia gel adecuada a las circunstancias.

Para que el lodo de perforación pueda cumplir estas funciones durante el proceso de perforación, es necesario que mantenga sus propiedades físicas, esto es viscosidad, resistencia gel, y sobre todo densidad, para lo que es necesario se controle el contenido de sólidos del sistema.

El volumen y tipo de sólidos presentes en un sistema de lodos de perforación ejerce una apreciable influencia sobre su densidad, viscosidad y resistencia gel. Estos mismos factores incluso ejercen considerable influencia sobre los costos del lodo y del pozo en si; razones de perforación, la hidráulica y la posibilidad de reventones y/o pérdidas en el retorno. Luego, el control de sólidos del lodo se convierte en una de las fases más importantes del control de los lodos. En consecuencia, más dinero se gasta anualmente para este propósito de lo que se gasta en otros problemas de lodos. Es un problema constante, es de todos los días en todos los pozos. Si estos sólidos no deseados pueden ser removidos mecánicamente, usualmente es más barato que tratar de combatirlos con productos químicos, agua y baritina luego que pasan a formar parte permanente del sistema de lodos.

Para todos los propósitos prácticos, los só

lidos en un lodo de perforación pueden ser separados en dos clases distintas; sólidos de baja densidad, cuya gravedad específica será de 2.5 a 3.0 y sólidos de alta densidad que tienen gravedades específicas mayores a 4.2. Los lodos elaborados solamente de sólidos de baja densidad pesarán de 8.5 a 12 lbs./gal. Los lodos de diferentes pesos tendrán diversas fracciones de sólidos de alta y baja densidad. Los lodos más pesados generalmente contendrán menor cantidad de sólidos de baja densidad que los lodos livianos. En perforaciones profundas se requieren lodos cada vez más pesados de manera que el control de sólidos adquiere una importancia creciente. Esto es igualmente cierto en lodos livianos, particularmente cuando se requieren altos índices de penetración.

El control de sólidos puede llevarse a cabo a través del uso de uno o más de los métodos básicos de separación de sólidos: decantación, zarandas vibratorias, hidrociclones, centrífugas, etc. Excepto para el uso de zarandas, todos los métodos son simplemente una forma de precipitación y está gobernada por leyes físicas definidas. Si el lodo se mantiene en movimiento de manera que se rompe la resistencia gel, entonces la precipitación de las partículas es gobernada por la ley de Stokes:

$$V_s = \frac{2 G D_c (P_s - P_m)}{92.6 u}$$

- donde:  $V_s$  ..... velocidad de precipitación (ft/seg)
- $G$  ..... aceleración de la gravedad (ft/seg<sup>2</sup>)
- $D_c$  ..... diámetro de la partícula (ft)
- $P_m$  ..... densidad del lodo (lb/ft<sup>3</sup>)
- $P_s$  ..... densidad del corte (lb/ft<sup>3</sup>)
- $u$  ..... viscosidad del lodo (centipoise)

Se puede notar que esta ecuación es simplemente una expresión matemática de eventos que son observados comunmente, es decir cuanto más densa es una partícula, más rápidamente se asentará. Cuando más grande es la partícula, precipitará más rápido. Cuando es más baja la viscosidad del lodo, luego la razón de precipitación (1/u) será mayor. Incluso si el factor G puede ser aumentado mecánicamente, la razón de precipitación se incrementará proporcionalmente.

Las observaciones de campo nos demuestran

que una baja razón de flujo y baja viscosidad de lodo promoverán la precipitación de partículas grandes y pesadas. Luego, la remoción de arena y cortes de la perforación por este método es práctica y de mucha ayuda, pero si el lodo contiene baritina, esta también precipitará. La ley de Stokes prueba que esto pasará. Partículas de diferente densidad pero de dimensión variable pueden tener la misma razón de precipitación. A arena o una partícula que es una y media veces más grande que una partícula de baritina se asentará con la misma velocidad, bien sea en una poza de decantación o un hidrociclón. Luego, se hace imposible separar sólidos útiles e inservibles si tienen la misma masa (o razón de precipitación).

Desde el punto de vista de separación de sólidos, será imposible separar una partícula de 60 micrones de una partícula de baritina de 40 micrones, usando solo técnicas de precipitación. La única manera en la que todos los cortes pueden ser separados de toda la baritina sería que todos los cortes sean de un solo tamaño y toda la baritina de un tamaño completamente diferente. En un sistema de lodos de perforación, ambos casos son imprácticos e imposibles.

La pregunta a considerar sería: ¿porqué usar desilters o centrífugas si no van a trabajar exactamente -

como a nosotros nos gustaría? La respuesta sería obvia; las ventajas tienen más valor que las limitaciones. Para cualquier lodo de perforación, esta línea de razonamiento pronto muestra que los métodos de precipitación pueden ser usados con ventaja para separar diferentes tamaños de partícula, pero materiales de diferente densidad no pueden ser separados eficientemente en base a su densidad. Luego todos los separadores mecánicos son diseñados para operar con ciertos rangos de tamaño de partícula para un material dado.

Antes de internarnos en los variados significados mecánicos de separación de sólidos, es necesario tener una idea del tamaño de partículas encontrados en los lodos de perforación. Estas partículas pueden estar en el rango de un tamaño muy pequeño o coloidal a cortes de varias pulgadas de tamaño. A causa del reducido tamaño de las partículas, es muy difícil hablar en términos de pulgadas. Es muy complicado pensar en decir 1/25400 de pulgada o 0.00003973 de pulgada, pero es fácil decir 1 micrón (1 pulgada equivale a 25400 micrones). Luego, los sólidos en un lodo de perforación pueden clasificarse fácilmente en:

coloidal	2 micrones o menos
limo	2 a 74 micrones



res de sólidos centrífugos horizontales en el tratamiento de los lodos de perforación.

El proceso de la perforación de pozos de petróleo, el tratamiento de los lodos se realiza básicamente mediante el empleo de un degasser, un desilter y un dessander. Para optimizar la eliminación de sólidos indeseables, se pensó en el uso de las centrífugas.

El principio de una centrífuga es generar un ambiente en el cual se incrementa varias veces la fuerza de gravedad de la tierra, de manera que se facilite la separación de dos materiales no miscibles de diferente peso específico.

Inicialmente se usaron como unidades de prueba unas centrífugas de discos marca Merco, las cuales no dieron los resultados esperados, abandonándose la idea de empleo de estos equipos.

Posteriormente en 1952, el S-. Allen Greenlaw, empleado de la firma Sharples, inició sus conversaciones con funcionarios de la Phillips Petroleum Co., llegando a convencerlos de olvidar los resultados obtenidos con las centrífugas de discos e iniciar las pruebas con un separador de sólidos

tipo horizontal del modelo denominado P-1000.

Las pruebas iniciales fueron exitosas, por lo que la Phillips Petroleum Co. adquirió dos centrífugas de este tipo.

Las otras compañías petroleras se mostraban reacias al empleo de este tipo de centrífuga, hasta que en una reunión de la API el Sr. Jim Bugley de la Shell Oil Co. manifestó que luego de analizar el comportamiento y rendimiento de las centrífugas adquiridas por la Phillips, recomendaba su empleo. El problema que se presentaba ahora era que ninguna compañía quería comprar la centrífuga. Todas querían emplear el sistema de leasing.

El problema era encontrar una compañía de servicios que esté en el negocio de las perforaciones y que tenga personal disponible para operar la centrífuga las 24 horas del día, 7 días a la semana.

El trato se hizo con la compañía Homco, que demandó contrato exclusivo para adquisición de las centrífugas modelo P-1000 para esta aplicación, puesto que invirtieron dinero en publicidad y en la capacitación del personal para su manejo y reparación. Homco tuvo que montar la centrí-

fuga en una base especial para el campo, motor para el arranque, un motor diesel que provea la energía necesaria para su operación, una bomba de lodo, una bomba de agua y todas las conexiones. La centrífuga era solo una cuarta parte de la inversión. A través de este arreglo, Homco logró dar a la centrífuga un gran impulso dentro del campo petrolero.

Entre los años 1955 y 1956, un joven llamado Carrol Church, recién egresado del College, y que estaba buscando trabajo, decidió incursionar en el campo de las centrífugas con ayuda del dinero de su padre, el dueño de la Pioneer Tool Co. Como no podía adquirir una centrífuga Sharples, negoció la adquisición de una centrífuga marca Bird de acero al carbono de 18" x 28" con un endurecimiento especial de colmonoy 6. Estas centrífugas eran más baratas que la P-1000 Sharples de acero inoxidable y con endurecimiento de Stellite 1016. La compañía que formó la denominó Pioneer Centrifuging Company, tomando el nombre de la compañía de su padre.

Mientras Homco ampliaba sus negocios, Bairoid, Magobar y Milwhite, las tres compañías más poderosas - se rehusaban a admitir que la centrifugación afectaría su negocio de venta de productos químicos para lodos de perfora-

ción. Cuando sus ventas comenzaron a bajar, Milwhite actuó primero y subarrendó centrífugas a Homco. Magcobar y Baroid se negaron a hacerlo hasta 1960. En ese entonces Baroid trabajó con centrífugas Pioneer. Magcobar comenzó a trabajar con una nueva compañía denominada Gilreath. Esta compañía se reestructuró luego que la Homco la sacó del negocio en 1958. Hicieron una copia exacta de la centrífuga Sharples P-1000, en acero al carbono y usando como endurecimiento especial colmonoy 6, siendo esta una máquina muy barata. Al mismo tiempo Dresser tenía otra división denominada Swaco que construía y alquilaba hidrociclones para competir con las centrífugas. De esta manera, al finalizar los años 50, la industria tenía a Homco y Milwhite con Sharples, Pioneer y Baroid con Bird, Gilreath y Magcobar con centrífugas Gilreath y los hidrociclones de Swaco, división de la Dresser.

En 1958, se produjo una crisis en la industria de la perforación en USA, a causa del petróleo barato procedente de Arabia Saudita. La perforación prácticamente se detuvo en los años 60 y todo ingeniero de lodos fue despedido. Gilreath fue vendido a Baker Perkins que anuló el negocio de centrífugas. Pioneer comenzó a hacer sus pro

pías centrífugas las cuales fueron más baratas por ser de acero al carbono. Los años 60 fueron malos para todos en el negocio de perforaciones.

Las operaciones se reanudan en 1972, sin variaciones, salvo que Homco quebró en 1963 y vendió las centrífugas Sharples a pequeñas operaciones. Milwhite decidió hacer la versión Mobil Oil de una centrífuga, que era una tubería perforada rotativa en el interior de una tubería estacionaria.

La necesidad de centrífugas a través de estos años fue para procesar lodos de perforación pesados. Comenzaron recuperando baritina para reusarlo, eliminando el agua y la arcilla, pero luego se dieron cuenta de que lo que en realidad se hacía era controlar la viscosidad de los lodos pesados. De esta manera el factor de control sería la viscosidad funnel del lodo. Un viscosímetro funnel es una medida de lodo de un litro, que pasa a través de cierta abertura. Se toma el tiempo y eso determina la viscosidad del lodo en segundos. Si se desea mantener un lodo entre 35 y 45 segundos, cuando pasa los 45 segundos se enciende la centrífuga para empezar a eliminar a agua y arcilla y así reducir la velocidad de flujo hasta 35 seg., que es cuando se detiene la centrífuga. Este es el proceso que se usa cuando se trabaja con lodos de perforación pesados.

Es un método rudimentario, pero funciona y es rápido.

- b) Tratamiento mecánico aplicado a los lodos de perforación.

El tratamiento mecánico que se aplica a los lodos de perforación es único, sea cual fuese el peso del lodo a usar. El objeto del tratamiento mecánico es el de controlar el peso del lodo de manera que se puedan mantener constantes las propiedades físicas del mismo.

Un sistema de remoción adecuado puede ser operado consistentemente con eficiencia, mínimo costo y con un máximo beneficio a la operación de perforación (reduce costos y tiempo de perforación), comienza con los planes y disponibilidades preliminares para un nuevo pozo o la renovación de un pozo antiguo. Este factor es mejor entendido, y más fácil de realizar, para pozos en tierra que para pozos marinos, probablemente a causa de la naturaleza del proyecto.

Si sus pozos marinos fueron planeados y perforados con la participación de gente experimentada en perforación y que tiene la responsabilidad de la operación diaria, Us. podrá esperar la mejor operación que pudo esperar alguna vez.

#### Equipo de Remoción de Sólidos.

Es muy común decir que hay más de una manera correcta de arreglar un determinado juego de equipos de remoción para lograr una buena performance. Es cierto también - que por cada modo correcto, existen numerosos modos incorrectos. La experiencia en el campo de inspección de instalaciones, indica que la ley de probabilidades no produce suficientes arreglos eficientes. Se necesita algo mejor, pues actualmente se opera con errores muy antiguos pese a que se tiene conocimiento de ello.

Antes de pasar a describir algunos arreglos típicos, una descripción de cada equipo de remoción puede aclarar cualquier confusión.

#### Zarandas Vibratorias.

La implementación de zarandas vibratorias - en los últimos 10 años nos ha llevado a una paradoja de una pobre disminución de sólidos en muchos pozos. La "alta performance" de la capacidad de la zaranda con sólidos finos ha sido establecida sin haber tenido relación con los sólidos o tipos de sólidos del lodo. Como resultado, cuando la capacidad de

remoción es más crítica en una perforación rápida en zarandas - de gran superficie y perforación intermedias, estas mallas se saturan, se taponean y hay que by-pasearlas parcial o totalmente. Una de las reglas irrevocables en perforación es "si los sólidos acarreados son demasiado pesados para ser tratados con zarandas, no espere que los ciclones puedan manejarlos".

