

LAS ARENAS EN LA FRACTURACIÓN HIDRAÚLICA



- **ÍNDICE:**
- **1. RESUMEN**
- **2. FRACTURACIÓN HIDRÁULICA O FRACKING**
- **3. ESPECIFICACIONES DE LAS ARENAS DE FRACTURA O FRAC-SAND**
- **4. PROCESOS DE TRATAMIENTO**
- **5. BIBLIOGRAFÍA**

1. RESUMEN:

En los últimos años la producción no convencional de gas y petróleo ha adquirido una enorme importancia debido principalmente al auge de las técnicas de perforación conocidas como Fracking, en las que las Arenas de Fractura Hidráulica, comúnmente conocidas por su denominación en inglés como Frac-Sand, son uno de los elementos esenciales.

Sin entrar en discusiones acerca de las ventajas e inconvenientes de este nuevo sistema de explotación de hidrocarburos y gas, lo cierto es que la producción de este tipo de arenas tiene un interés preferente, especialmente en aquellos lugares donde existen grandes yacimientos de hidrocarburos en los que puede aplicarse este sistema de explotación.

Para la industria de preparación y elaboración de áridos estas arenas especiales representan un nuevo mercado de gran interés dado su elevado precio, condicionado por un lado por una demanda creciente y por el lado por una oferta limitada.

Las especificaciones técnicas de las Arenas de Fractura son bastante estrictas y ello condiciona y limita su producción. Estas especificaciones pueden alcanzarse mediante adecuadas plantas de tratamiento combinando procesos vía húmeda y vía seca. En general el proceso consiste en una primera fase de lavado y clasificación en vía húmeda, seguida de una segunda fase en vía seca constituida por una etapa de secado y una etapa de clasificación posterior de la arena seca para obtener los tamaños requeridos por el mercado.

2. FRACTURACIÓN HIDRÁULICA O FRACKING

Aunque no es el objetivo de este trabajo, es conveniente tener un mínimo conocimiento de esta tecnología de obtención de hidrocarburos para poder comprender mejor las especiales características que deben reunir las arenas de fracturación empleadas en este método de explotación.

La fracturación hidráulica es un método no convencional de explotación para la obtención de petróleo y gas principalmente. Frente a lo que vulgarmente se piensa, no es un procedimiento novedoso, pues se viene practicando desde hace muchos años, en concreto desde finales de los años 40 del pasado siglo XX. A comienzos de los años 1990 el Fracking se convirtió en una práctica común de explotación y sobre el 2005 el desarrollo de las perforaciones horizontales generó un aumento del rendimiento de extracción de los pozos convirtiéndose en el método usual. Se estima que a partir del año 2010 más de la mitad de los pozos de extracción emplean esta técnica, pues permite aumentar la extracción de los hidrocarburos contenidos en los poros de las rocas al crear fracturas en la misma que posibilitan que el gas fluya a través de la roca hasta el pozo.

Primeramente se realiza una perforación vertical, convencional, hasta alcanzar el nivel donde se encuentran las rocas de interés, y a partir de ese punto se continúa la perforación horizontalmente. La perforación vertical puede llegar hasta profundidades de 5 000 m y los tramos horizontales pueden alcanzar longitudes de la misma magnitud, Figura 1. Obviamente estas longitudes varían en función de las características del yacimiento.

