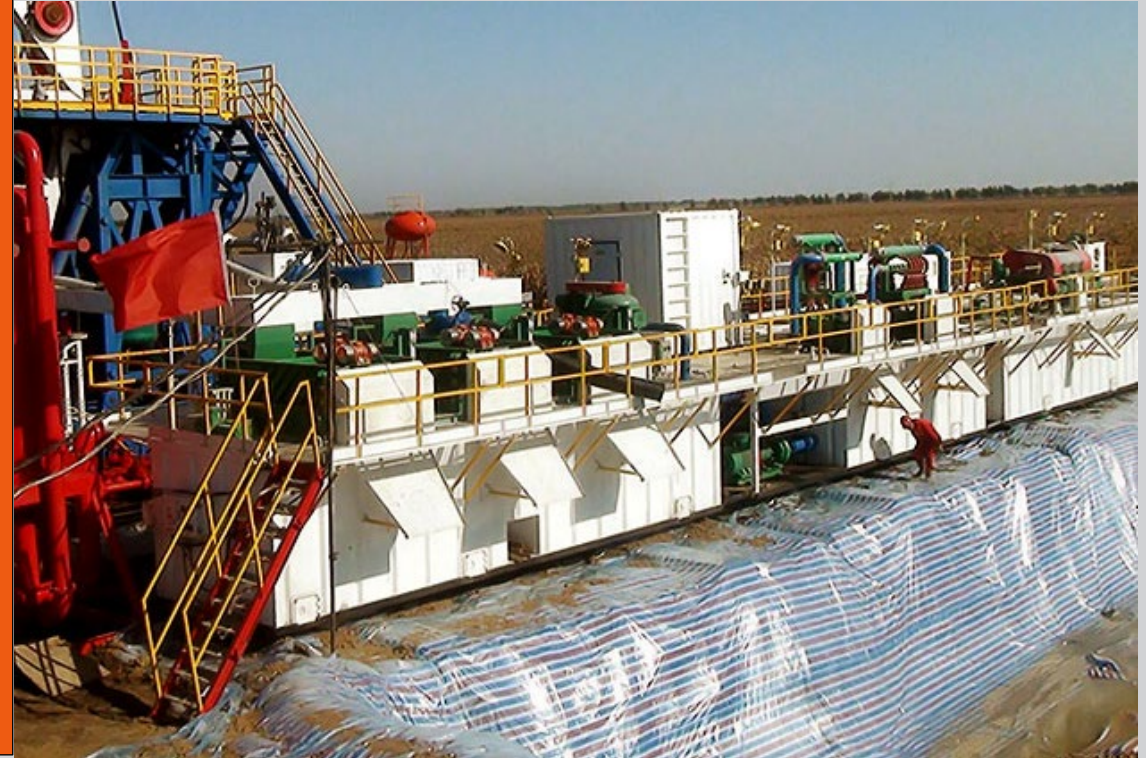


**Juan Herrera Herbert**

# **El sistema de circulación de fluidos en perforación de pozos de petróleo y gas**

**Serie: “Introducción a la perforación y producción de petróleo y gas”**

**Madrid - 2024**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior  
de Ingenieros de Minas y Energía

[www.minasyenergia.upm.es](http://www.minasyenergia.upm.es)





# El sistema de circulación de fluidos en perforación de pozos de petróleo y gas

Serie: "Introducción a la perforación y producción de petróleo y gas"

**Autor: Juan Herrera Herbert** (juan.herrera@upm.es).

## ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: <https://www.gnsolidscontrol.com/>

Copyright © 2024. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/84773/>

OAI: [oai:oa.upm.es:84773](https://oa.upm.es/84773/)



Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera  
Laboratorio de Tecnologías Mineras

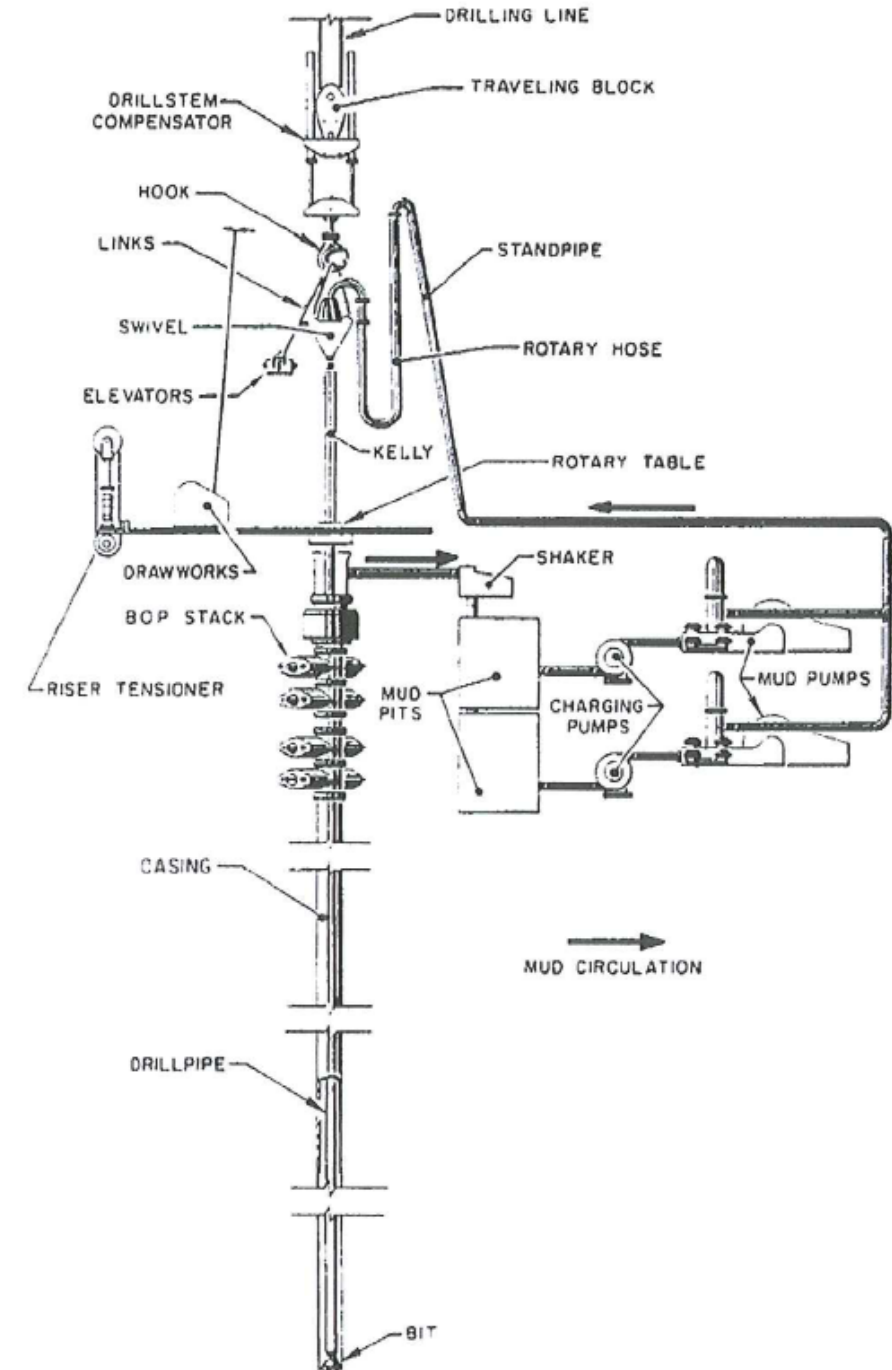
Calle Rios Rosas 21  
28003 Madrid (España)



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.  
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

# Fluidos de perforación

- El fluido de perforación es una mezcla de varios componentes:
  - Base (agua en la mayoría de los casos).
  - Lodos.
  - Aditivos químicos.
- **Funciones básicas del fluido de perforación:**
  1. Suministrar potencia hidráulica a la barrena para perforar.
  2. Transporte de recortes de roca hacia afuera del pozo.
  3. Soportar las paredes del hueco perforado.
  4. Prevenir la entrada de fluidos de la formación hacia el hueco perforado.
  5. Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación.
  6. Revestir e impermeabilizar las paredes del sondeo
  7. Prevenir la entrada de fluidos de la formación hacia el hueco perforado.
  8. Proteger formaciones potencialmente productivas
- **Los tres tipos básicos de fluidos son:**
  1. Fluidos de perforación con base agua.
  2. Fluidos de perforación con base de aceite.
  3. Fluidos de perforación con aire o gas.