Podemos encontrar muchos pozos cuyas formaciones al ser perforadas ocasionan pocos problemas con zarandas standar, pero las mallas tienen serios problemas operacionales debido a que se tienen que by-pasear mallas de "alta performance" en el momento en el que más se le necesita. La respuesta es adquirir mallas que puedan manejar el flujo total de lodo en las condiciones máximas de perforación. Si tienen una performance alta o baja es secundario al problema. Una baja performance es infinitamente deseado a no tener performance.

De acuerdo a la información que se me ha proporcionado, todas las pruebas de campo en períodos críticos de perforación rápida muestran que no hay una malla práctica que sea capaz de remover más del 50% de la arena API que se la ha alimentado. Es muy recomendable que cada uno realice sus propias pruebas de campo antes de reducir su equipo de remoción de

sólidos, especialmente si en los últimos años ha tratado o está tratando de incrementar su capacidad de perforación.

Trampa de arena.

Como se le quiera llamar, este pequeño equipo puede hacer o deshacer un sistema marginal y es importante a todos los sistemas. Si una zaranda se perfora, esta trampa retendrá las partículas más grandes que podrían taponear o malograr algún equipo posterior. Si el sistema de by-pass de la zaranda es abierto accidentalmente por unos minutos, la trampa de arena en algunos casos salvará el sistema de remoción de sólidos. Incluso se le puede usar como desarenador de crudo, luego de la zaranda y bajo condiciones de acarreo de sólidos pesados, pero solamente si está apropiadamente construida y usada.

La trampa puede ser corta, pero debe ser profunda. Los bordes deben tener un ángulo hacia el exterior de aproximadamente 45°. La válvula de salida debe ser lo suficientemente larga para evitar taponeamientos, y debe ser de apertura y cierre rápido. Como norma se debe limpiar de sólidos la trampa en cada viaje de lodo. Durante la perforación, no debe ser necesario limpiar la trampa, a no ser que se presen

te una sobrecarga de sólidos o que algún defecto en la zaranda obligue a tocar la trampa, para así tratar de mantener la operación en marcha. El lodo líquido no debe ser eliminado, solo deber ser precipitados o retenidos los sólidos. Para esto es necesario una apertura de cierre lento.

No se necesita decir que esta trampa de arena no debe ser usada como succión de un hidrociclón o un degasser o alguna otra pieza del equipo. Además no debe ser agitado puesto que evita la decantación de sólidos.

Degasser.

Puesto que las bombas centrífugas, por razones de abrasión no pueden procesar lodos que contienen gas o aire, el degasser debe trabajar al iniciar el flujo hacia cualquier bomba. Cuando el degasser es necesario, se necesita procesar todo el lodo circulante, lo cual requiere que sea de una capacidad un poco mayor.

El degasser puede operar solo, no necesitará ser operado en paralelo con un hidrociclón o mezclador o pistola de lodo, etc. Lo mismo se considera para los otros equipos de remoción de sólidos.

### Desander.

El desander o desarenador, se necesita en forma primaria para prevenir una sobrecarga de sólidos del desilter. En años recientes, una tendencia a justificar las zarandas de alto precio de manera que se elimine los desanders, ha contribuido a que se experimenten nuevos problemas en la remoción de sólidos. Muy pocos pozos han sufrido por una "excesiva limpieza" de los lodos, por el contrario, aquellos que han limpiado más los lodos han logrado los beneficios más económicos. El término "desander" cubre un amplio rango de productos en el mercado. Al comprador le conviene recordar que el propósito de bombear un fluido a través de este equipo es el de remover sólidos, no como el final para los mismos. Si las aberturas de las descargas de sólidos, no son lo suficientemente grandes para descargar los sólidos que deben ser descargados, el bombear el lodo a través de estos equipos nos costará potencia y mantenimiento.

### Desilter.

Un buen desilter o deslimador, con una capacidad de descarga de sólidos adecuada para la cantidad de lodo con que será alimentada, pagará su costo muchas veces más. En < si-

tuaciones de perforación lenta, no se necesita un desander antes de este equipo, si la zaranda está en buenas condiciones y no son by-paseadas. Un buen desander delante del desilter producirá - menor desgaste del mismo. En situaciones de perforación rápida, se necesita buenas unidades de desander antes de los desilters o incrementar la capacidad de los mismos. Como en el caso de los degasser y los desanders, los desilters no deben trabajar en paralelo con ningún otro proceso.

Separador de Sólidos Centrífugo Horizontal.

Esta centrífuga en el pasado ha sido usada para la recuperación de material espesante en lodos pesados mientras removía arcillas que producían viscosidad. Está ganando marcada popularidad en la recuperación de líquidos de perforación gastados, para reducir el costo e impacto ecológico de su eliminación. Sea cual fuere la razón para que una centrífuga se encuentre en el campamento, probablemente será usada para reparar material espesante si un lodo pesado está siendo usado. El operador prudente hará provisiones para que en algún momento instalar una centrífuga si planea perforar en situaciones de lodo pesado.

Desde cualquier punto de vista se puede considerar que la centrífuga es el equipo de más fácil operación. Un factor que hay que tomar en cuenta es que un sólido o líquido es pesante, o un lodo más pesado que el lodo del sistema y con diferentes propiedades es agregado al sistema de lodo empleado, este debe ser agitado convenientemente en el punto de entrada. La descarga de sólidos de la centrífuga no es la excepción de la regla, y esto debe ser tomado en cuenta al instalar una máquina de estas en un pozo.

Como muestras de capacidad pondremos algunos ejemplos:

- Separador de sólidos de 14" x 36" (36 cm. x 92 cm.).

Con un motor de 35 HP, girando el rotor a 1600 RPM, genera una fuerza centrífuga equivalente a 500G; tiene una capacidad de tratamiento de hasta 60 gal/min, con una recuperación de sólidos en el rango de 6 a 10 micrones como mínimo.

- Separador de sólidos de 14" x 56" (36 cm. x 142 cm.).

Con un motor de 35 HP y variando la velocidad de rotor tendremos:

- Con una velocidad del rotor de 3250 RPM, genera una fuerza centrífuga de 2100 G y puede procesar hasta 100 GPM

con una recuperación de sólidos de 1 1/2 a 2 micrones como mínimo.

- Con una velocidad del rotor de 2500 RPM, genera una fuerza centrífuga de 1210 G y con una capacidad de procesamiento de hasta 100 GPM puede recuperar sólidos de 6 a 9 micrones como mínimo.
- Con una velocidad del rotor de 1900 RPM, genera una fuerza centrífuga de 700 G y tiene una capacidad de procesamiento de hasta 200 GPM recuperando sólidos de hasta 10 o 12 micrones como mínimo.

c) Casos en los que se emplearía un separador de sólidos centrífugo horizontal en el tratamiento de los lodos de perforación.

Usualmente el separador de sólidos centrífugo horizontal se emplea en los siguientes casos:

1. Reducción del sistema (incrementar el peso del sistema de lodo mientras decrece el volumen del mismo).
  - a. Esto es realizado durante el espesamiento del lodo, es siempre una ventaja al reducir el sistema del lo-

do al final del trabajo de perforación, preparándolo para transferirlo a otra perforación por economía.

- b. Baritinas frescas (con algo de agua absorvidas en la superficie), pueden ser añadidas durante el espesamiento para obtener un aumento de peso más rápido y así mantener el volumen circulante en las tinas. Esta aplicación puede ser alternada con la 3a. que se mostrará a continuación.
  - c. La pérdida de fluidez y el punto de rendimiento del lodo básicamente no se ve afectada por el espesamiento, pero la viscosidad plástica se incrementará gradualmente con el crecimiento del peso del lodo y el crecimiento del porcentaje de sólidos durante el espesamiento.
  - d. Si se está perforando durante el espesamiento, muchos factores afectarán el sistema, y todas las propiedades del lodo deben ser controladas y tratadas - tal y como sería necesario si la centrífuga no estuviera en el sistema.
2. Reducción de las propiedades de flujo del lodo (control de viscosidad).

- a. La máxima propiedad de flujo (viscosidad plástica o segundos Marsh Funnel) deseada debe ser establecida por el operador como el punto en el cual la máquina es arrancada.
- b. La mínima propiedad de flujo deseada debe ser establecida por el operador como el punto en el cual la máquina es parada.
- c. Las tablas proporcionadas con los equipos nos dan un monto aproximado de líquido fresco requerido en la entrada por el sistema para contrarrestar el efecto de incremento de peso mientras el equipo está operando.
- d. Los agentes de control de pérdida de fluidez (la más efectiva es bentonita), debe ser añadida mientras la máquina está operando para contrarrestar la descarga de dichos agentes con el material de arcillas removidas por la máquina con el líquido libre. Lo mismo es válido para aceite o petróleo, si es empleado como parte del sistema.
- e. Esta aplicación puede ser combinada con la 3b. mostrada a continuación.

3. Recuperación de material espesante de lodos que van a ser transferidos o de los sistemas de reserva.

a. Cuando el material espesante es recuperado de un sistema para aumentarle peso:

(1) Se encontrará un sistema de incremento de volumen de lodo de acuerdo al volumen de salida de sólidos de la centrífuga. Esto será compensado por el volumen de los cortes que están siendo removidos de la zaranda o hidrociclones.

(2) El efecto en las propiedades del sistema de lodo durante la recuperación de material espesante, es el sistema que durante el espesamiento del sistema, pudiendo combinar esta aplicación con el proceso 1. descrito anteriormente.

b. Recuperación de material pesado (o cuando se agrega baritinas frescas) del sistema para incrementar el volumen sin incrementar el peso:

(1) Agua debe ser añadida con la descarga de sólidos de la centrífuga para contrarrestar la

tendencia de incrementar el peso del material espesante. Es también válido si se añaden baritinas frescas.

- (2) El contenido de petróleo será reducido y la pérdida de fluidez se incrementará si no se añada petróleo y agentes de control de pérdida de fluidez con el agua durante el proceso. Las propiedades de flujo también serán reducidas en este proceso, y si esta reducción no es deseada, se debe añadir arcilla para contrarrestar el efecto.
- (3) Si se pudiera elegir, el proceso de recuperación debe comenzarse cuando la viscosidad del sistema está alta en lugar de cuando la viscosidad está cerca a la mínima deseada.

c. Almacenaje y manipuleo de lodos pesados para recuperación:

- (1) Los tanques de acero con equipos de agitación siempre justificará su costo comparado a una tina en tierra para almacenar lodos pesados. La ventaja del tanque de acero es que pueda

ser agitado para permitir una recuperación - completa del material espesante.

- (2) El material espesante debe ser recuperado del sistema tan pronto como sea posible para reducir las pérdidas por asentamiento en las tinas o en los tanques de acero sin equipo - de agitación. En cualquier caso el material espesante debe ser recuperado rápidamente puesto que su verdadero valor solo se podrá saber solo después que está en el sistema activo.

#### 4. Reducción de la contaminación de líquido.

- a. Se debe remediar la causa de una contaminación (más peso de lodo y/o reducción de la viscosidad si hay un flujo de agua salada, por ejemplo) antes de tratar de reducir la contaminación.
- b. Para el 100% de remoción de la contaminación se debe recuperar el material espesante en una tina limpia con líquido fresco, arcilla y fase coloidal. - Debe hacerse en batchs y como sea necesario con el sistema de lodo disponible.

c. Para una remoción de contaminación parcial, hacer circular el lodo por el pozo tan lento como sea posible, mientras se centrifuga el sistema activo. Será necesario añadir material espesante, agentes de control de pérdida de fluidez y petróleo si es necesario al lodo de salida de la máquina para mantener sus propiedades. Esto a causa del rango de propiedades de flujo normales que controlan el arranque y parada de la centrífuga.

5. Reducción de sólidos totales.

Cuando una centrífuga es usada en un sistema de perforación para reducir propiedades de flujo de lodo, el total de sólidos será reducido por la descarga de sólidos de tamaño coloidal. Sin embargo, el total de lodo descargado y la adición de baritinas y líquido fresco para la misma reducción de viscosidad hará máxima la reducción de sólidos totales. La pérdida de baritina variará de una fracción al total, de acuerdo al método usado. El propósito real y la justificación de la centrífuga es reducir el costo del lodo sin sacrificar el control de las propiedades físicas esenciales del sis-

tema de lodo. Estas propiedades esenciales son: peso de lodo, viscosidad, resistencia gel y pérdida de fluidez. La función principal de la centrífuga no es controlar el porcentaje total de sólidos en un lodo pesado, pero controla los sólidos finos, y por ende las propiedades de flujo. Bajo ciertas condiciones, discutidas previamente, la operación de la máquina puede reducir considerablemente el total de sólidos presentes.

Algunos diagramas de flujo considerados correctos para sistemas de control de sólidos.

Las figuras 1 al 16 mostradas a continuación, muestran algunas instalaciones consideradas correctas para sistemas de control de sólidos. Estos diagramas no garantizan una instalación adecuada, pero tampoco evitarán que se logre la máxima performance de el equipo que se seleccione. Esto es lo que se espera en un diagrama de flujo.