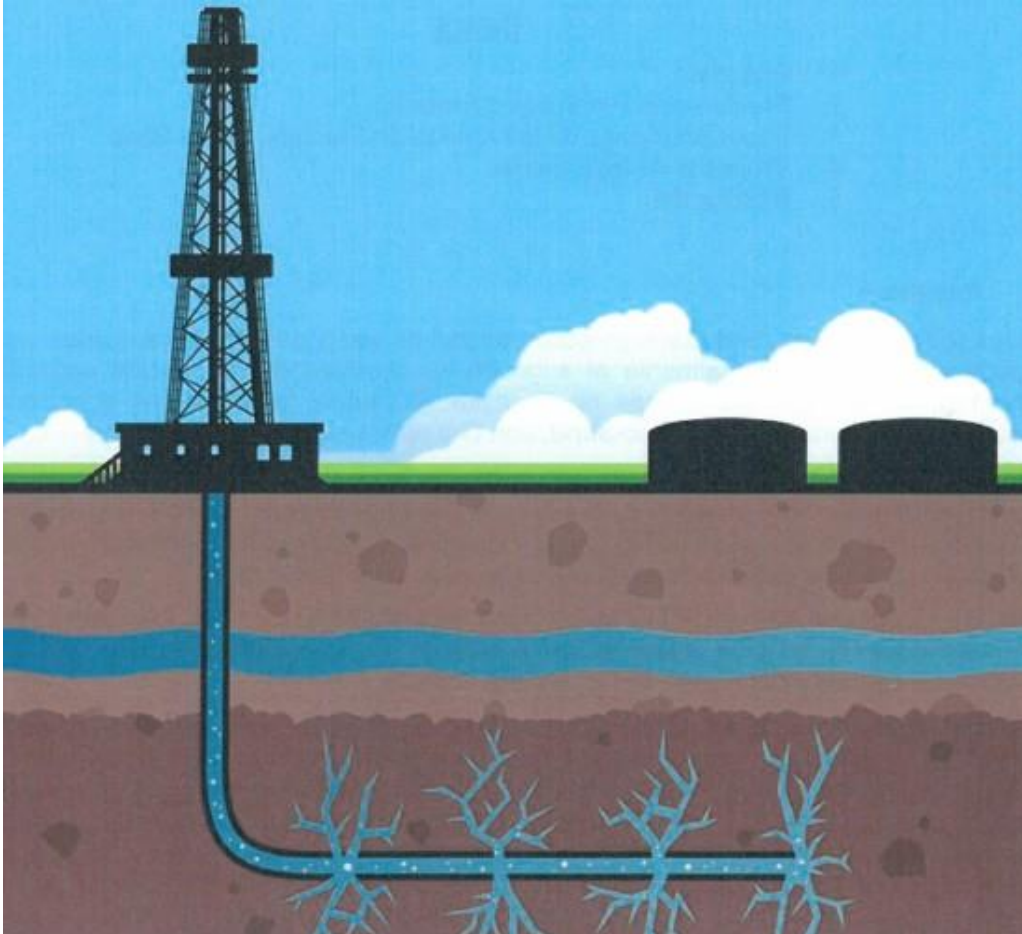


Figura 1

Una vez terminada la perforación se introduce una tubería de acero que posteriormente es revestida con cemento tanto exterior como interiormente para aislar el pozo de las rocas y acuíferos que hubiese atravesado. En general en las zonas donde el pozo atraviesa acuíferos la tubería suele tener revestimiento doble o triple para asegurar la total estanqueidad del pozo, evitando así cualquier posibilidad de contaminación.

Una vez concluido el entubado del pozo se procede a realizar múltiples pequeñas perforaciones en la tubería, para posibilitar el acceso a la roca del fluido que se inyectará a relativamente alta presión desde la boca del pozo. Este fluido lleva principalmente arena en suspensión, conocida como "Arena de Fractura" o "Frac-Sand" y pequeñas cantidades de productos químicos cuya misión es ayudar a disolver algunos minerales constituyentes de las rocas, mejorar la viscosidad de la pulpa y ayudar al apuntalamiento o consolidación del pozo, entre otras funciones.

Las arenas suelen constituir el 99 % de los productos inyectados y el 1 % restante lo constituye los aditivos químicos que usualmente pueden ser hasta 12 diferentes.

Normalmente el proceso de realización de un nuevo pozo de extracción, siguiendo este método, requiere de unos 5 días. Una vez terminado el pozo, parte del fluido inyectado junto con el hidrocarburo y agua presente en la roca explotada, fluye a la superficie y a partir de ese momento el pozo está listo para la producción.

Una parte de las arenas inyectadas permanecen en las fracturas creadas en las rocas para evitar su colapso, y por ello deben formar un relleno permeable que permita el paso fácil del petróleo o gas hacia el pozo, lo cual condiciona la forma, esfericidad y redondez de sus granos.

Preferentemente las arenas de fractura son de naturaleza silíceas pues ello asegura su resistencia frente a los ácidos contenidos en el fluido de perforación, así como su resistencia mecánica a la compresión debida a las altas presiones. En ocasiones se emplean arenas revestidas de resina lo cual al suavizar las aristas de los granos mejora su redondez, al mismo tiempo que aumenta ligeramente su resistencia a la compresión.