- El coste del fluido de perforación promedia alrededor del 10% del costo tangible total de la construcción de un pozo.
- Sin embargo, el rendimiento del fluido de perforación puede afectar los costos generales de construcción del pozo de varias maneras.
- Un sistema de perforación correctamente formulado y bien mantenido puede contribuir a la contención de costos durante toda la operación de perforación al permitir:
  - Mejorar de la tasa de penetración (rate of penetration - ROP)
  - Proteger el depósito de daños innecesarios
  - Minimizar el potencial de pérdida de circulación.
  - Estabilización del pozo durante intervalos estáticos.
  - Ayudar al operador a cumplir con las normas ambientales y de seguridad.
- Hoy en día, muchos sistemas de fluidos de perforación se pueden reutilizar de un pozo a otro, reduciendo así los volúmenes de desechos y los costos incurridos para la construcción de lodo nuevo.





- En la medida de lo posible, el sistema de fluidos de perforación debería ayudar a preservar el potencial productivo de la(s) zona(s) portadora(s) de hidrocarburos.
- Minimizar la invasión de fluidos y sólidos en las zonas de interés es fundamental para lograr las tasas de productividad deseadas.
- El fluido de perforación también debe cumplir con los requisitos establecidos de salud, seguridad y medio ambiente (HSE) para que el personal no corra peligro y las áreas ambientalmente sensibles estén protegidas de la contaminación.
- Las empresas de fluidos de perforación trabajan en estrecha colaboración con las empresas operadoras de petróleo y gas para lograr estos objetivos mutuos.



## ■ PROPIEDADES:

### ***VISCOSIDAD***

- (+) Mayor capacidad de sustentación del detritus
- (-) Dificulta la posterior decantación y desgasificación
- (-) Aumenta las pérdidas de carga en el circuito y la presión en el anular

### ***DENSIDAD***

- (+) Contrarresta la presión de formación
- (-) Incrementa la presión hidrostática en el anular y las “pérdidas de circulación”

### ***GEL***

Objetivo fundamental a conseguir en un lodo: impide el depósito en el fondo de los ripios.

# Composición del lodo

- **FASE LÍQUIDA:**
  - Base acuosa:
    - Agua dulce
    - Agua salada (\*)
  - Base oleosa:
    - Petróleo crudo o refinado emulsionado con agua: <5%
    - (Emulsión inversa: 10-30%)

## ■ **FASE SÓLIDA:**

- De baja densidad:
    - Arcillas:
      - Bentonita
      - Atapulgita (\*)
    - Polímeros
    - Sales:  $\text{ClNa}$ ,  $\text{ClK}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ,  $\text{Br}_2\text{Ca}$
  - De alta densidad:
    - Barita
    - (Mineral de hierro)
    - (Galena)
- 
- También pueden clasificarse en:
    - Sólidos reactivos: arcillas y sólidos perforados hidratables
    - Sólidos inertes: Baritina, arenas, calizas, etc





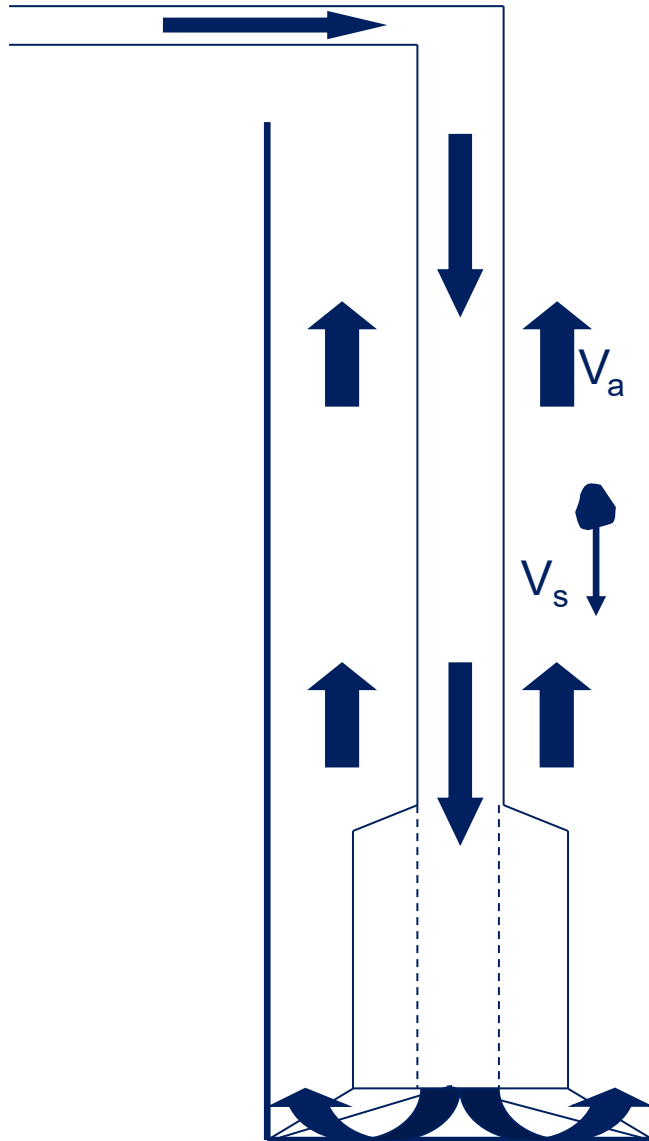
## ■ **ADITIVOS:**

- Correctores del pH ( $13 > \text{pH} > 8$ )
- Espesantes
- Adelgazantes (Polifosfatos, taninos, etc.).
- Espesantes.
- Detergentes
- Desespumantes
- Lubricantes
- Inhibidores:  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{ClNa}$ , etc.
- Colmatantes (mica, cáscara de almendra, etc.).
- Reductores de filtrado (reducen el filtrado sin incrementar la densidad)
- Dispersantes (reducen la viscosidad generada por los sólidos aportados al lodo).
- Lubrificantes
- Inhibidores de corrosión
- Nitratos



## Inconvenientes del lodo

- A mayor densidad, menores avances.
- Daño a las formaciones productoras
- Reacciones indeseables con la formación o sus fluidos
- Ausencia de indicios de hidrocarburos
- Abrasividad (arena incorporada al lodo)
- Espesor de "cake" excesivo
- Dificultar interpretaciones de registros eléctricos



$$V_a = 0.408 \frac{Q}{(d_H^2 - d_P^2)}$$

$$V_s = 175 D_P \left[ \frac{(\rho_P - \rho)^{0.667}}{(\rho \mu)^{0.333}} \right]$$

$$V_a > 2V_s$$

Q: Caudal (gpm)

$d_H$ : Diámetro del sondeo (pulg)

$d_P$ : Diámetro de la barra o lastrabarrenas (pulg)

$D_P$ : Diámetro de la partícula (pulg)

$\rho$ : Densidad del lodo (ppg)

$\rho_P$ : Densidad de la partícula (ppg)

$\mu$ : Viscosidad del fluido (cps)

## VELOCIDADES ASCENSIONALES MÍNIMAS

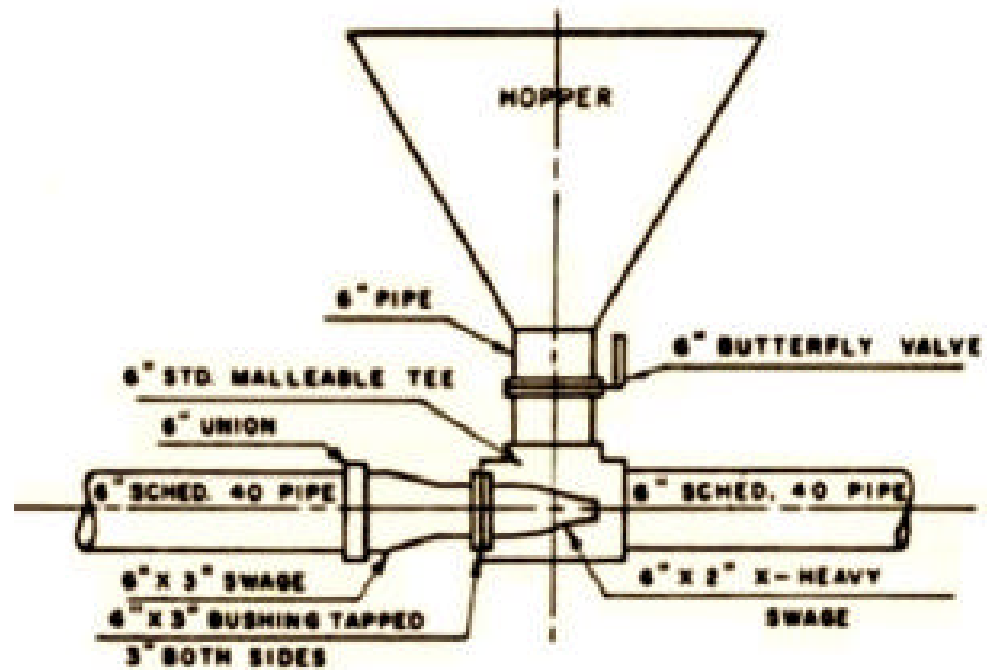
Diámetro (pulg)	Velocidad Ascensional (pies/min)
15" Ø	80
12 ¼" Ø	90
10 5/8" Ø	110
8 ¾" Ø	120
7 7/8" Ø	130
6" Ø	140