Tal vez se piense que se han visto instalaciones como estas, que no tuvieron buenos resultados; pero en una inspección general se encontrará que una línea se ha movido para "ahorrar un compartimento", o dos o más líneas han sido uni-

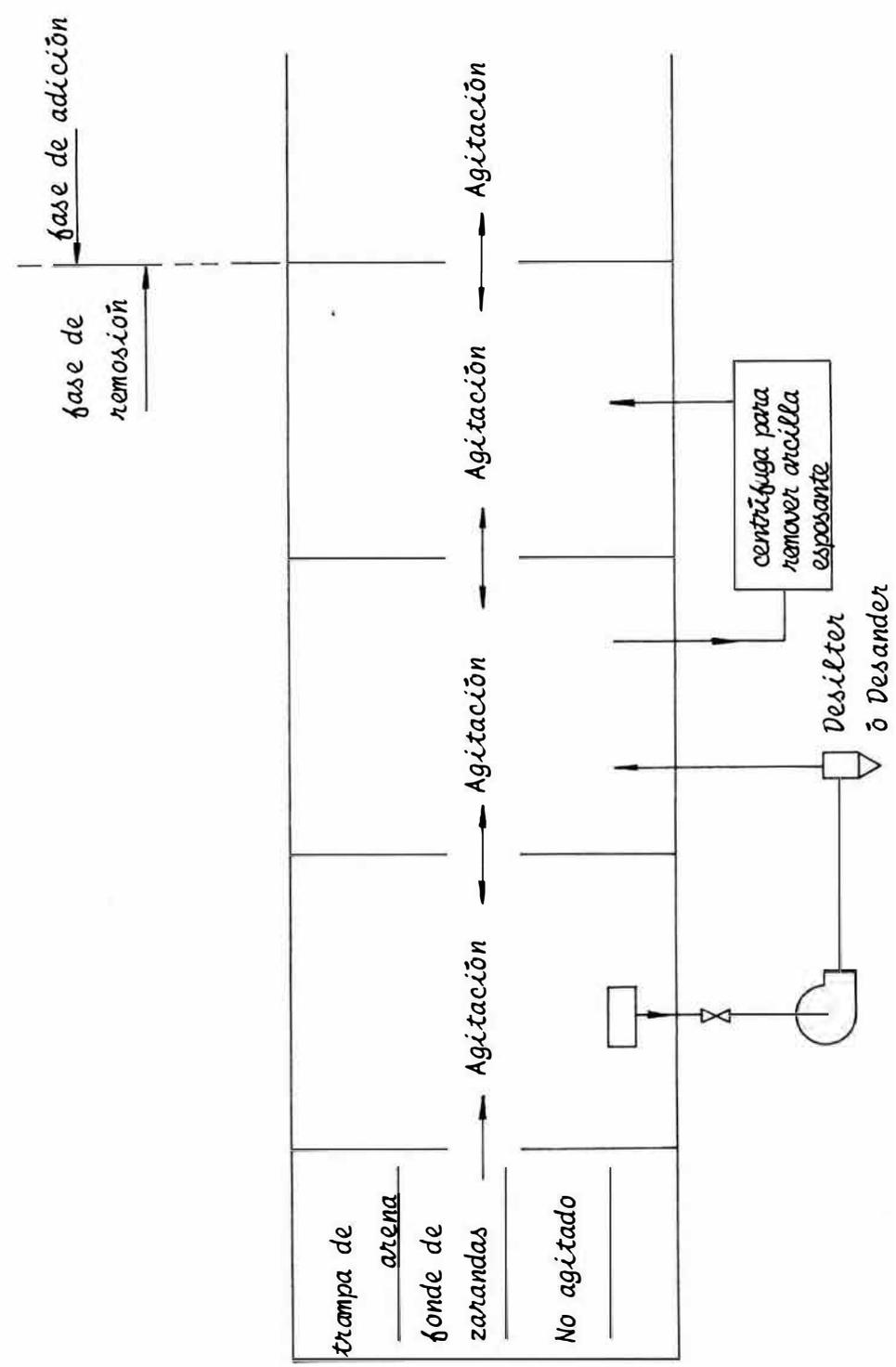
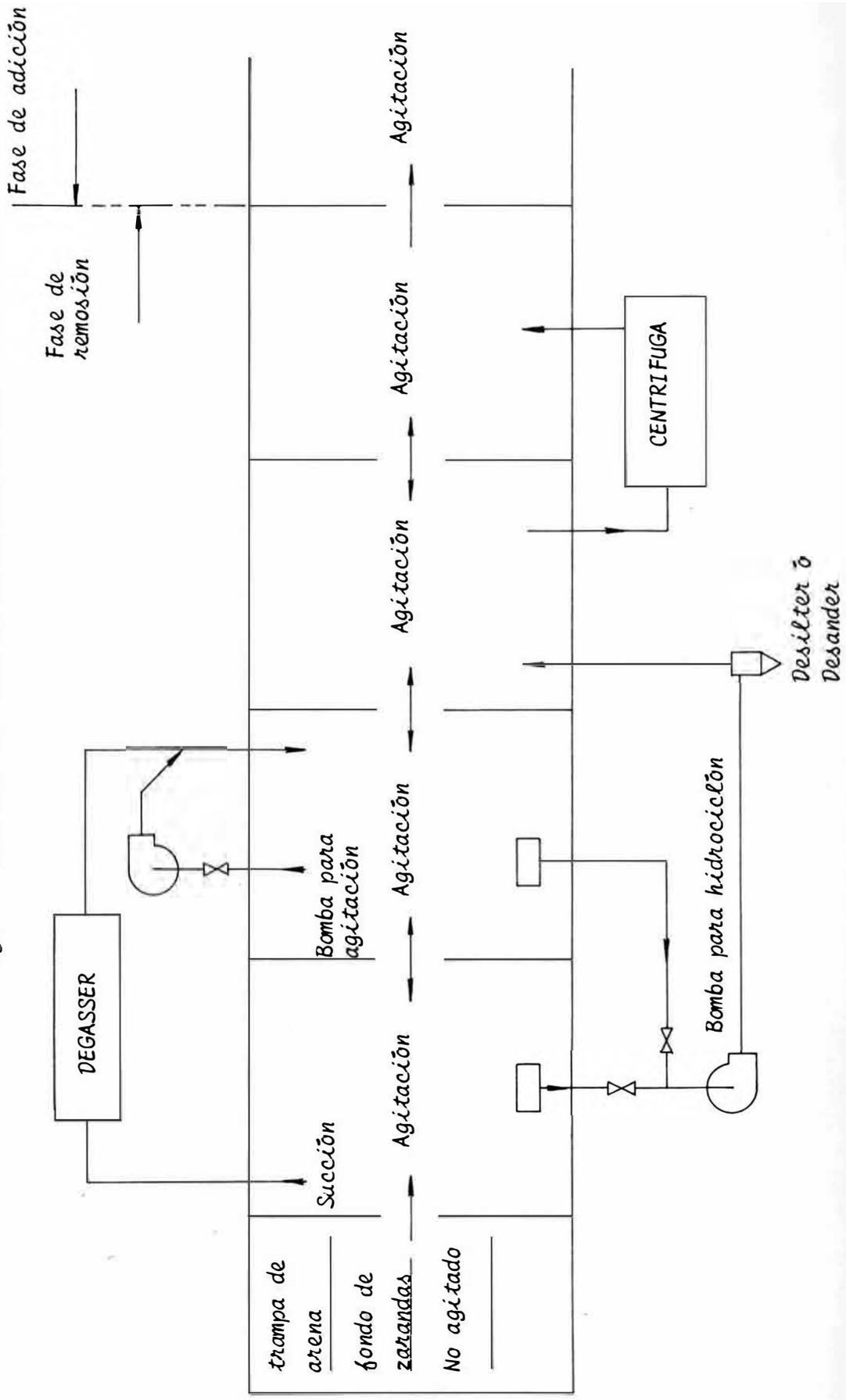


Fig. 1 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

Fig. 2 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

Fig. 2 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



das (a un manifold) "de manera que las bombas sean intercambiables", etc., etc. Estas variaciones aparentemente inocentes pueden arruinar la efectividad de una instalación de varios miles de dólares. Debe notarse que estos diagramas cubren solamente el sistema de control de sólidos. La reacción normal a estos diagramas es que no se cuenta con el espacio suficiente para instalar los compartimientos necesarios. Aún no se ha demostrado, pero hay razones para pensar que unos compartimientos de área horizontal cuadrada o redonda, igual al máximo flujo de lodo que entra, sale o va a través del compartimiento dividido entre 15, funcionará muy bien y con certeza mejor que tanques sobredimensionados que fuerzan el proceso en paralelo.

Se deja libre la posibilidad de disminuir o aumentar el número de equipos. Lo que recomienda con mucho énfasis es el uso de bombas centrífugas de un solo uso, sin el empleo de manifold, para asegurar su uso apropiado. Asi podemos estar seguros que si apretamos el botón para usar el desander, funcionará de la toma adecuada a la descarga adecuada. Lo mismo ocurrirá para el degasser y desilter. En el caso de que la electricidad disponible sea limitada, se podrá estar seguro que ocurrirá el proceso deseado, sin lugar a error.

Nuestra única concesión para manifoldear al

Fig. 3 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIEACTIVA

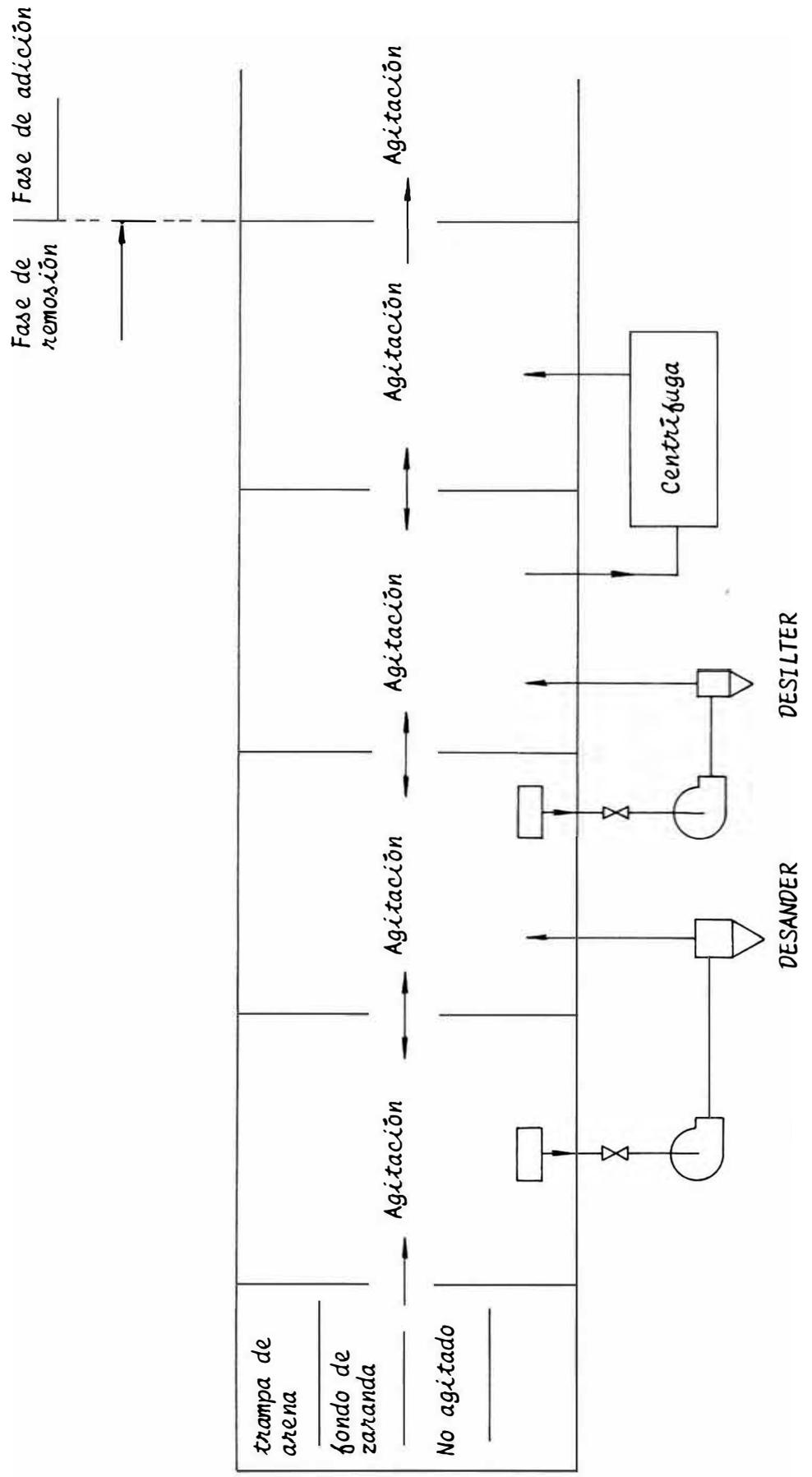
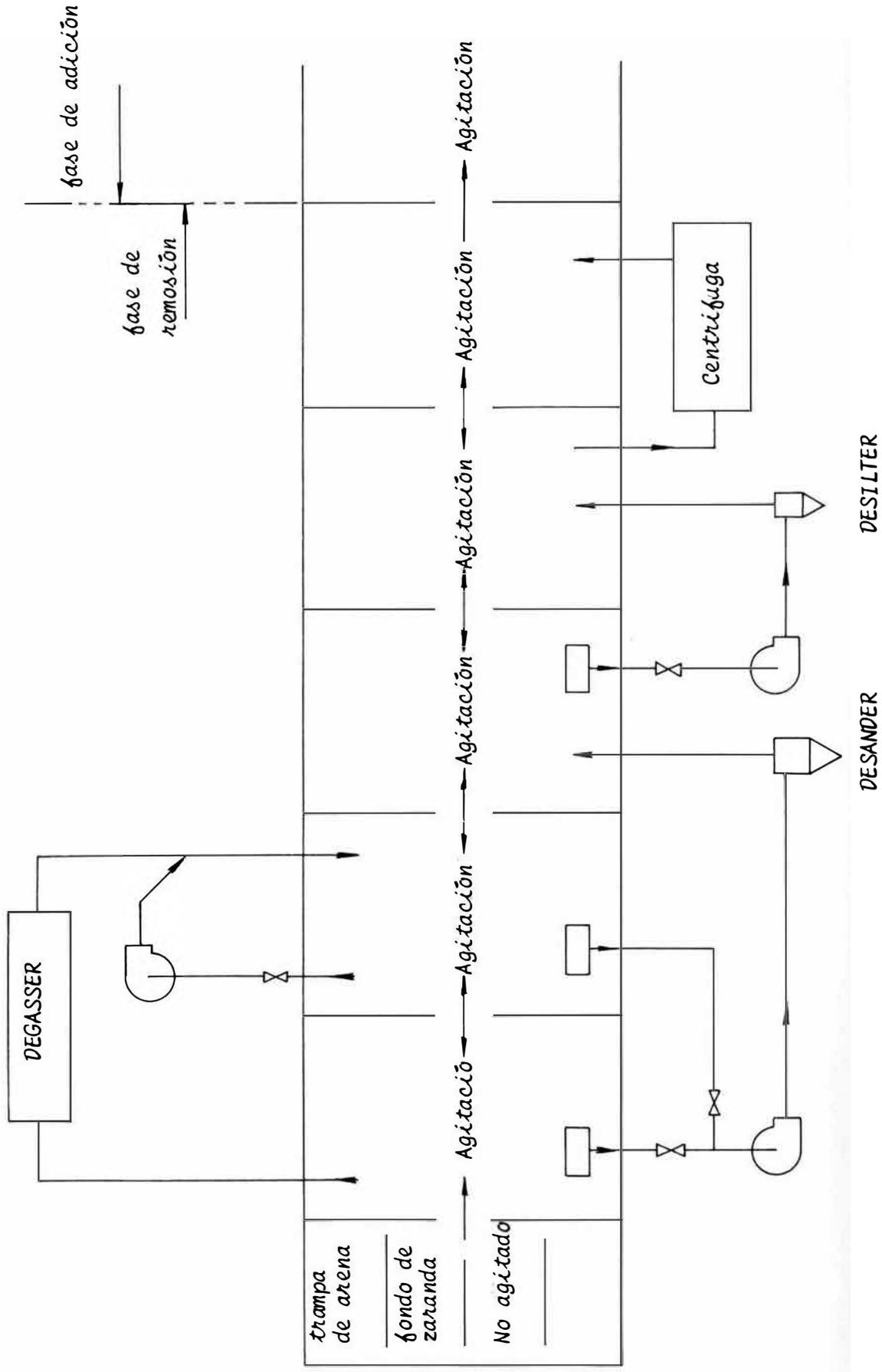