La Fracturación Hidráulica es objeto diario de comentario en la opinión pública y figura entre los temas principales de discusión en los Órganos de Gobierno de la mayoría de los países. Los partidarios mencionan los beneficios económicos y la disponibilidad rápida de energía, hasta ese momento inaccesible. Los detractores señalan el impacto ambiental de los pozos y el riesgo potencial de contaminación de los acuíferos y suelos cercanos a los pozos.

3. ESPECIFICACIONES DE LAS ARENAS DE FRACTURA O FRAC-SAND

Debido al duro trabajo a que se ven sometidas las arenas durante la fase de inyección del fluido de fractura en el pozo, así como en la fase posterior de fracturar la roca y depositarse en las grietas y fracturas generadas, estas deben tener unas características muy específicas.

Las especificaciones de estas arenas, Frac-Sand, quedan recogidas en la normativa API RP 56, publicada por el Instituto Americano del Petróleo (API, American Petroleum Institute) y por la normativa de ensayos Internacional ISO 13503-2:2006 y su correspondiente API RP 19C. Esta normativa no es realmente tal, sino una Recomendación Práctica de cómo realizar los ensayos y los valores recomendables para cada característica.

Las especificaciones principales que deben cumplir las arenas de fractura corresponden a:

- 1) Tamaño y distribución granulométrica de las partículas
- 2) Forma de las partículas: esfericidad y redondez
- 3) Resistencia a los ácidos, solubilidad
- 4) Resistencia de los granos a la rotura
- 5) Turbiedad, contenido de arcillas en suspensión
- 6) Análisis químico
- De estas especificaciones las correspondientes a la forma de los granos, y las resistencias a los ácidos y a la rotura, dependen de la naturaleza y formación geológica de las arenas, y difícilmente pueden ser modificadas por los procesos de tratamiento.

Tamaño de las arenas

Básicamente la norma establece 8 tamaños diferentes de arenas, generalmente denominados por los tamices ASTM superior e inferior entre los cuales debe quedar retenido el 90 % de las arenas. Esta normativa que fija además los 6 tamices con los que debe realizarse el ensayo granulométrico de cada tipo, establece que solamente es admisible un

0.1 % de partículas retenidas en el tamiz superior y un máximo de 1% de partículas pasantes por el tamiz inferior, de los que indica el ensayo. La tabla de la Figura 2 refleja los 8 tipos considerados normales, aunque luego en la práctica se acepta el empleo de otras granulometrías.

TAMANOS RECONOCIDOS DE ARENAS DE FRACTURA HIDRÁULICA (FRAC-SAND)

Designación FRAC-SAND	MALLAS ASTM - mm								
	6/12 3.36/1.69	8/16 1.19/2.38	12/20 0.84/1.68	16/30 0.60/1.19	20/40 0.84/0.42	30/50 0.30/0.60	40/70 0.21/0.42	70/140 0.10/0.21	
Tamices ASTM necesarios para el ensayo	4	6	8	12	16	20	30	50	Max. 0.1 %
	6	8	12	16	20	30	40	70	
	8	12	16	20	30	40	50	100	90%
	10	14	18	25	35	45	60	120	
	12	16	20	30	40	50	70	140	
	16	20	30	40	50	70	100	200	
Granulométrico	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Bandeja	Max. 1 %

Figura 2

Forma de los granos

La forma de las partículas viene marcada por la esfericidad del grano y por la redondez de sus aristas. La determinación de estas características se realiza de forma manual mediante la observación al microscopio de un determinado número de granos, usualmente 20 o más, y comparando su forma con la establecida en un cuadro desarrollado por Krumbein & Sloss en el año 1951. La norma establece que ambos valores, deben estar por encima de 0.6, lo que queda reflejado en el cuadro de la Figura 3.

En la observación al microscopio también se pueden detectar la presencia de aglomerados de granos cuya presencia debe ser inferior al 1%.



figura 3.

Resistencia a los ácidos, solubilidad

Como se mencionaba anteriormente en la composición del fluido de fracturación entran varios ácidos entre los que destacan el Clorhídrico y el Fluorhídrico que disolverán aquellos granos solubles como carbonates, feldspatos, arcillas, óxidos, etc., no afectando a los granos de arena silíceo, motivo por el cual la normativa recoge los valores de máximo contenido de elementos solubles al ácido que producirán una disminución importante de la permeabilidad del pozo.