## VELOCIDAD MÍNIMA DE SALIDA POR LAS BOQUILLAS

200 pies/seg (60 m/seg)

# Preparación y tratamiento del fluido

- Las cuatro rutinas principales con el sistema de fluidos son:
  1. Preparación Inicial.
  2. Densificación (incremento del peso o densidad del lodo).
  3. Dilución (Reducción del peso o densidad del lodo).
  4. Tratamiento / acondicionamiento (cambios en la química del lodo).
- Se emplea un dispositivo en forma de embudo para agregar en forma rápida materiales sólidos al lodo utilizando el principio del vacío creado por el flujo estrangulado (tubo venturi / principio de Joule).
- Las dos propiedades principales que son continuamente controladas son:
  - Peso del lodo, medido con la “Balanza de Lodos” (Fig A).
  - Viscosidad, medida empleando un “embudo de Marsh” (Fig B).



Embudo de mezcla con chorro de lodo

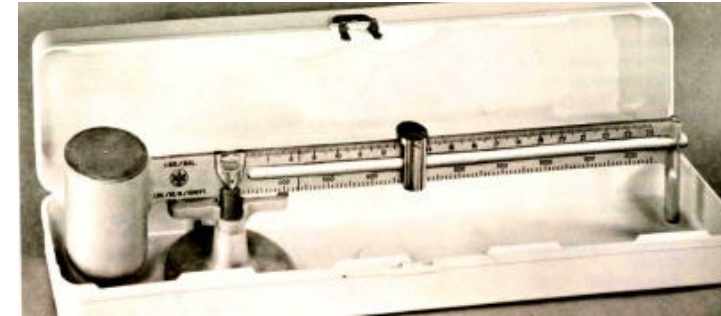


Fig A



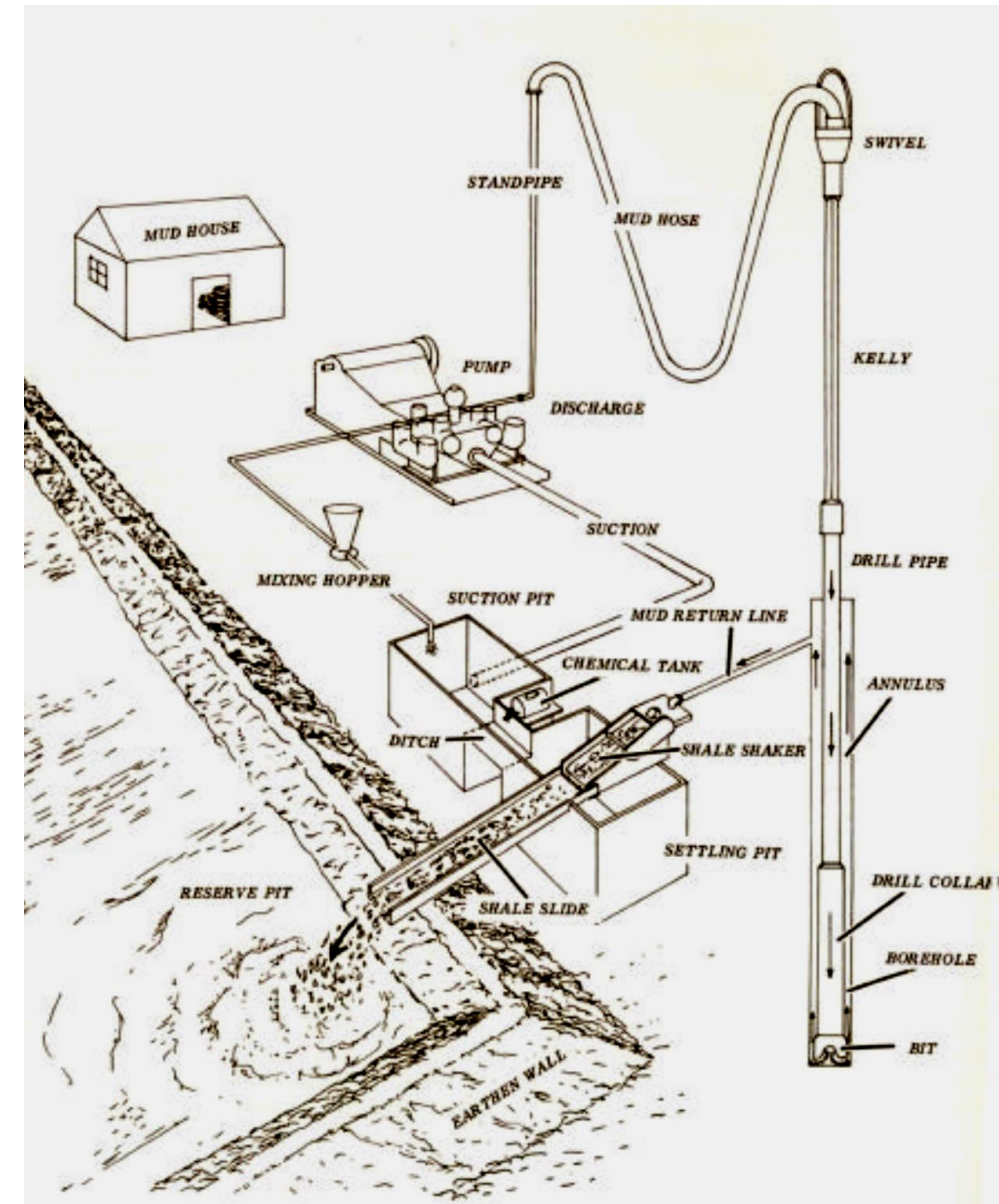
Fig B

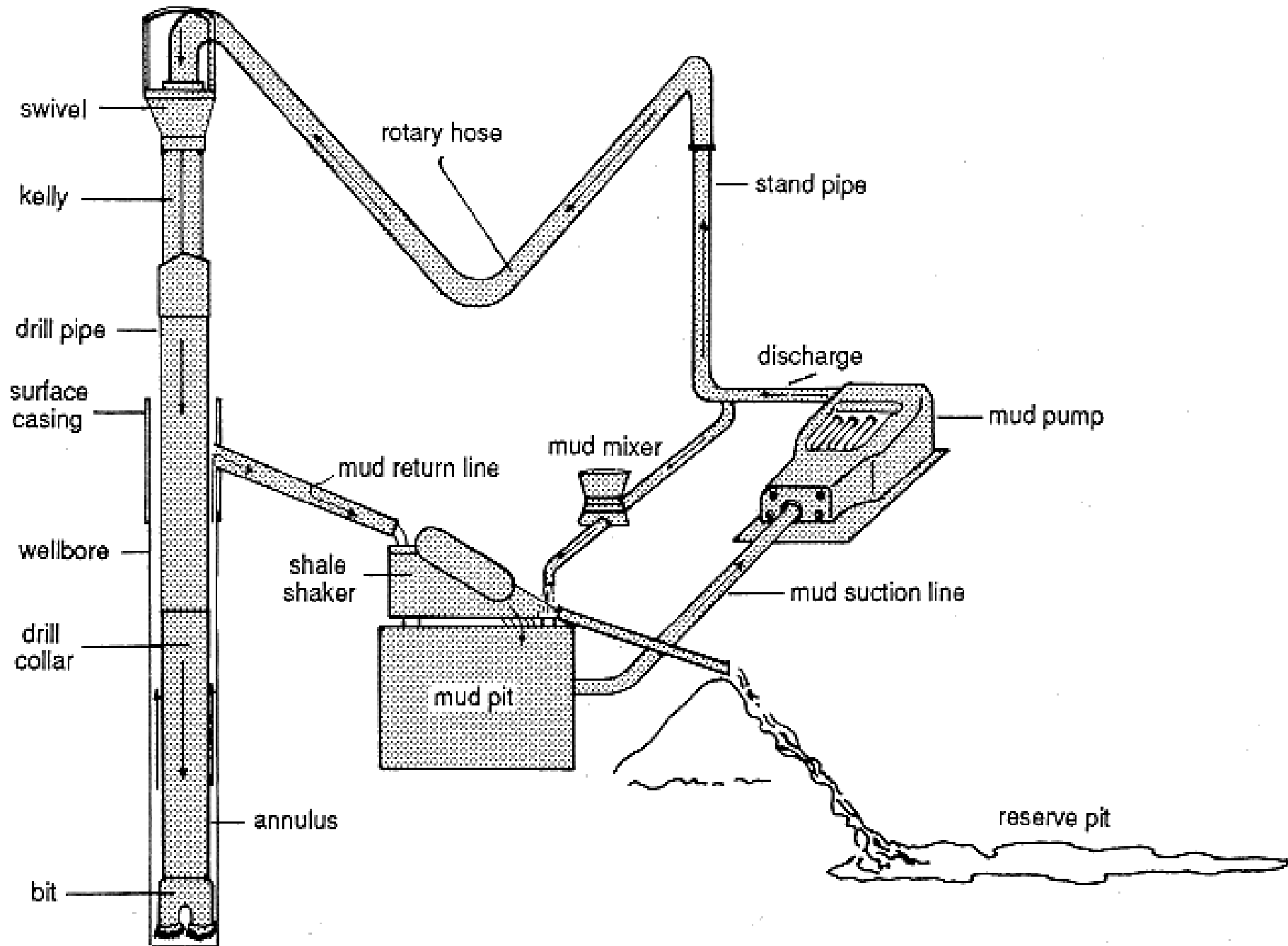


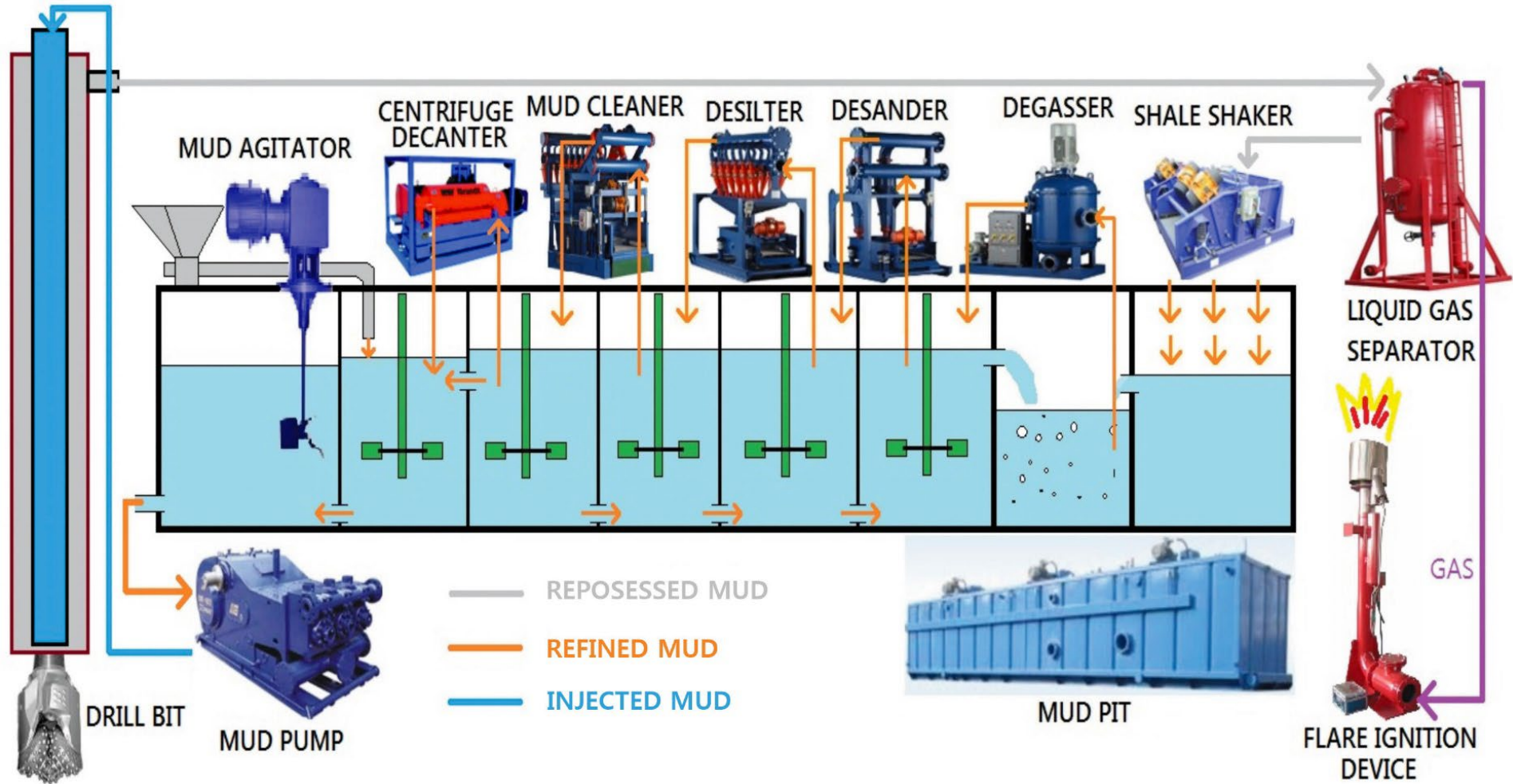


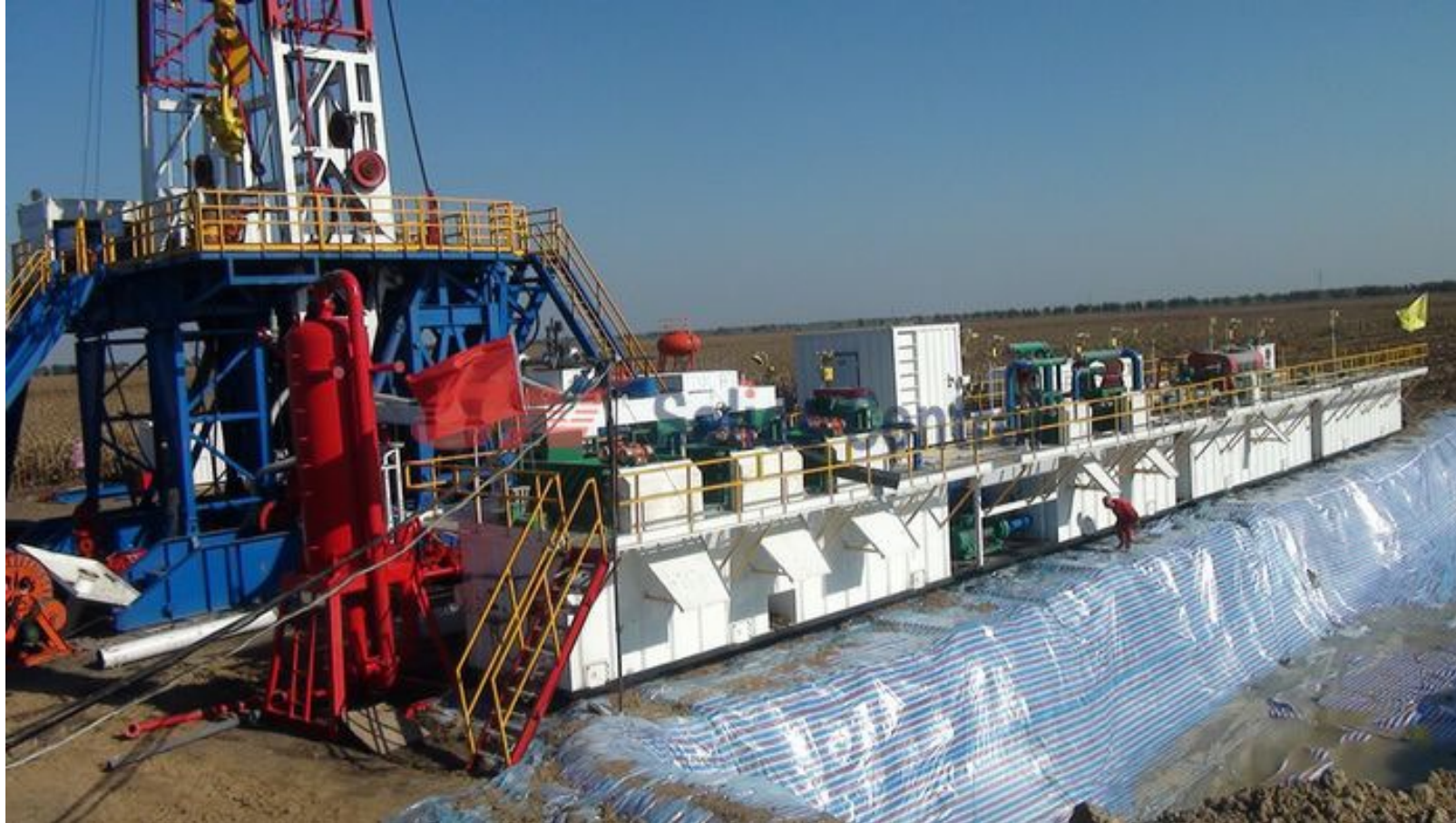
## Componentes del sistema de circulación de lodos