Fig. 4 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



guna línea, es una succión alternada en la primera etapa de hidrociclones para hidrocyclonear el compartimiento de succión del degasser solo cuando este último equipo no está operando. Esto se puede observar mejor en las figuras 2 y 4. Si la experiencia demuestra que esta unión no es tolerable, deberá retirarse la succión de los hidrociclones del compartimiento de succión del degasser. La relación de compartimientos no se verá afectada de ningún modo.

Las figuras del 1 al 4, ilustran algunos arreglos para varias combinaciones de equipos. Todos los casos para pozos que no se usan más de una bomba. Unidades simples de desilters (o desander) se encuentran como standar para procesar la salida de cualquier bomba de lodo. Si la zaranda es la adecuada, una buena unidad de desilter puede procesar un volumen de flujo del lodo que no excede la razón de bombeo de lodo al pozo dividido entre 12. Este tipo de instalación se muestra en las figuras 1 y 2.

Las figuras 3 y 4 muestran un sistema que puede procesar razones de flujo mayores en virtud de añadir nuevas etapas de desanders. Estos esquemas se recomiendan solo para pozos que se perforan con menos de 800 GPM de lodo.

Fig. 5 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

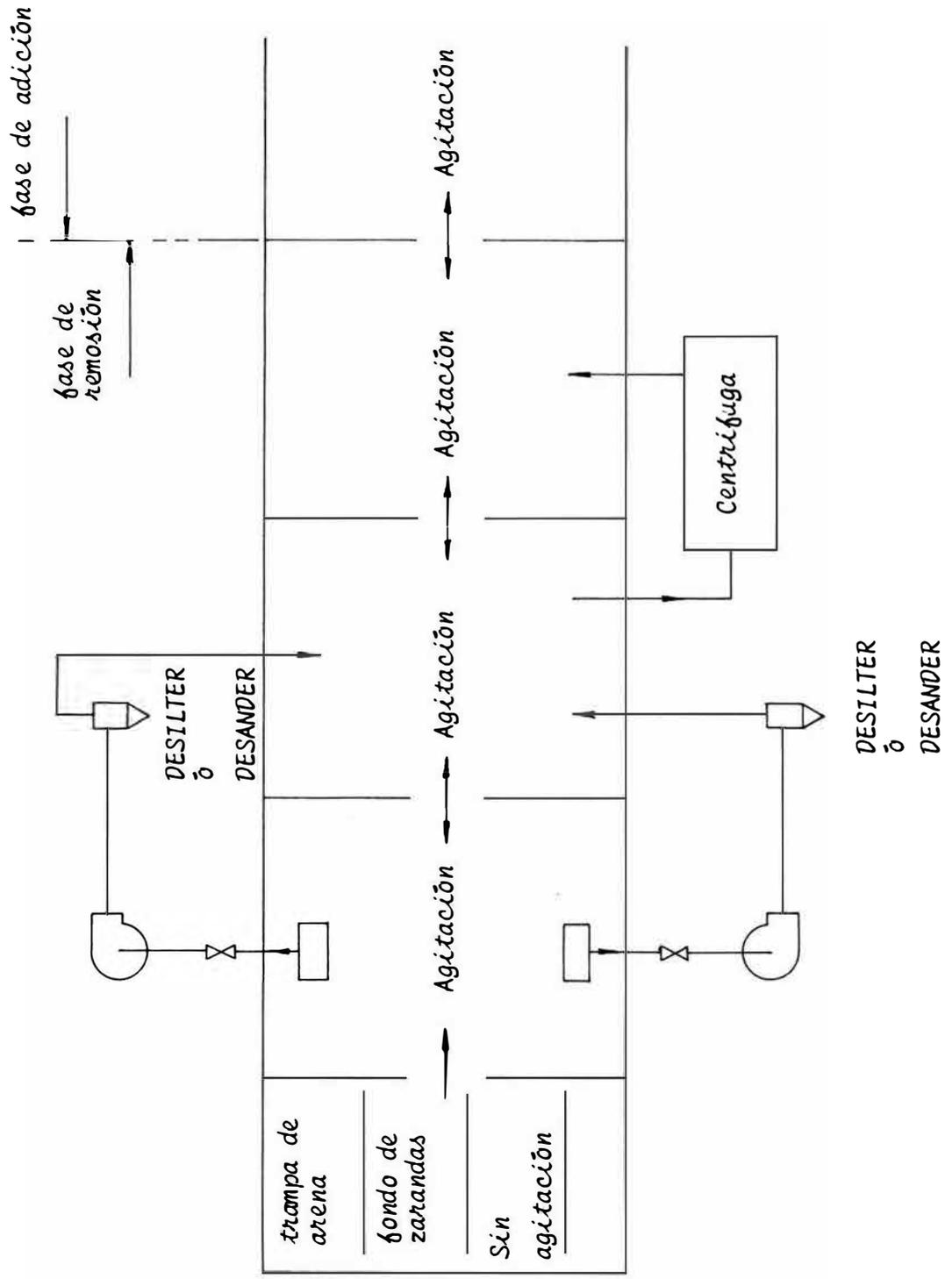


Fig. 6 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

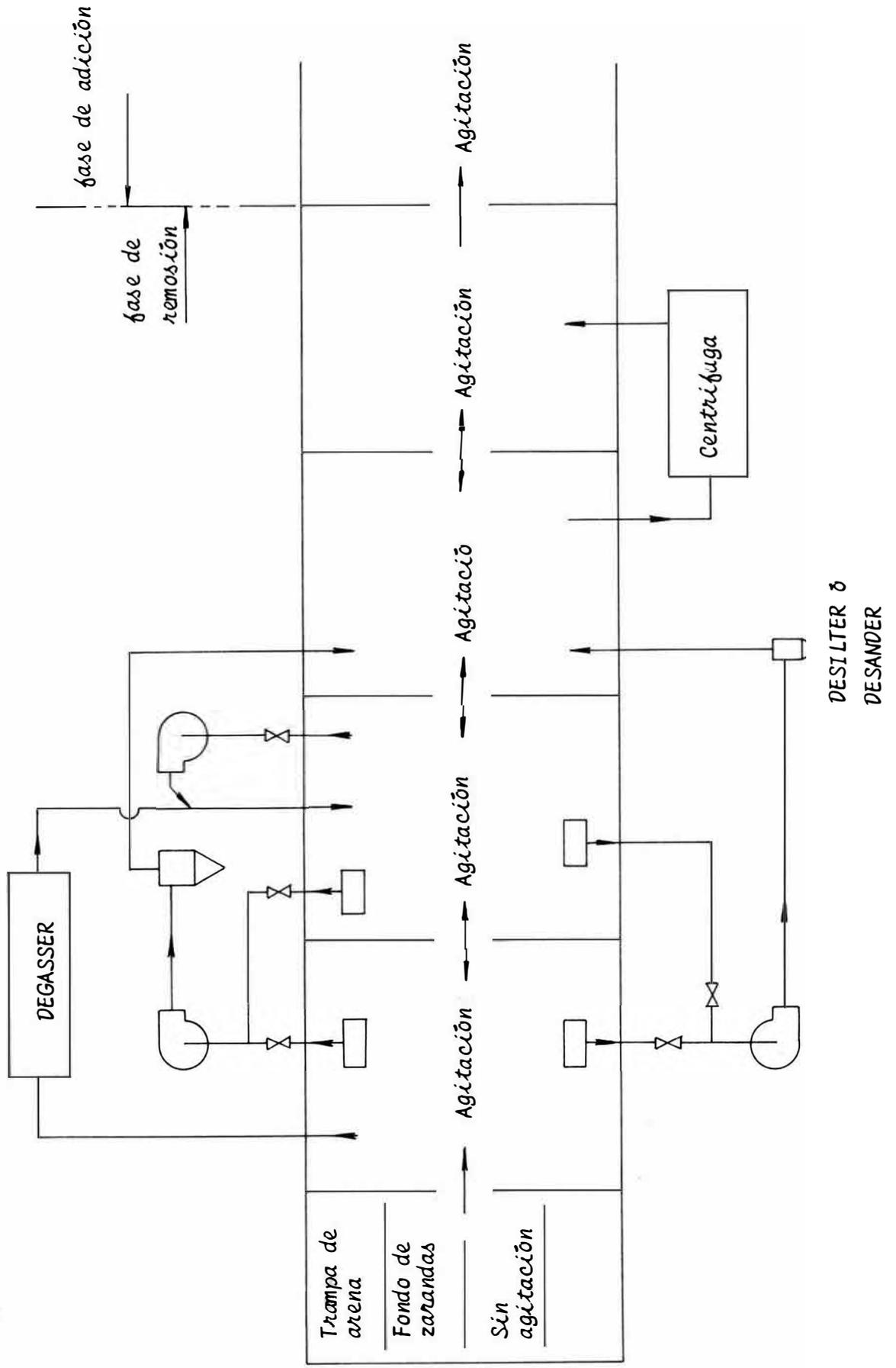
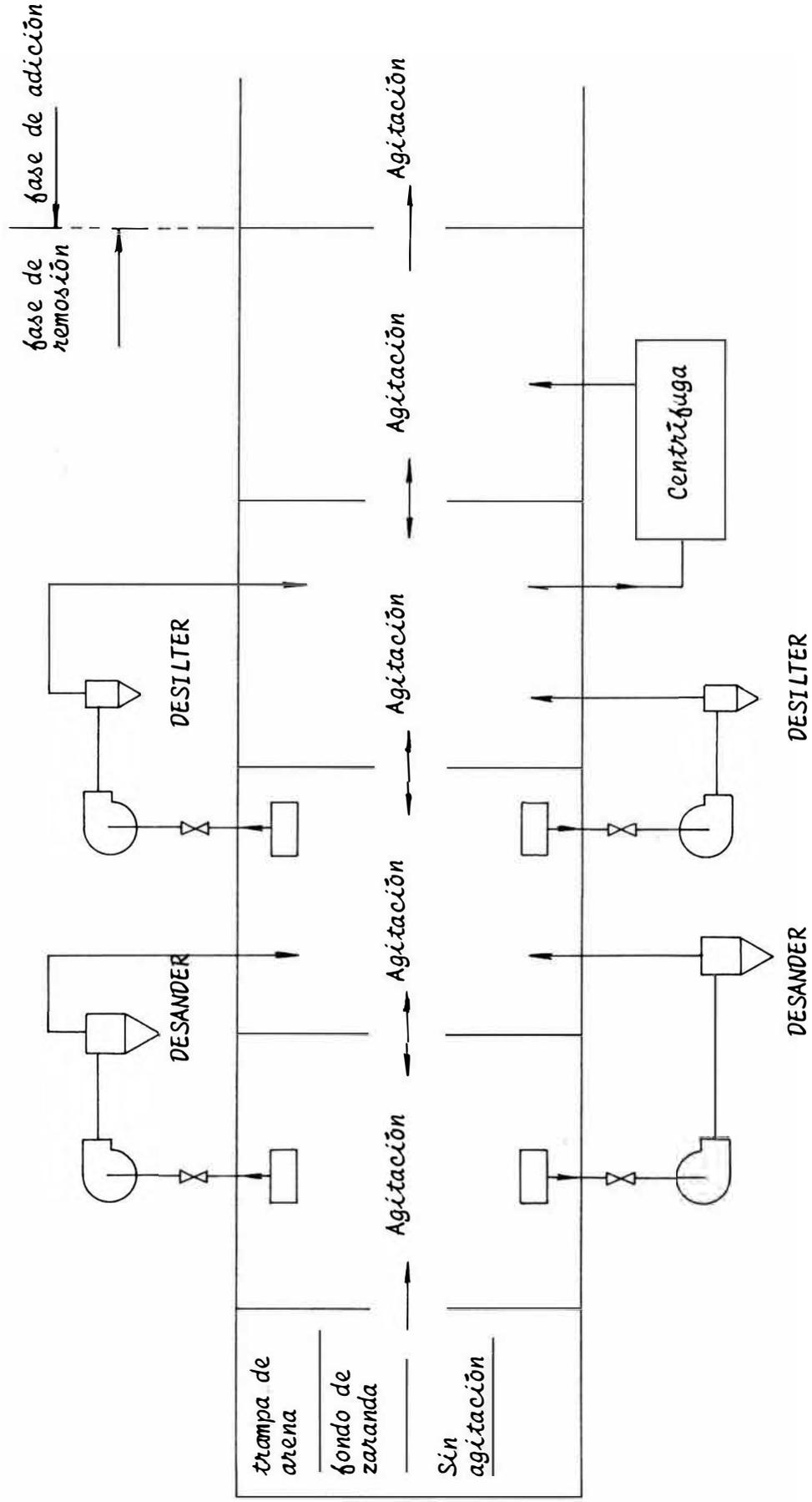


Fig. 7 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



Todas las bombas centrífugas de las figuras 1 al 4 son simples y para un solo uso. La ingeniería de instalación de bombas es muy simple y puede ser diseñada para un costo de mantenimiento mínimo del sistema. Los esquemas del 1 al 4 son muy eficientes y son recomendados para los equipos mostrados.