En las arenas de granulometría más gruesa, hasta la 30/50, se acepta un máximo del 2 % de elementos solubles y este valor se eleva hasta el 3 % para las arenas más finas, tal y como indica el cuadro que recoge la Figura 4.

MÁXIMA SOLUBILIDAD RECOMENDADA A LOS ÁCIDOS

MÁXIMA SOLUBILIDAD RECOMENDADA A LOS ÁCIDOS		
TAMAÑO ARENA		MÁXIMA SOLUBILIDAD (% EN PESO)
ASTM	mm	
6/12 a 30/50	1.68/3.36 a 0.30/0.60	2.0
40/70 a 70/140	0.21/0.42 a 0.10/0.21	3.0

Figura 4

figura 4.

Turbiedad, contenido de arcillas e inorgánicos

El contenido de arcillas y otros elementos en suspensión también está limitado. Puede determinarse mediante un test de turbiedad, a menudo de difícil realización que debe dar valores inferiores a 250 FTU (Formazin Turbidity Unit). Existen otros dos métodos más simples admitidos, un primero muy simple basado en la legibilidad de un texto marcado en una botella "tipo" llena con agua y una muestra de la arena a ensayar y un segundo mediante un ensayo de sedimentación en probeta, en el que el sedimento de arcillas no debe ser superior al 1 %.

Resistencia a la rotura

La resistencia de los granos a la rotura queda establecida en la normativa por el porcentaje de finos generados por la rotura de los granos cuando se les somete a una determinada presión, establecida en función del tamaño de las arenas, que va de menor a mayor inversamente proporcional a su tamaño. La tabla que recoge la Figura 5 muestra los valores del máximo contenido de finos admitido para cada tamaño de arena y la presión del ensayo correspondiente.

RESISTENCIA A LA ROTURA						
TAMAÑO ARENA		CARGA EN LA CELDA		PRESIÓN		Máximo contenido sugerido de finos (% en peso)
ASTM	mm	lb	kN	PSI	MPa	
6/12	1.68/3.36	6.283	28	2000	14	20
8/16	1.19/2.38	6.283	28	2000	14	18
12/20	0.84/1.68	9.425	42	3000	21	16
16/30	0.60/1.19	9.425	42	3000	21	14
20/40	0.84/0.42	12.566	56	4000	28	14
30/50	0.30/0.60	12.566	56	4000	28	10
40/70	0.21/0.42	15.708	70	5000	35	8
70/140	0.10/0.21	15.708	70	5000	35	6

Figura 5

También se puede determinar un coeficiente de resistencia "K" sometiendo la arena a diferentes presiones para determinar a qué valor por rotura se producen menos finos del 10%.

Otras especificaciones como análisis químico, densidad específica, etc., se determinan por procedimientos convencionales y no son recogidas específicamente en la normativa.

Como conclusión para poder determinar si determinadas arenas son válidas para su empleo como Arenas de Fractura lo primero que debería hacerse es realizar un rápido ensayo para determinar la forma de los granos, esfericidad y redondez, obviamente después de un lavado enérgico de la muestra a ensayar.

Una vez determinada la validez de las arenas en cuanto a su forma, entonces se debe proceder a realizar un lavado enérgico en laboratorio para seguidamente determinar la resistencia de los granos a la rotura y a los ácidos. En el caso de las arenas silíceas la resistencia a los ácidos depende en gran manera de su grado de limpieza, lo que podrá ser modificado mediante un proceso de lavado.

Estas tres características de las arenas vienen dadas por su propia naturaleza y no pueden ser modificadas en gran manera por los procesos de tratamiento, de ahí que los yacimientos de arenas de fractura no sean tan abundantes como pareciera y por ello representan un alto valor económico.

Existe un último ensayo de Conductividad que tan solo se realiza como determinación final. Es un ensayo complejo y costoso, cuya realización requiere una semana, por lo que en muchas ocasiones se obvia su realización.

Los valores requeridos de Turbiedad y Granulometría se pueden alcanzar fácilmente mediante los procesos de lavado y clasificación, los que en cierto modo podrían inclusive modificar ligeramente la redondez de los granos y la resistencia a los ácidos.