1. Tanques o presas de succión.
2. Línea de succión.
3. Bombas de lodo.
4. Línea de descarga de la bomba.
5. Línea de conducción a la torre.
6. Manguera rotaria.
7. Sarta de perforación.
8. Espacio anular paredes del sondeo – sarta.
9. Línea de retorno (línea de flujo o de flote).
10. Tanques de asentamiento.
11. Área para el acondicionamiento del lodo.







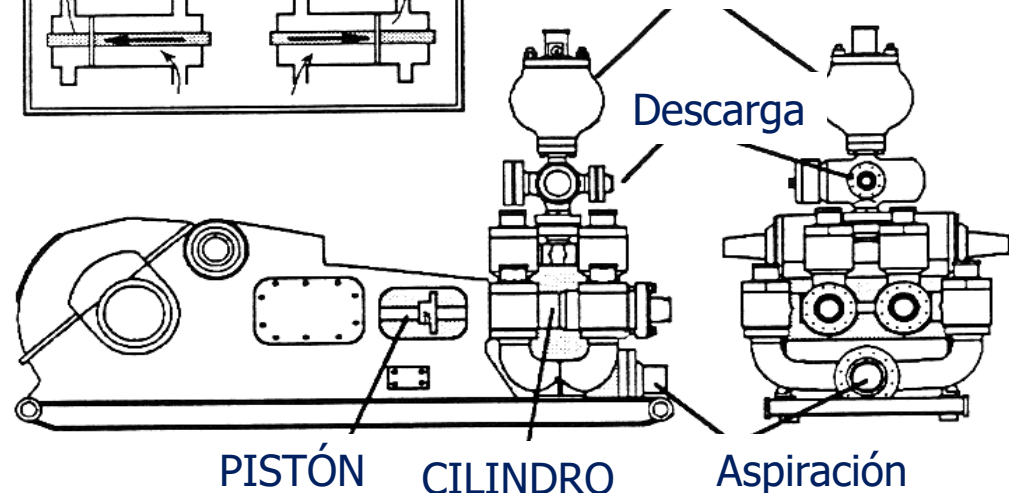
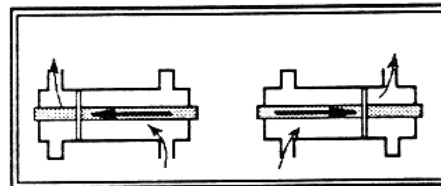


# Bombas de lodos



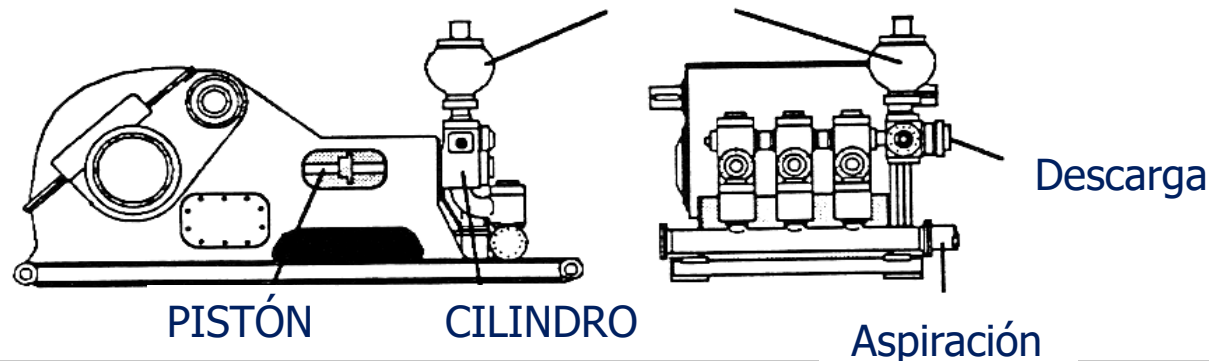
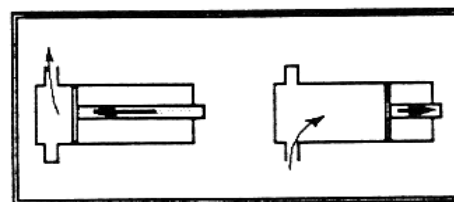
**Bomba de doble efecto**