Los pozos que se perforan con 2 o más bombas de lodo, necesitan se les instale varias unidades de hidrociclones, cada uno con mayor capacidad que la bomba de lodo. Esto permite usar solo una unidad de hidrociclón si solo una bomba está operando, es decir la velocidad de perforación no es muy alta.

El mantenimiento puede ser hecho mientras se mantiene la perforación pero se ha bajado el ritmo y solo se usa una bomba. Si se usan bombas centrífugas individuales, el mantenimiento de la bomba es fácil y la vida útil será máxima. Las figuras 5 al 8 muestran algunos arreglos para estos pozos.

Las figuras 7 y 8 representan lo que se considera lo último en alta performance. Se considera la centrífuga como un ítem opcional. Hay en el mundo por lo menos cua

Fig. 8 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

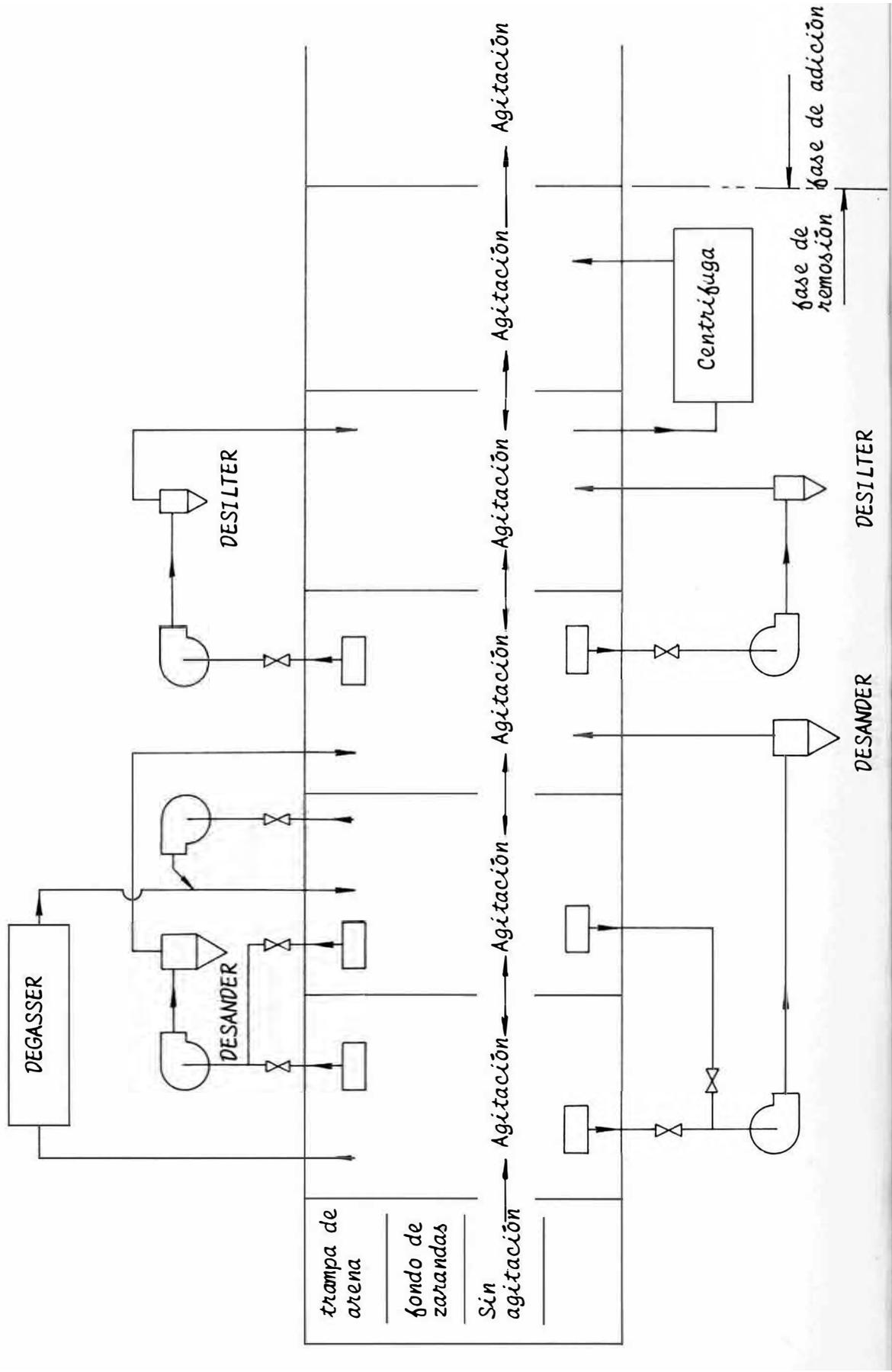


Fig. 9 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

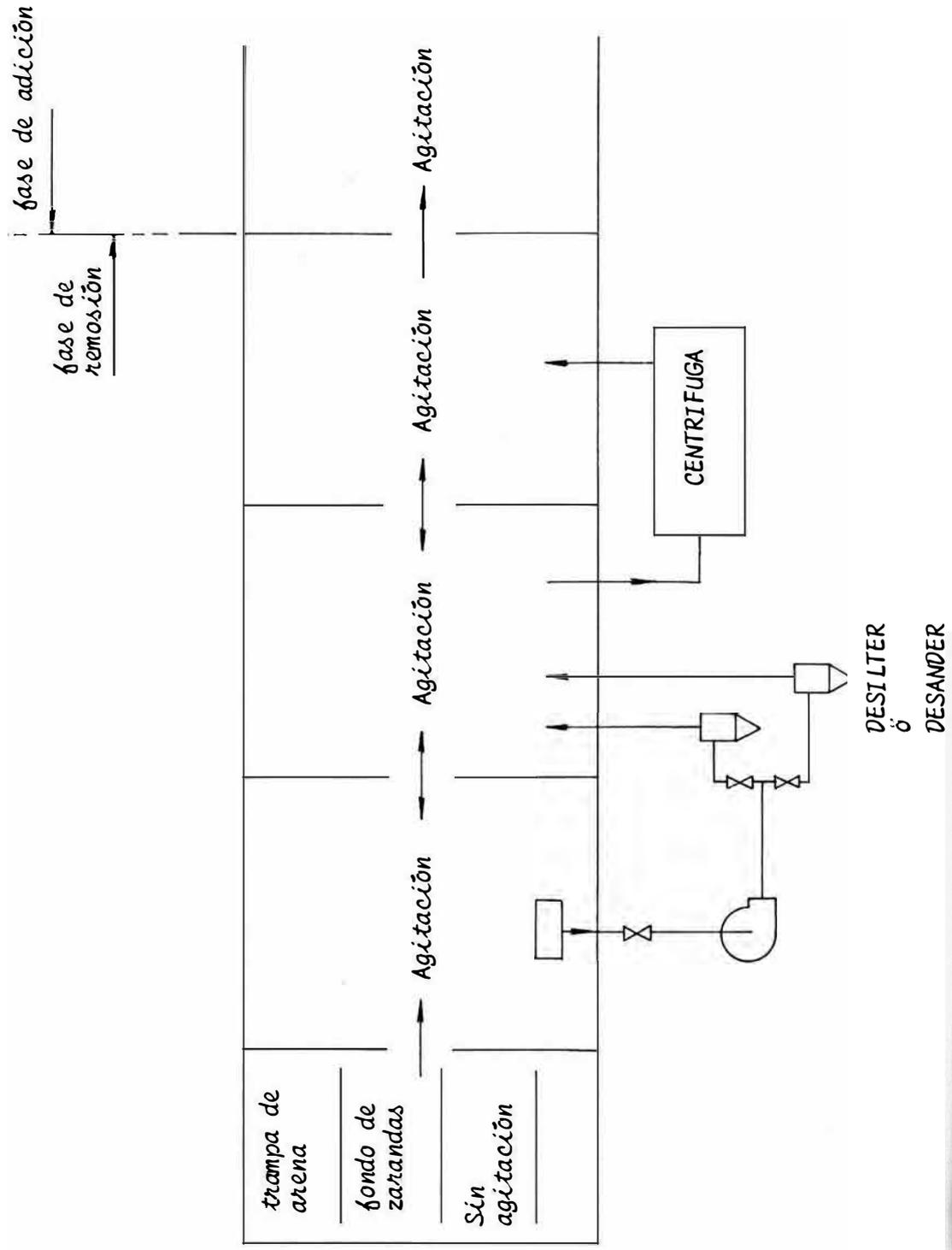
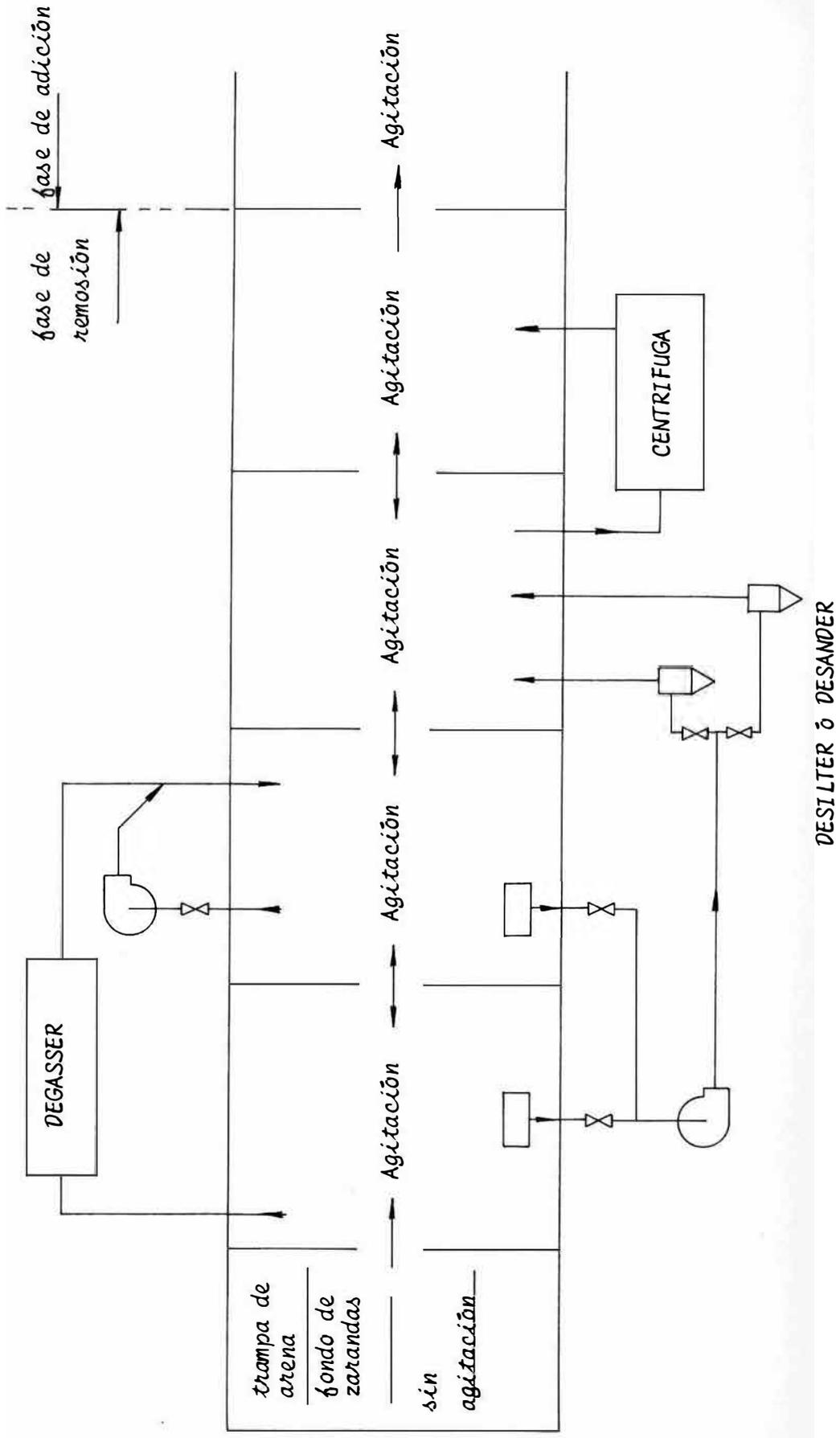


Fig. 10 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



tro pozos perforados con el mejor equipo disponible y un arreglo de acuerdo con la figura N° 8. Al parecer esta será la tendencia en el futuro.