4. PROCESOS DE TRATAMIENTO

El tratamiento tiene por objetivo principal la obtención de los diferentes tipos de arenas con las calidades que requieren las industrias de perforación, de acuerdo a la normativa existente mencionada anteriormente.

Salvo raras excepciones las arenas Frac-Sand que se emplean son de naturaleza silícea. Como quiera que el tamaño mayor de las partículas es 4.75 mm, tamiz ASTM N° 4, al momento de diseñar la planta de tratamiento debe tenerse esto en consideración puesto que además de producir arenas para Fracking también se podrán obtener en paralelo o como subproductos, arenas para filtros de agua, para machos en la fundición de metales, para la elaboración de vidrio y cristal, cerámica industrial, fabricación de plásticos, prefabricados de hormigón, y otro sin número de aplicaciones donde se requiere arena silícea de alta calidad.

El proceso de tratamiento, en general, se divide en dos fases, una primera Vía Húmeda -Planta de Lavado y Clasificación- y una segunda Vía Seca -Planta de Secado, Cribado y Ensacado.

Fase Vía Húmeda

Aunque las arenas brutas a tratar, tal cual se presenten en el yacimiento, puedan estar bastante limpias, resulta conveniente para asegurar la calidad final comenzar el proceso con un lavado enérgico para asegurar el lavado de la superficie externa de los granos, mediante un proceso de atrición. Esto contribuirá a mejorar los resultados en cuanto al contenido de finos, turbiedad y resistencia a los ácidos.

El equipo más recomendable para este lavado primario es un Cilindro Lavador, el cual recibe el mineral bruto y una aportación importante de agua cuyo caudal es proporcional al tonelaje sólido alimentado.



En el interior del Cilindro, gracias al giro del mismo se produce un movimiento de volteo de los sólidos, lo que genera unos grandes esfuerzos de fricción entre las propias partículas, produciéndose la limpieza del mineral, de modo que las partículas finas adheridas a la superficie de las partículas más gruesas son liberadas para permitir una clasificación eficiente en la siguiente etapa de tratamiento. Las partículas arcillosas son puestas en suspensión en el agua para posteriormente ser eliminadas con el efluente, en la etapa posterior de lavado de arenas.



El material lavado obtenido en la descarga del Cilindro pasa a una etapa de deslamado mediante Hidrociclón, donde se eliminan las partículas finas indeseables que se han generado en el proceso de lavado. El tamaño de corte recomendable en el deslamado debería ser 0.106 mm, ASTM N° 140, pues este tamaño es el límite inferior de las arenas más finas empleadas en la Fracturación, la arena 70/140.



Las partículas finas estériles y nocivas junto con la mayor parte del agua, son eliminadas en el rebose del Hidrociclón, constituyendo el efluente principal que deberá ser tratado posteriormente en una etapa de Clarificación de Aguas. Las arenas lavadas, descargadas por el Hidrociclón, se enviarán a un Escurridor Vibrante, el cual gracias a su vibración especial de alta frecuencia y baja amplitud, efectúa el desaguado de las arenas lavadas, que pueden ser enviadas a un acopio final.



En la fase Vía Húmeda podría realizarse la clasificación de las arenas más gruesas, por ejemplo desde el tamaño 3.35 mm, ASTM N° 6 al tamaño 0.85 mm, ASTM N° 20. Estos cribados pueden realizarse con relativa facilidad en cribas vibrantes horizontales de alta frecuencia, provistas de un sistema de riego de agua. Por debajo de 0.85 mm la clasificación en cribas se vuelve poco eficiente y habría que recurrir al empleo de Hidroclasificadores, generalmente los llamados a Corriente Ascendente (Upstream Classifiers).



Estas etapas de clasificación deben ir combinadas con etapas de hidrociclonado y escurrido para las fracciones finas que siempre se obtienen como producto fino en las cribas con la mayoría del agua empleada en el cribado.

Dado que el mercado de las arenas de fractura demanda arenas secas hay que tener en cuenta que de obtenerse varios tipos de arenas en vía húmeda posteriormente habrán de secarse y en ese caso se requerirán diferentes secadores para cada tipo de arena, a fin de evitar contaminaciones de tamaño.