**Bomba de simple efecto**

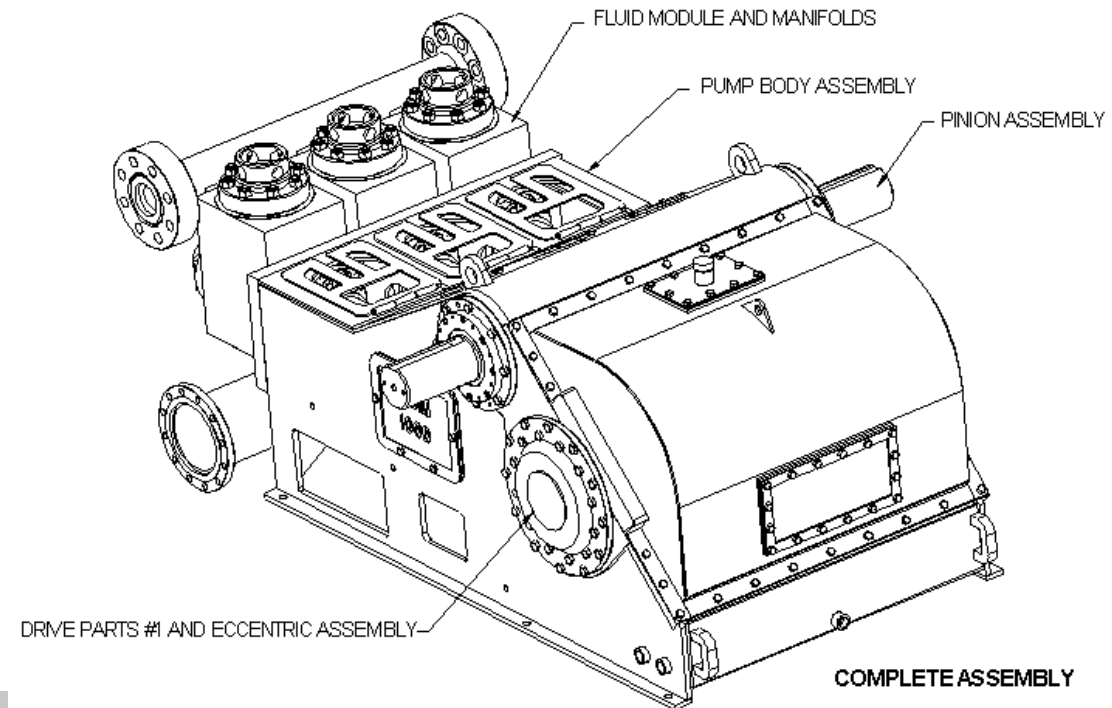
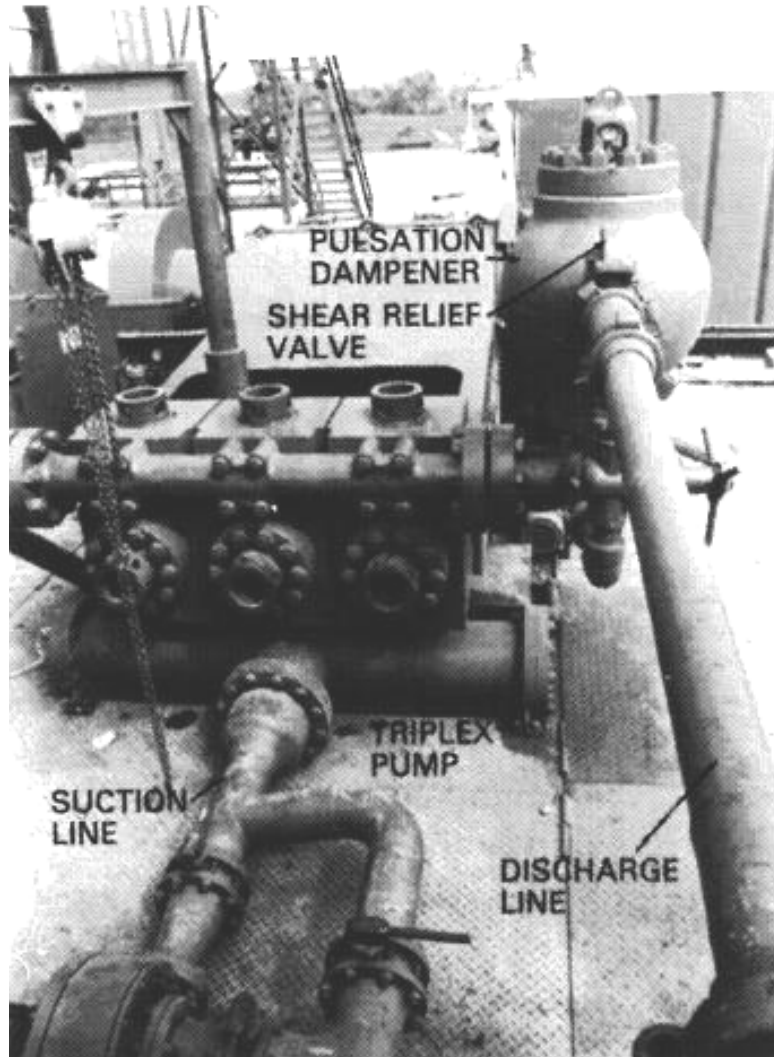