El equipo mostrado en los esquemas N° 9 al 12 son para pozos con razones de bombeo de lodo altas (mayores de 800 GPM) o para el caso inverso, es decir para razones de bombeo bajas (menos de 300 GPM) con una velocidad de perforación más rápida que la que puede procesar un juego de hidrociclones.

La diferencia entre estos esquemas anteriores es que en las figuras N° 9 al 12, las bombas centrífugas son para un solo propósito, pero pueden ser usadas para bombear hacia una o dos unidades simultáneamente. Esto reduce el número de bombas, pero crea nuevos inconvenientes. La altura dinámica total de la bomba centrífuga es en extremo importante en este tipo de aplicación y la selección es muy crítica.

Los esquemas de las figuras N° 9 al 12 no son muy económicas en su operación, o tan efectivas en performance como las figuras 5 al 8, pero muchos pozos con equipos de perforación primera pueden acercarse a optimizar la remi-

Fig. 11 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

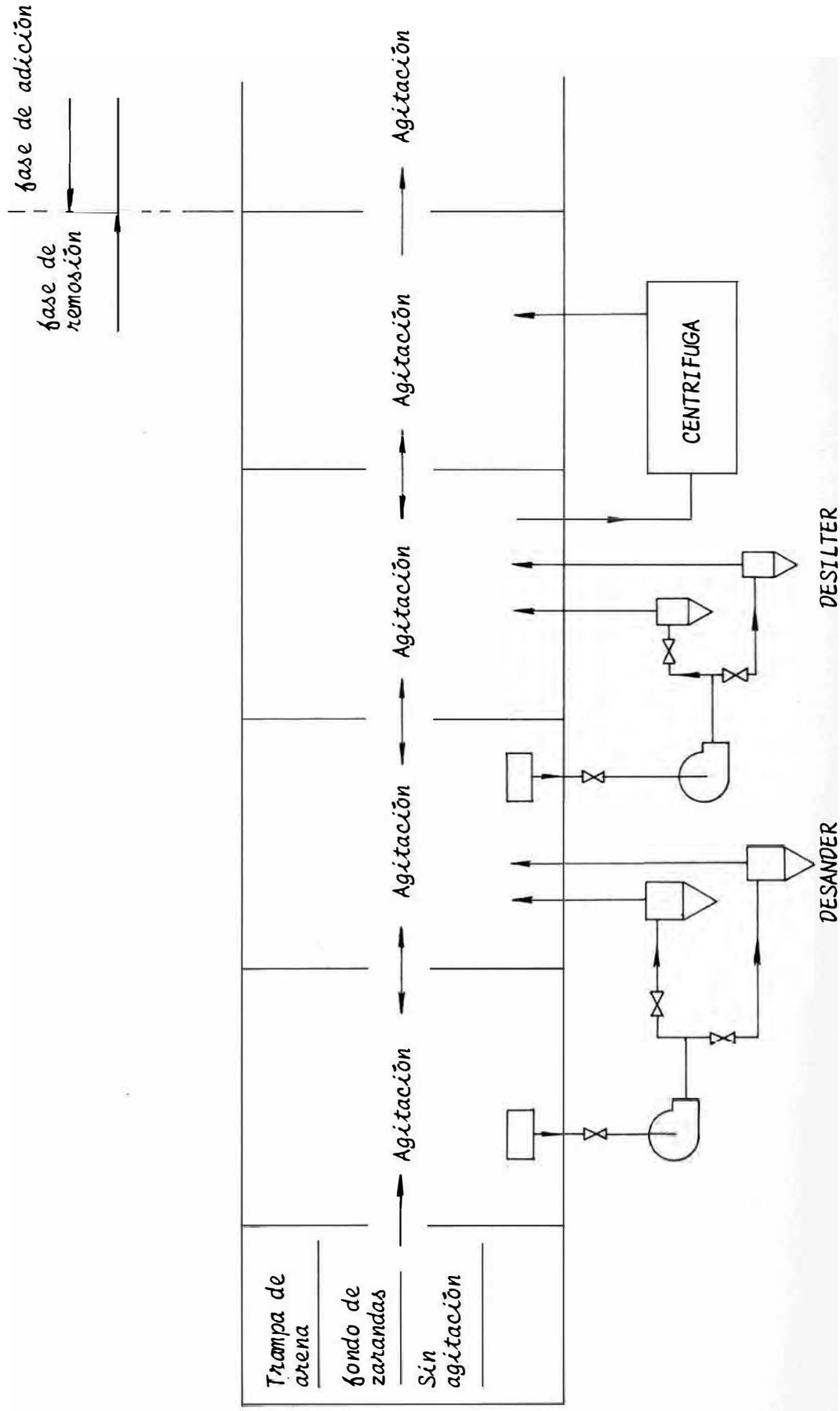


Fig. 12 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

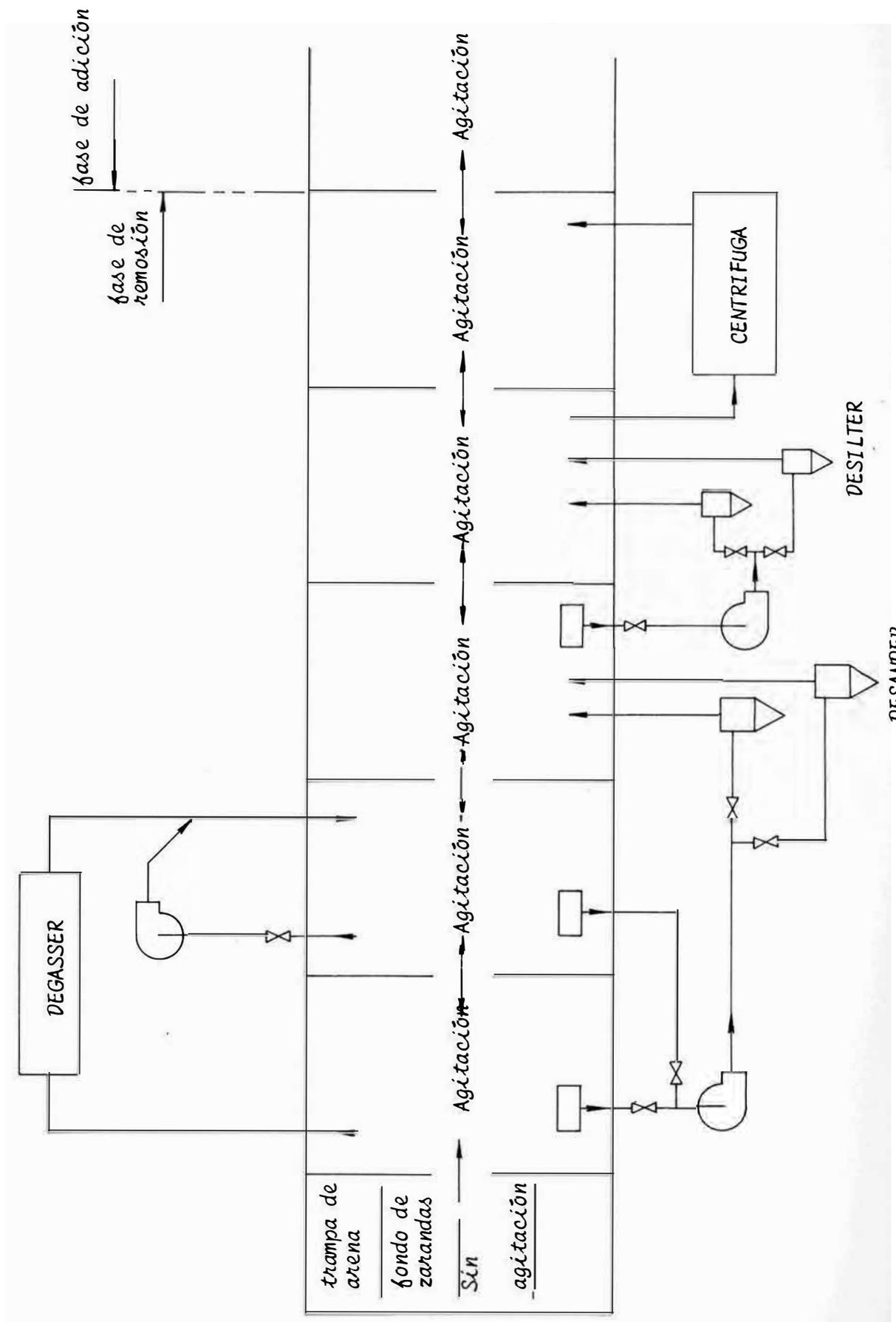
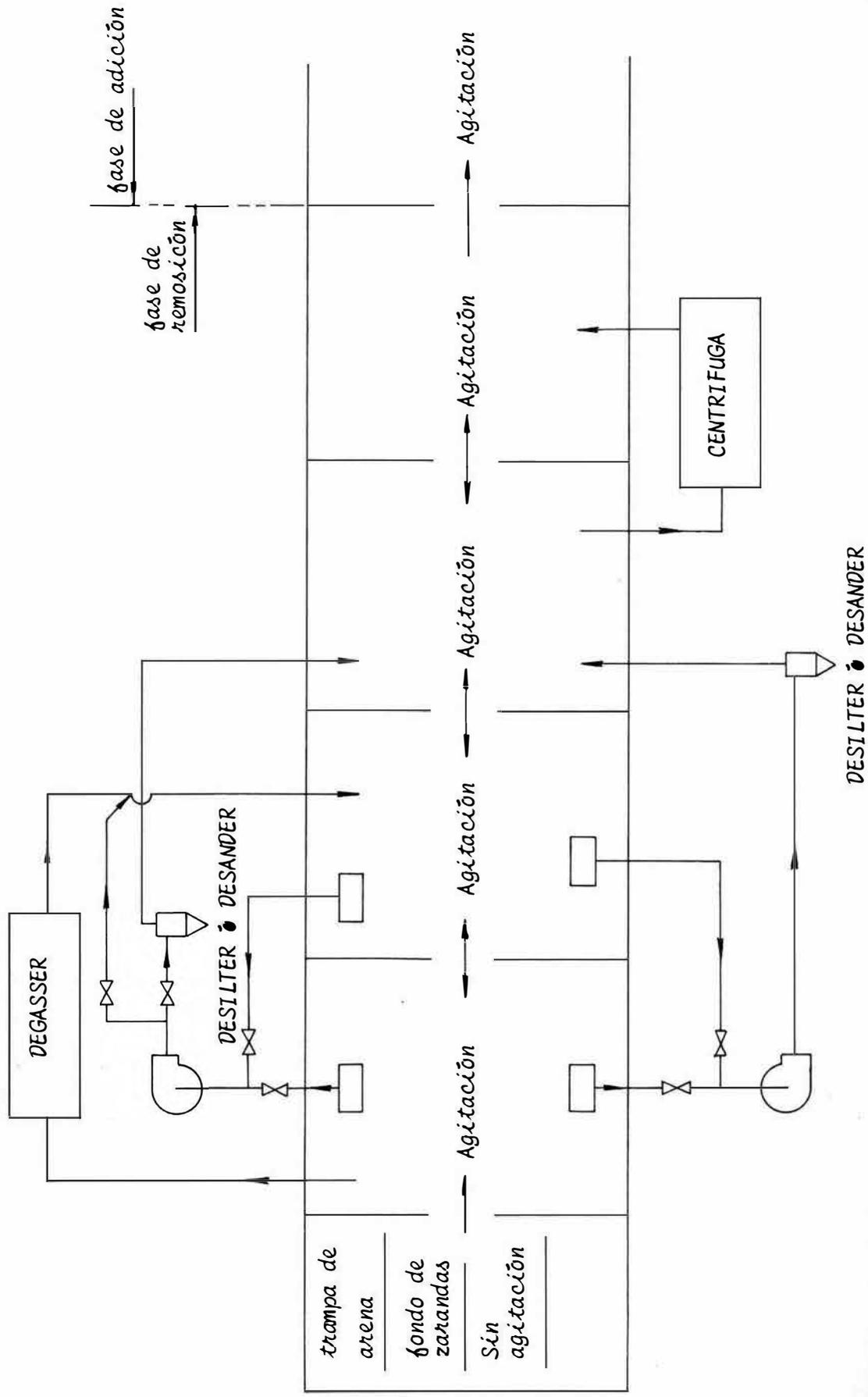


Fig. 13 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



sión de sólidos. Uno de estos problemas es que las bombas - centrífugas están siempre operando, lo que hace difícil su control para un mantenimiento preventivo.

Las figuras N° 13 al 16 se alejan un poco del sistema ideal. En estos esquemas algunas bombas centrífugas son usadas para alimentar dos unidades simultáneamente y algunas son para dos propósitos (pero no se debe pensar en dos propósitos simultáneos). La figura N° 15 muestra un esquema que es casi tan bueno como el N° 8. En contraste la figura N° 16 representa un esquema que no ofrece prácticamente ninguna posibilidad de mantenimiento de bombas centrífugas, pero sigue siendo un buen diagrama de flujo.

Los pozos pequeños con bajos volúmenes de lodo bombeado al hueco no tienen posibilidad de instalar unidades alternadas. Sus esquemas recomendables son del N° al 4. Si necesitan varias unidades, las figuras N° 5 al 8 son las más recomendadas. De la N° 9 a la 16 son considerados "arreglos de vitrina", pero algunos son muy buenos. Todos son correctos y nos ayudarán a desarrollar cualquier arreglo incorrecto con un equipo similar.