Por esta razón parece más conveniente realizar en la fase húmeda solamente una sola clasificación, por ejemplo a 1.18-0.85 mm, 16-20. De este modo se obtendrían unas arenas gruesas > 1.18 mm, > # 16 y unas arenas finas lavadas 0.105/1.18 mm, 16/140. Estas dos fracciones, obtenidas en húmedo serían secadas posteriormente en dos secadores distintos y cribadas después a los tamaños que el mercado demande.

Otra alternativa en el proceso vía húmeda sería realizar el deslamado primario al tamaño 0.212 mm, ASTM N° 70, en lugar de a 0.105 mm. En este caso el rebose del Hidrociclón podría enviarse a una segunda etapa de hidrociclonado donde se clasificaría al tamaño 0.105 mm, de modo que se obtendría un producto final 0.105/0.212 mm, 70/140 y un efluente final conteniendo las partículas inferiores a 0.105 mm, < #140.

La normativa ambiental vigente, y el sentido común, exige el tratamiento de los efluentes generados en las plantas de lavado de minerales. La pulpa de rebose de las etapas de lavado con hidrociclones conteniendo las partículas sólidas eliminadas en el lavado, < 0.105 mm deben enviarse a una etapa de clarificación, generalmente operando con Clarificadores de Alto Rendimiento, los cuales mediante un proceso de sedimentación forzada producen el espesamiento de los sólidos sobre el fondo del tanque y la generación de agua clarificada que se recoge en el rebose superior del Clarificador. La sedimentación forzada de los sólidos es conseguida mediante la aportación de un floculante solido en polvo, el cual es preparado y dosificado mediante un Equipo de Floculación.

Los sólidos sedimentados en el fondo del Clarificador, son extraídos en forma de pulpa espesa por una Bomba Centrífuga que los enviará hasta una balsa de residuos, para su almacenamiento final. El agua clarificada obtenida en la superficie del Clarificador se enviaría a un Depósito principal de Agua desde donde se recircularía a la planta de lavado. Las pérdidas de agua debidas al proceso, principalmente aquellas debidas a la humedad de los productos lavados, evaporación y otras, son repuestas mediante aportación externa al Depósito de Agua. Gracias al circuito cerrado de aguas que se establece en el proceso, el gasto de agua es mínimo, reduciendo así el impacto ambiental del proceso de lavado.

El diagrama recogido en la Figura 6, muestra un circuito "típico" de una Planta de Lavado, con Cilindro Lavador, Cribas, Hidrociclones y Escurredores, según lo descrito anteriormente, incluyendo la imprescindible etapa de Clarificación de las aguas de lavado.