BOMBA DE DOS CUERPOS Y DOBLE EFECTO

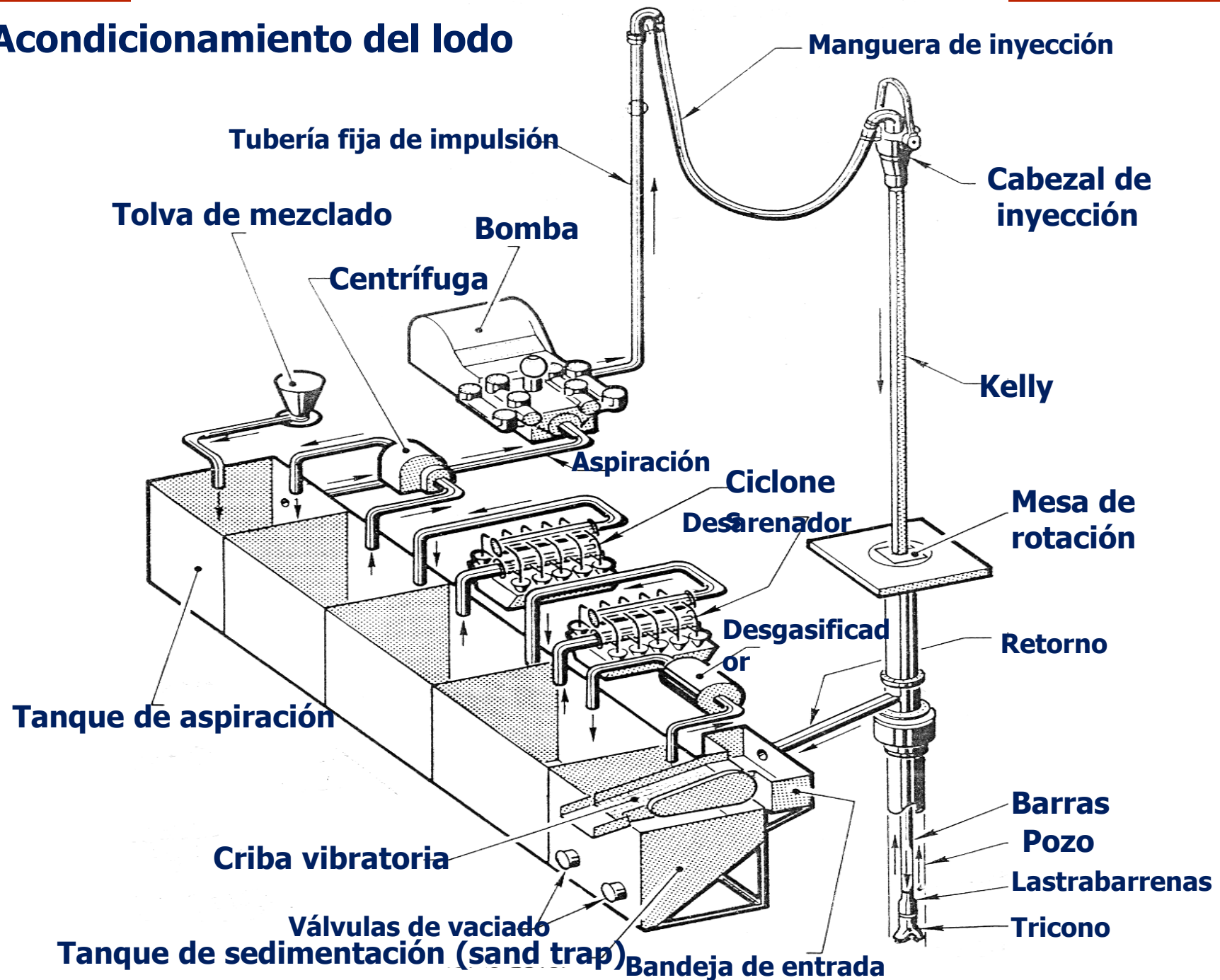
BOMBA DE TRES CUERPOS Y SIMPLE EFECTO



# Bomba de lodos tipo Triplex

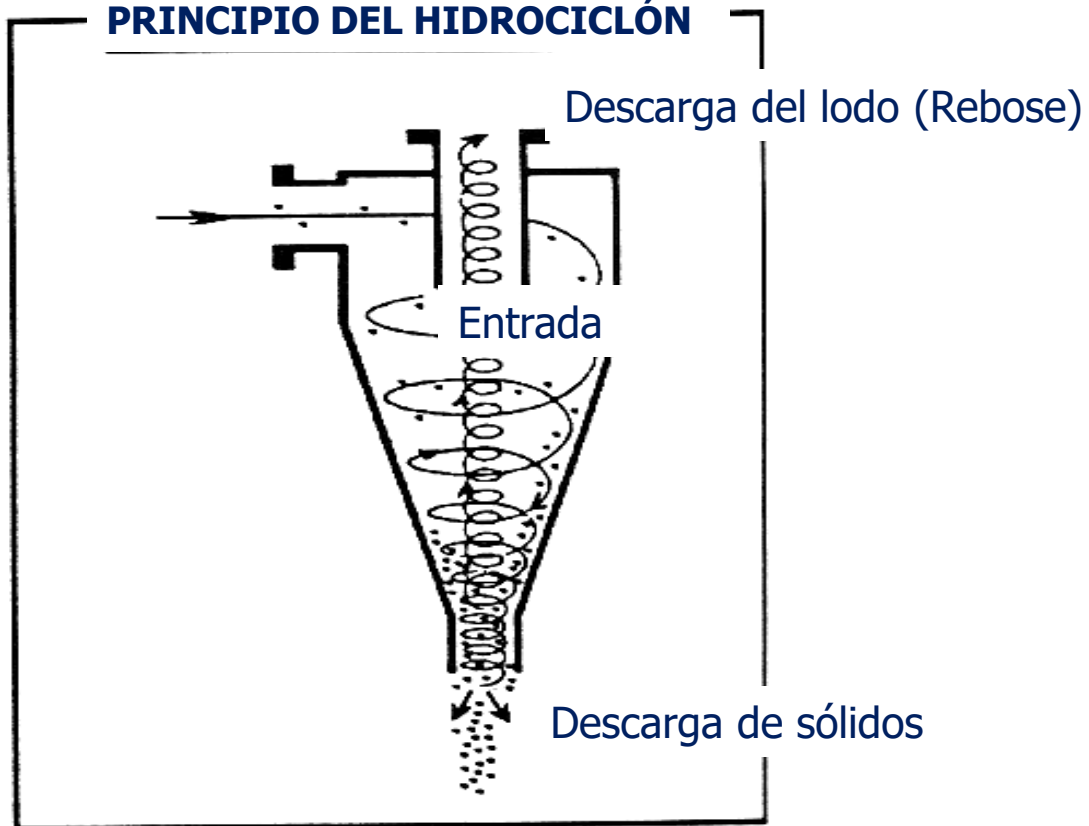


# Acondicionamiento del lodo

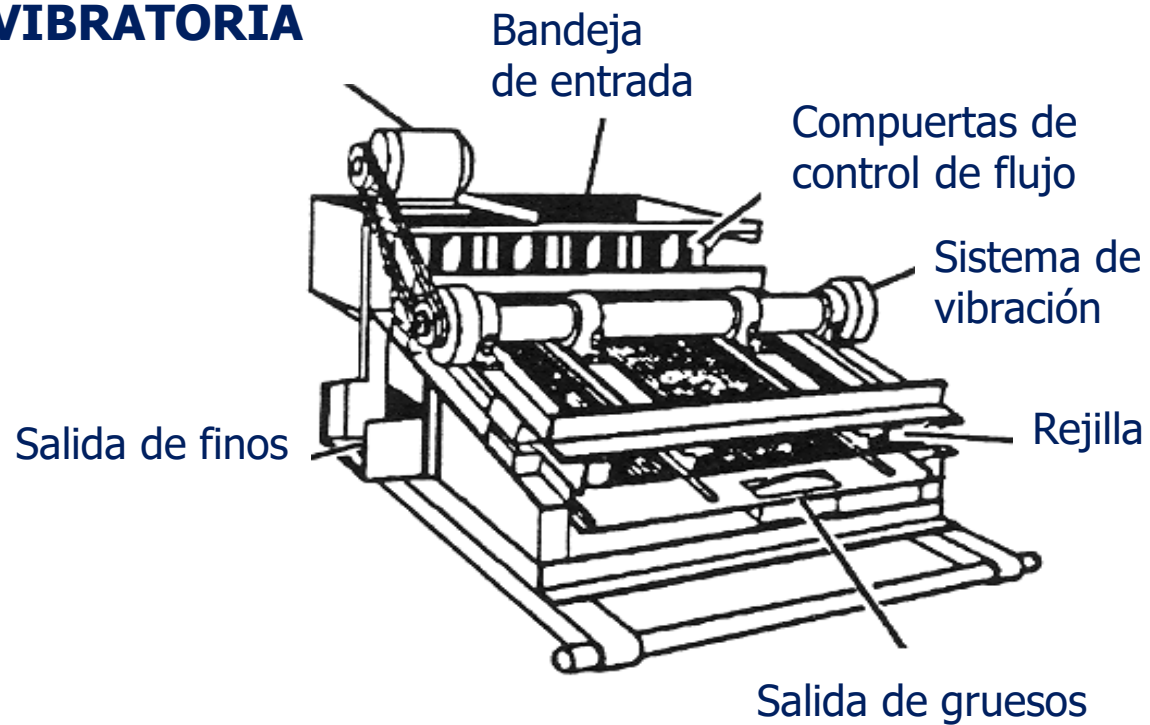


## HIDROCICLÓN

### PRINCIPIO DEL HIDROCICLÓN



## CRIBA VIBRATORIA



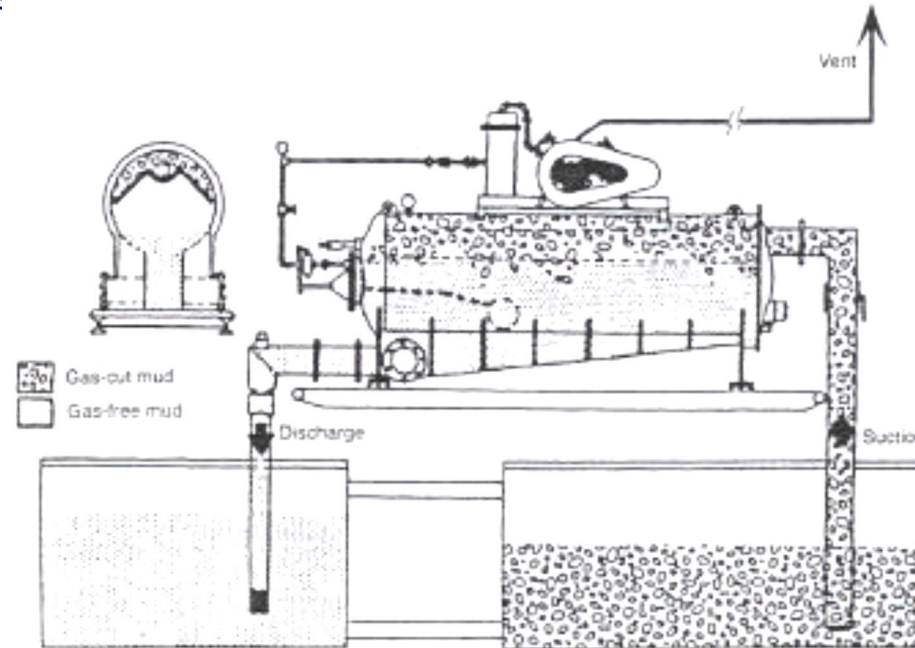
## Equipos de control de sólidos

- Criba vibratoria:
  - Es el limpiador primario del lodo.
  - Promueve la separación los detritus de perforación de mayor tamaño arrastrados con el lodo, separándolos por medio de las mallas vibratorias.
- Desarenador / Deslamador:
  - Retira las partículas más finas por medio de una fuerza centrífuga cuando se hace pasar el lodo a través de Hydrociclones interconectados con entrada lateral de flujo y descarga de sólidos por el vórtice y lodo limpio por la parte superior.