Fig. 14 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

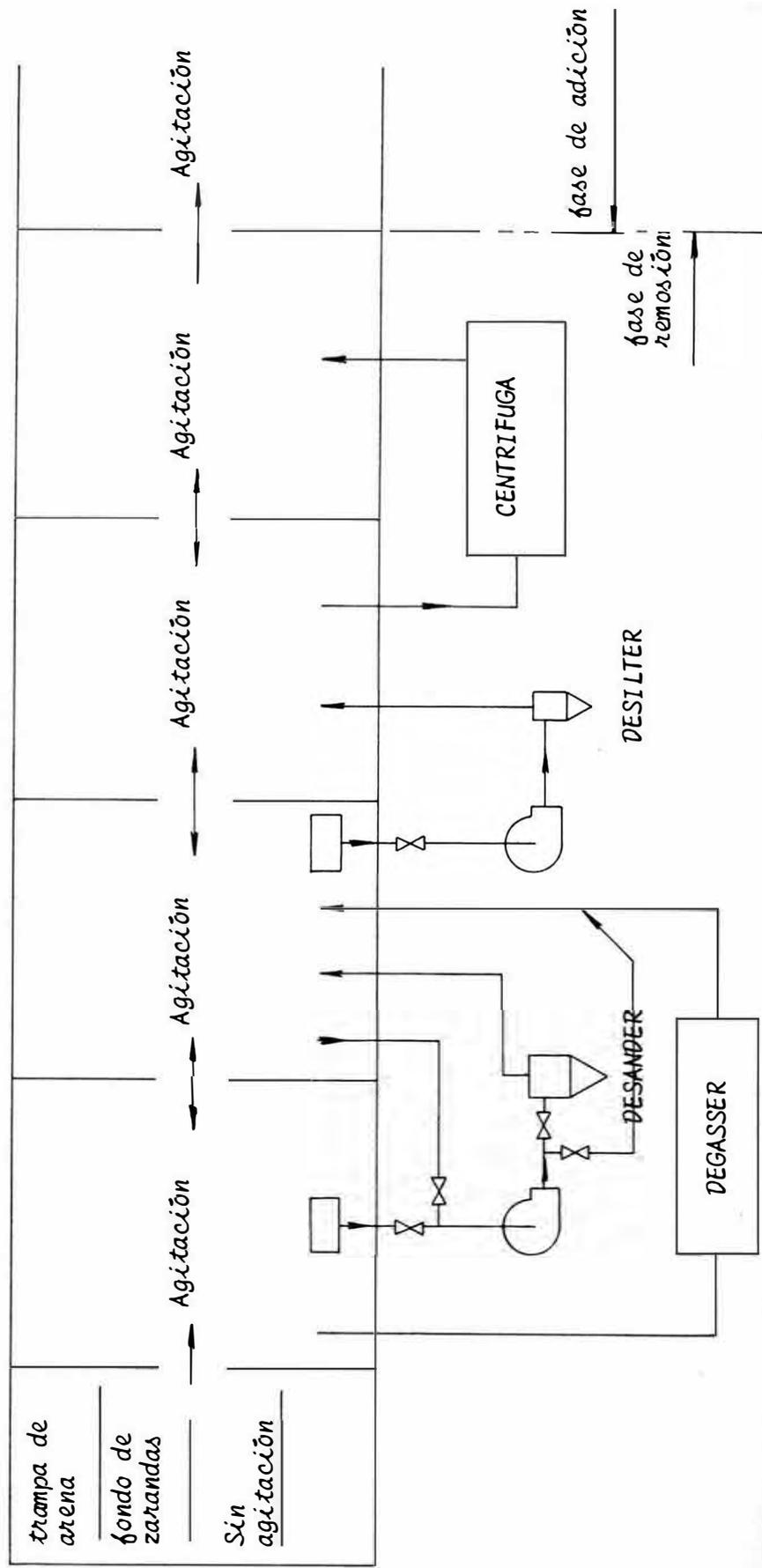


Fig. 15 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA

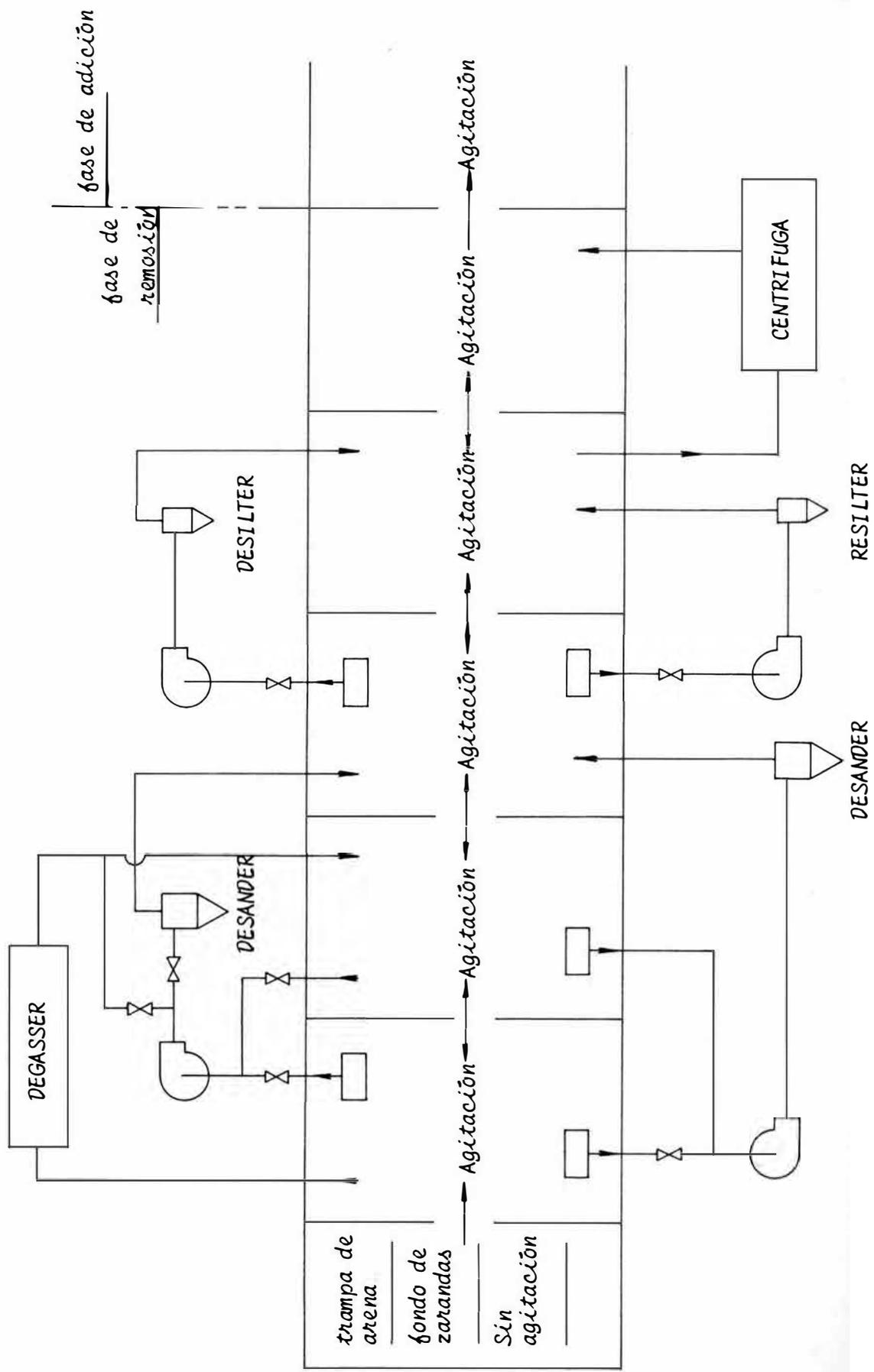
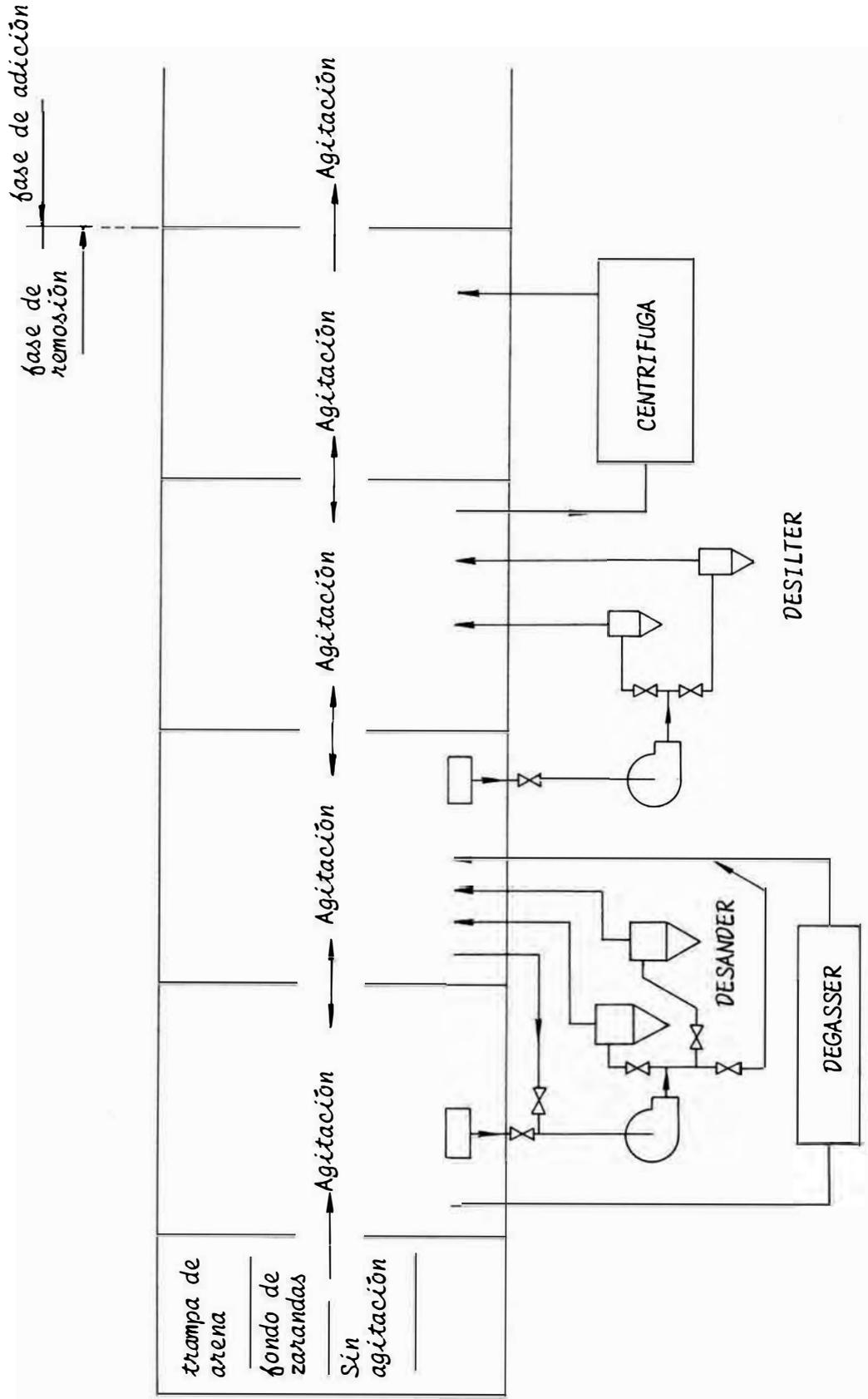


Fig. 16 SISTEMA DE LODO DE SUPERFICIE ACTIVA



CAPITULO V ESTIMADO DE LAS VENTAJAS ECONOMICAS QUE PODRIAN LOGRARSE EMPLEANDO EL SEPARADOR DE SÓLIDOS CENTRIFUGO HORIZONTAL

En adición al propósito para el que fue empleado y los inapreciables efectos logrados en las propiedades del sistema de lodos, el separador de sólidos centrífugo horizontal también recupera material inerte, que se emplea para dar peso al lodo cuando opera en un sistema de lodo pesado con base de agua. El problema es predecir los mínimos montos económicos para estimar la necesidad mínima del equipo para varios propósitos y calcular el material espesador que podrá ser recuperado durante este uso. Esto es fácil cuando las necesidades mínimas pueden ser expresadas en términos de barriles de cierto lodo pesado a ser procesado, y en la mayoría de los casos esto se puede hacer.

Para estimar el volumen completo, existe una regla antigua pero muy buena que indica que "el volumen total de barriles API por mil pies es igual al cuadrado del diámetro del pozo en pulgadas". Por ejemplo, una perforación de 12 pulgadas de diámetro contendrá aproximadamente 144 barriles por cada 1000 pies. El volumen de la superficie activa del

sistema puede ser estimada en 500 barriles a más o menos 100 barriles si este dato no es conocido.

El material espesante recuperado en un barril de lodo varía, pero se puede apreciar a continuación un gráfico que nos dará una buena aproximación. Este gráfico está basado en los resultados obtenidos empleando un separador de sólidos centrífugo horizontal operando con un lodo promedio.

1. Ventajas económicas de reducir un sistema de lodo para hacerlos más pesados.

Aún cuando esta operación se realiza mientras se está perforando, el resultado económico no cambia si se calcula considerando que el volumen total se vuelve constante con su condición inicial. Se toma los pesos iniciales y finales y se compara con la recuperación usando y sin usar la centrífuga.

Para aumentar el peso en un punto dado, el espesado con una centrífuga debe comenzar tan pronto como sea posible. El espesado durante la perforación ayudará a ahorrar el máximo tiempo y por ende el

costo del lodo.

El volumen del lodo en la superficie del sistema será mantenido a un nivel de seguridad cuando se aproxima el momento en el que hay que comenzar a espesar el lodo.

Ejemplo de cálculos:

Un pozo tiene un diámetro de 7 5/8 y 1200 ft de profundidad, el lodo debe ser espesado de 12ppg, antes o apenas se halla colocado el tapón de cemento. Los depósitos están llenos.

Volúmen del sistema:

Volúmen del pozo =  $(7'' \times 7'') (12000) / (1000 \text{ pies})$  : 588 barriles.

Volumen de superficie: 500 barriles (estarán llenos si no se inyecta al pozo).

Volumen total de lodo  $588 + 500 = 1088$  barriles.

Cálculos sin centrífuga:

Un estimado a groso modo nos podrá mostrar - que el volumen se incrementa en un 27.3% en el espesado y que se requerirán 265 lbs. de baritina por cada barril en el sistema, en el momento de iniciar el espesado. Alrededor de 400 barriles del lodo de 12 ppg pueden ser eliminados inicialmente y aún se tendrá suficiente lodo en la superficie para no parar la circulación.

Volumen final:

$$(1088 - 400) (127.3\%) = 875 \text{ barriles de lodo de 15 ppg.}$$

Baritina fresca requerida:

$$(1088 - 400) (2.65 \text{ sacos de bar./Bbl.}) = 1823 \text{ sacos de bar. necesarios.}$$

Con esto espesaremos los 688 barriles de lodo de 12 ppg a 875 barriles de lodo de 15 ppg.

Cálculos con una centrífuga:

La centrífuga en este caso será usada para espesar el sistema. La manera más fácil de considerar la economía de la operación es estimar el peso que será recuperado de los 400 barriles de lodo de 12 ppg que serían eliminados sin el uso del equipo.

Del gráfico de estimados de recuperación, podemos ver que por lo menos 128 lbs. equivalentes (1.28 sacos) de material pesado se ahorrarán por cada barril.

$400 \times 1.28$  512 sacos equivalentes de ahorro.

Comparación:

Baritina necesaria sin usar la máquina

1823 sacos

Material pesado recuperado usando la máquina

na ... 512 sacos

Baritina necesaria usando la máquina

1311 sacos

Suponiendo que el valor del saco de baritina sea \$ 4.25

Ahorro al emplear el equipo

$$512 \times \$ 4.25 : \$ 2176$$

El precio de la Baritina en nuestro mercado es de aproximadamente US\$ 6.5.

## 2. Control de las propiedades de flujo.

Cuando un pozo de perforación alcanza su profundidad total, la baritina acumulada en el sistema total, incluyendo el pozo, el sistema de superficie y tuberías representa el mínimo absoluto de baritina ideal requerida para perforar el pozo bajo condiciones ideales. Asumiendo que no hay pérdidas de circulación, no hay dilución para controlar las propiedades de flujo, que no se pierde baritina en la zaranda vibratoria, que no se inyectará lodos para otros propósitos, etc., solo habría sido necesario emplear esta mínima cantidad de baritina.

La cantidad de baritina actualmente requerida al perforar un pozo profundo con un lodo pesado de base de agua sin emplear una centrífuga, usualmente oscila en más de 4 veces el mínimo ideal, varian-

do de 3 a más de 10 veces esta figura. Este exceso - de requerimiento actual sobre el mínimo teórico es causado primeramente por las partes desperdiciadas de lodo del sistema activo y la adición de material fresco para controlar propiedades de flujo (reducir la concentración de partículas coloidales). El uso de un separador de sólidos centrífuga horizontal para reducir selectivamente sólidos finos, permite recuperar el material espesante inerte que de otra manera sería eliminado del sistema con el fin de producir la viscosidad adecuada. Aquellos que pueden cuestionar la gran razón de las baritinas usadas contra la baritina mínima ideal, deberían inspeccionar sus archivos profundamente sobre lodos de perforación pesados donde no se usó ningún equipo de recuperación de baritina. Compare la baritina usada con la baritina remanente en el sistema cuando se ha llegado a la profundidad total. Esta baritina remanente (requerimiento mínimo ideal), puede ser calculada usando el peso y volumen del sistema a la profundidad total y de cualquier lodo pesado que quede de en algún recipiente. Una longitud de pozo promedio se debe incluir en el volumen de lodo. Si ha ocu

rrido una pérdida de circulación, las baritinas en el volumen de lodo perdido debe ser restado de las baritinas usadas antes de establecer la razón de recuperación, como material perdido en la formación, no está libre para ser recuperado. El monto de baritina usada en el pozo dividido por el monto de baritina remanente en el sistema activo y en otras cavidades, representa la razón de dilución actual para cada operación.

El uso de una centrífuga no reducirá las baritinas usadas, acercándolo a la cantidad mínima ideal puesto que las baritinas del tamaño de arcillas serán descargadas con los sólidos coloidales ligeros y hay pérdidas menores inevitables sobre la zaranda, por derrames, pérdidas de contaminación con interfase de cemento, etc. Sin embargo, las baritinas usadas se reducirán drásticamente, si la centrífuga se utiliza plenamente, eliminándose así la necesidad de eliminar el lodo pesado.

Si una experiencia previa en un área no es posible, bien por falta de un operador o una compañía de venta de equipos de centrifugación, es deseable te-

ner alguna experiencia de campo con la cual juzgar la recuperación mínima posible con una centrífuga.

Hay muchos medios para llegar a mínimos estimados. Se discutirán dos situaciones. Basados en records internacionales, hay un método simple que da un mínimo recuperable condicional. Por supuesto, las recuperaciones pueden ser mayores. La experiencia de muestra que un promedio de por lo menos 5% del material pesado en el sistema final será recuperado cada día a través de la centrífuga para controlar las propiedades de flujo.

Ejemplo A:

Una perforación de 9 7/8" de diámetro será llevada hasta 10,500 ft con lodo no pesado. En este punto, el lodo será espesado a 12 ppg. El sistema de superficie tiene un volumen de 500 barriles. Se requerirán alrededor de 3 días para finalizar la perforación a la profundidad deseada. Se puede asumir que el espesado no será una posibilidad económica puesto que no hay material pesado recuperable perdido al considerar como base todo el lodo en la preparación de lodo pe

sado a 12 ppg.

Cálculos:

Volumen apróx. de la perforación .....

$$(10) (10) (10500) / 1000 = 1050 \text{ lbs.}$$

Volumen del sistema de superficie.. 500 lbs

Volumen total del sistema .....1550 lbs

Del gráfico de estimados de recuperación, ca  
da barril de lodo de 12 ppg tienen 128 lbs mínimos de  
material pesado recuperable.

Mínimo recuperable diario .....

$$5\% \times 1550 \text{ Bbls} \times 1.28 \text{ sac/Bbl} = 99.2 \text{ sacos}$$

Valor del mínimo recuperable diario

$$99.2 \times \$ 4.25 = \$ 421.6 / \text{dia.}$$

En algunas áreas, la baritina costará más -  
que este valor, lo que eleva el valor de la operación  
de recuperación.

Considerando que se paga un costo de renta

aproximado de \$ 125/dia la centrífuga tendrá una buena utilidad en este caso. En algunas áreas, las necesidades serán mayores que para este caso.

Ejemplo B:

Un pozo será perforado a 13000 ft. El espesado empezará a los 10500 ft y se incrementará a 12.5 ppg hasta la profundidad total. El diámetro de la perforación es de 8 3/4". El sistema de superficie es de 500 barriles. En el programa del pozo se estima que la perforación de 10500 ft a 13000 ft requerirá de 20 días.

Cálculos:

Recuperación mínima: (baritina en el sistema) (5 %) (20 días) a prof. total

Volumen aproximado de la perforación  
(9) (9) (13000) / (1000) = 1053 Bbls

Volumen del sistema total:

1050 + 500 = 1550

De acuerdo al gráfico de estimados de recuperación, cada barril de lodo de 12 ppg contiene un mínimo de 155 lbs (1.55 sacos) de materia pesado recuperable.

$1550 \text{ Bbls.} \times 1.55 \text{ sacos/Bbl.} = \text{sacos de baritina recuperable en el sistema a profundidad total}$

Mínima baritina recuperada:

$2402 \times 5\% \times 20 : 2402 \text{ sacos}$

Valor mínimo de la baritina recuperada: ...

$2402 \times 4.25 = \$ 10,208.5$

Para determinar el rendimiento neto, se deberá reducir el costo de empleo de la centrífuga.

3. Recuperación de material pesado de lodos a ser transferidos (o de los sistemas de reserva).

Este es un simple cálculo de recuperación.

Ejemplo:

Se asumen 700 Bbls de un lodo de 16 ppg.

Cálculos:

Del gráfico de estimados de recuperación, por lo menos 375 lbs. de material pesado inerte puede ser recuperado de cada barril, asumiendo que puede ser convenientemente almacenado y mezclado.

$$700 \times 375 = 262500 \text{ lbs o } 2625 \text{ sacos a } \$ 4.25$$

Valor recuperable \$ 11156.25

A éste total se debe deducir el alquiler - de la centrífuga o el costo de su uso.

En la mayoría de casos, la centrífuga estará disponible y justificada sobre bases de control de propiedades de flujo, espesado del sistema, etc.

4. Reducir la contaminación de líquido en un sistema de lodo.

Asumimos que un sistema de lodo de 1000 barriles está contaminado con cloruros a 100.00 ppm. Eliminando 10% de este lodo y reemplazando el volumen

con baritina y líquido fresco se reducirá la contaminación en 10000 ppm., es decir a 90000 ppm. de contenido de cloruros. Eliminando otro 10% y reemplazando su volumen, reducirá el contenido de cloruros en 9000 ppm., es decir a 81000 ppm. de contenido de cloruros, etc.

Usando una centrífuga en este mismo caso, si el 10% del lodo circulante puede ser procesado, luego del primer recorrido tendremos una disminución de 10000 ppm., luego del segundo recorrido la disminución será de 9000 ppm., etc., mientras se añade líquido fresco a la descarga de sólidos para mantener constante el sistema de peso.

Los resultados de recuperación de usar la centrífuga serán una función directa de los barriles procesados a través de la máquina multiplicando por el valor obtenido como un mínimo, del gráfico de estimados de recuperación.

Debe anotarse que el material pesado de lodos contaminados puede ser, y muchas veces ha sido, recuperado para ser usado en un sistema activo sin causar alteración o daño al sistema.

5. Combinaciones económicas.

Rara vez una centrífuga opera en un proceso de perforación aplicando solo uno de los factores económicos anteriores. Es más económico y más usual, comenzar a usar la centrífuga tan pronto como el espesamiento comience a notarse, para recuperar material espesante, para reducir el sistema de lodos y para controlar las propiedades de flujo.

Los sólidos que son expulsados por la descarga respectiva de la centrífuga son sólidos inertes que no llevan agua libre. La descarga de sólidos contiene una cantidad limitada de agua (y en fases de lodo continuas de base aceitosa, las partículas de sólido llevarán adheridos partículas de aceite en su superficie).

La pequeña cantidad de agua en la descarga de sólidos de una centrífuga no contiene una apreciable cantidad de coloides que pudiera ser medida; tampoco contendrá cloruros. Una de las características del agua absorbida en la superficie de los sólidos es que los materiales en solución permanecerán en la fase lí

quida libre.

En los sólidos descargados de la centrífuga, no hay ningún elemento que pudiera ayudar en reducir la pérdida de fluido, por ningún tipo de prueba. Para mantener el control de pérdidas de fluido mientras se tiene trabajando la centrífuga, los agentes de control de pérdida de fluido deben ser añadidos con el agua fresca añadida al sistema, tal como sería necesario si las baritinas se siguieran añadiendo.

El empleo de la centrífuga de ninguna manera reduce la necesidad de añadir agentes de control de pérdida de fluido para compensar las condiciones de perforación.

La descarga de sólidos de la centrífuga es más pesada (mayor densidad de la suspensión), que el lodo de alimentación, pero la exacta densidad dependerá de la distribución del tamaño de partícula de la baritina y los sólidos livianos en la alimentación, y además de la razón de contenido de uno sobre otro en el lodo.

La descarga de sólidos de la centrífuga de

be ser enviada a un tanque con un buen equipo de mezclado. Los sólidos deben ser mezclados con el lodo antes de llegar al borde del tanque.

Una centrífuga no podrá separar baritinas de sólidos perforados de tamaño equivalente en un fluido de perforación. Tampoco lo hará un hidrociclón u otra máquina que trabaje con gravedad. Se podrá encontrar algunos sólidos perforados con las baritinas en la descarga de la centrífuga.

Se espera que con el presente estudio se logre que el lector tenga un conocimiento básico de lo que es un separador de sólidos centrífugo horizontal y de su aplicación, tanto en la actividad petroquímica, como en la actividad petrolera.

Como se ha establecido en el trabajo realizado, la idea del empleo de un separador de sólidos - centrífugo horizontal es la de optimizar la separación física de un sólido que es llevado en suspensión en un líquido. Dicha aplicación se usa en la industria en general en numerosas recuperaciones, tanto de un sólido valioso, como de un líquido que se necesite libre

de sólidos.

Las aplicaciones aquí mencionadas en la actividad petroquímica no son definitivas, no son las únicas, prácticamente se puede aplicar el equipo en cualquier separación sólido-líquido con muy buenos resultados. Esperamos que lo aquí expuesto ayude al profesional a desarrollar nuevas aplicaciones para estos equipos, optimizando así su proceso industrial y logrando a la vez mayores ventajas económicas.