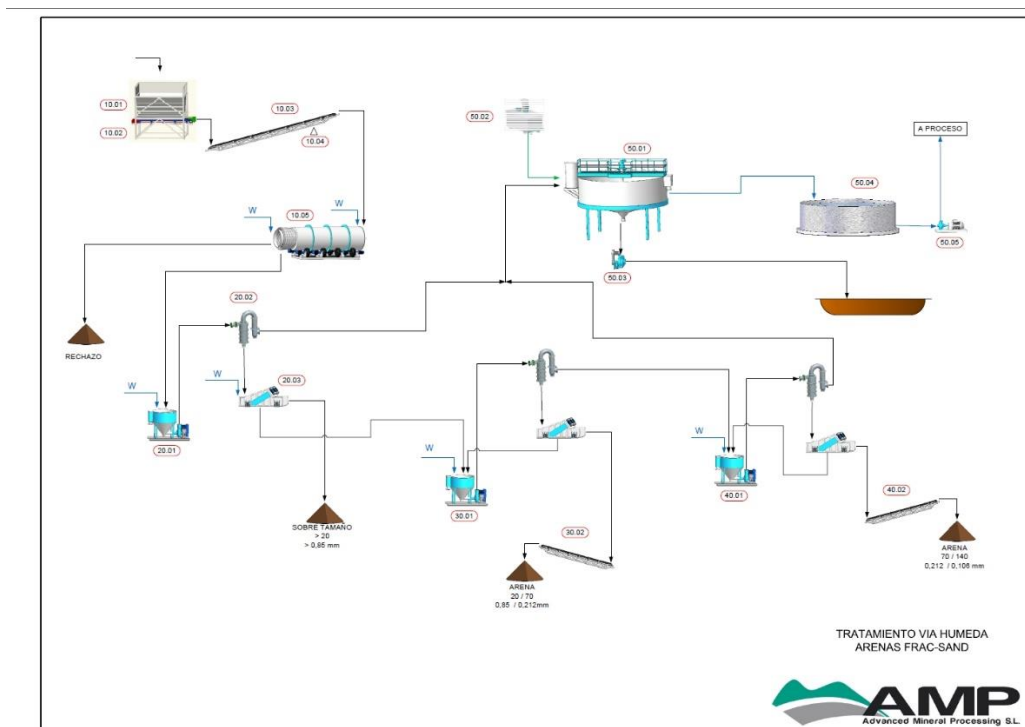


figura 6

Fase Vía Seca

Podría ser que las arenas brutas procedentes directamente del yacimiento fuesen extremadamente limpias y no requiriesen una etapa de lavado, pero esto es prácticamente imposible y además se correría el riesgo de que un cambio en la composición del yacimiento impidiese alcanzar la calidad que las arenas de fractura requieren, por lo cual finalmente todas las arenas brutas deben ser sometidas a una fase previa de lavado, como se describió anteriormente. Las arenas lavadas, clasificadas y escurridas deben ser secadas para posteriormente ser clasificadas a los tamaños requeridos, mediante cribas especiales. Los diferentes tipos de arenas obtenidos en el cribado, se ensilan para posteriormente, desde los acopios, ser conducidas a las etapas de ensacado para su envío al cliente final, o bien pueden conducirse a camiones cisternas para su entrega a granel, aunque esto último es menos usual.

El proceso de secado puede llevarse a cabo bien con Secadores de Lecho Fluido o Secadores Rotativos. Si bien en teoría los secadores del primer tipo deberían tener un mejor rendimiento, la realidad es que su complejidad y su falta de flexibilidad frente a cambios de la distribución granulométrica de las arenas a secar, no los hace aconsejables para esta aplicación. Los secadores rotativos no presentan problemas frente a cambios en el tamaño de la arena de alimentación o en la distribución granulométrica interna y por ello representan una alternativa muy fiable.

Una vez secas las arenas deben ser clasificadas en los diferentes tamaños requeridos por el mercado. Si en la fase húmeda se ha realizado una clasificación a 1.18 mm o 0.84 mm, habría que clasificar estas arenas a 0.6 mm (# 30), 0.42 mm (# 40), 0.30 mm (# 50) y 0.21 mm (#70).

Supuestamente las arenas lavadas no deberían contener partículas < 0.105 mm y por tanto no sería necesario clasificar a este tamaño, pero podría ser recomendable instalar una malla de esta luz, como fondo de criba, para asegurarse que el contenido de finos nunca pase del 1 % que es el máximo valor admitido por la norma. De igual forma también podría emplearse una primera malla de 1.18 mm o 0.85 mm para asegurarse que el contenido de partículas superiores a esos tamaños no exceda nunca del 0.1 % que indica la norma para las arenas 20/40 o 30/50 respectivamente, que son las de mayor demanda.



Figura 7

Como puede comprenderse cribar con eficiencia arenas a esos tamaños tan finos no resulta fácil por lo que se requiere el empleo de cribas específicas, especialmente desarrolladas para este tipo de trabajo. En cualquier caso la capacidad de tratamiento de estas cribas operando con mallas finas es reducida y se requieren grandes superficies lo que significa que en plantas de producción media es preciso instalar varias cribas en paralelo y preferentemente con varios pisos, generalmente 3 o 4.

Estas cribas especiales, van provistas de mallas de acero inoxidable fabricadas con hilos delgados de acero de alta resistencia para que la superficie libre de paso, superficie efectiva de cribado, sea la mayor posible, al mismo tiempo que presenten la mayor resistencia a la abrasión para minimizar el desgaste de las mismas. Un punto de máxima importancia en estas cribas es el disponer de un diseño constructivo óptimo que permita un fácil y rápido reemplazo de las mallas, bien por razones de mantenimiento o para ajustar en todo momento la granulometría de las arenas producidas, Figura 7.

5. BIBLIOGRAFÍA

Juan Luis Bouso

API RP 19C / ISO 13503-2:2006, Measurement of properties of proppants used in Hydraulic Fracturing and gravel-packing operations, 1st Edition.

API RP 56, Recommended practices for testing sand used in Hydraulic Fracturing operations, 2nd Edition.