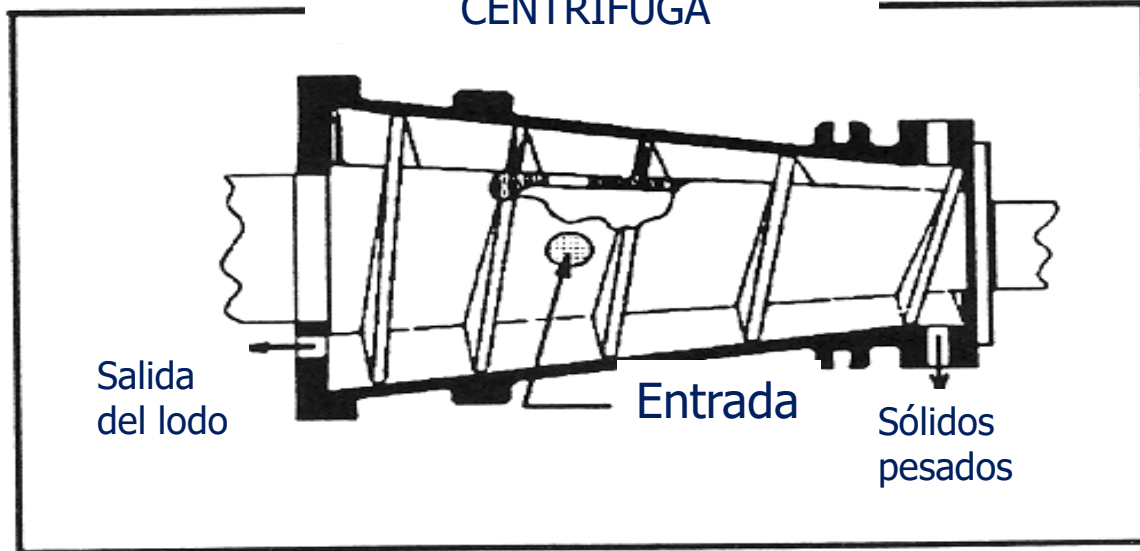


# Separador de gases

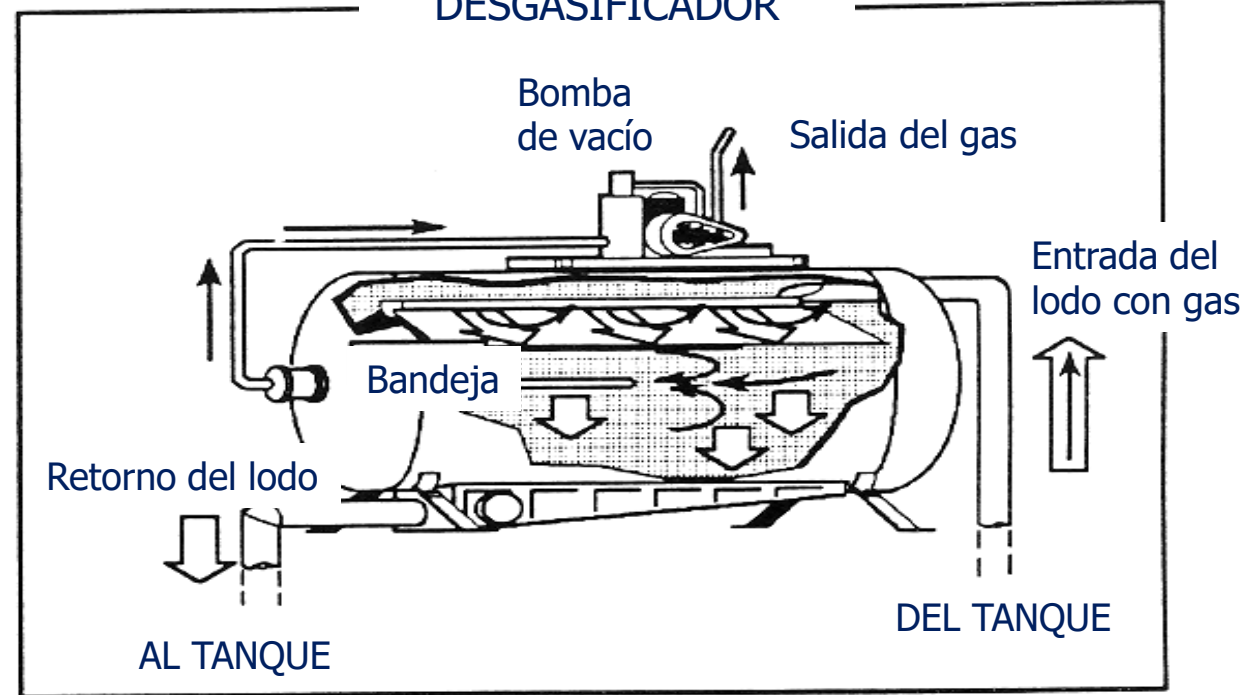
- El gas que ha entrado en el lodo debe ser eliminado porque:
  1. Reduce la densidad del lodo.
  2. Reduce la eficiencia volumétrica de la bomba.
  3. Disminuye la presión hidrostática de la columna de fluido.
  4. Aumenta el volumen del fluido de perforación.
- Equipos utilizados para remoción del gas
  - Desgasificador de vacío (A).
  - Separador lodo / gas (B).



### CENTRÍFUGA

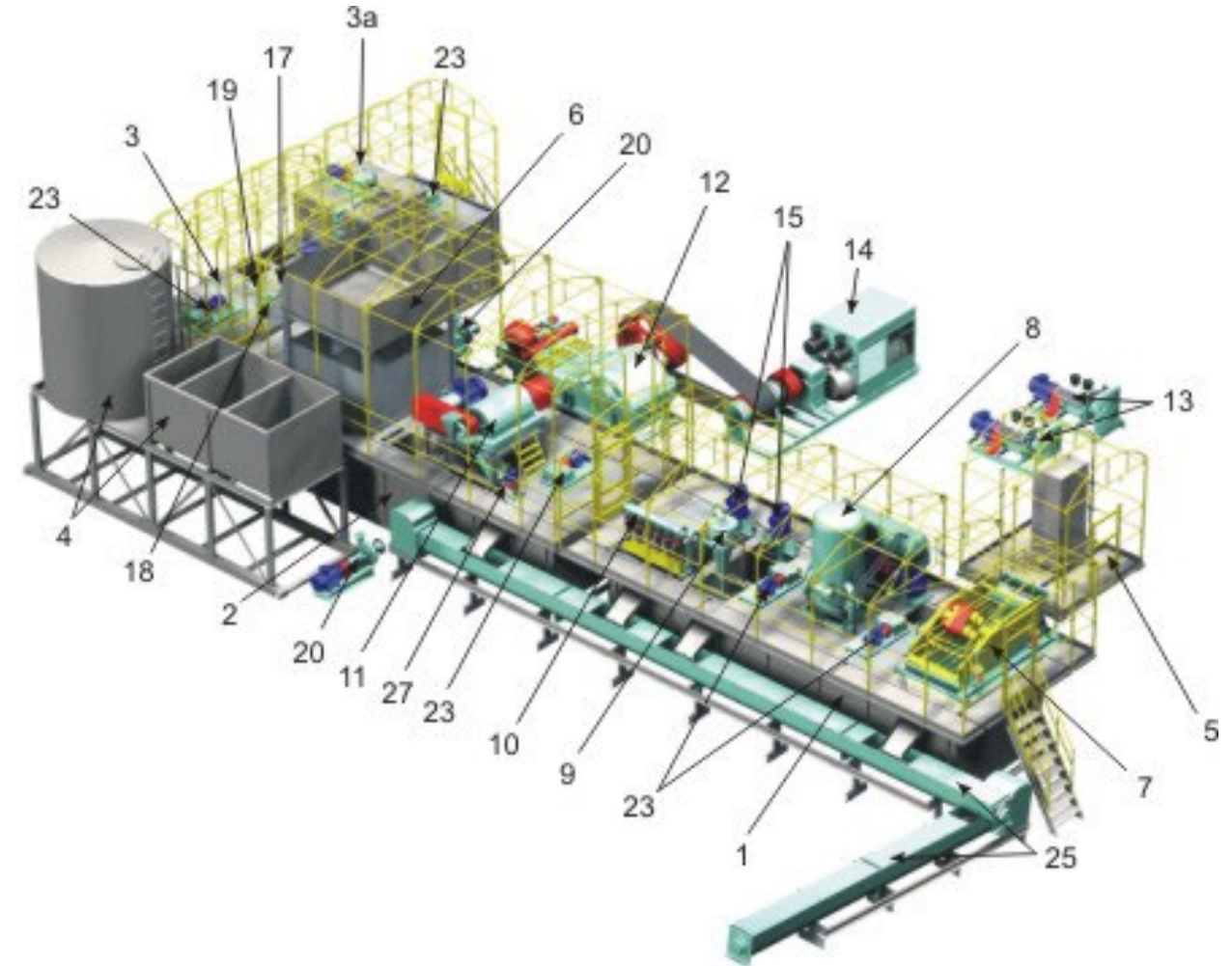


### DESGASIFICADOR



## Equipos de limpieza del lodo

- |                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Cleaning unit                      | 16. Mixer                        |
| 2. Intermediate unit                  | 17. Hydraulic dispersant         |
| 3. Acceptance unit                    | 18. Dispersant                   |
| 3a. Chemical reagent preparation unit | 19. Hydraulic mixer              |
| 4. Chemical reagent treatment unit    | 20. Sludge pump                  |
| 5. Electric drive control panel –     | 21. Sludge container             |
| 6. Coagulation and flocculation unit  | 22. Electric drive control panel |
| 7. Linear shale shaker                | 23. Mud agitator                 |
| 8. Degasser                           | 24. Hydraulic mixer              |
| 9. Desander                           | 25. Screw conveyer               |
| 10. Desilter                          | 26. Mud agitator                 |
| 11. Centrifuge                        | 27. Submersible pump             |
| 12. Mud pump                          | 28. Cover                        |
| 13. Compressor                        |                                  |
| 14. Diesel engine                     |                                  |
| 15. Vertical sludge pump              |                                  |



# Dudas y preguntas



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA  
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

**TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID**  
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING  
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY