

**Evaluación de Barita de Minas colombianas para las Formulaciones de Lodos de
Perforación**

Jorge Luis Guerra Flórez

Jhurany's Alejandra Villarreal Orozco

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero de Petróleos

Director:

Néstor Fernando Saavedra Trujillo

M. Sc. en Ingeniería de Petróleos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A Dios por regalarme la vida y darme la oportunidad de hacer posible un logro más en mi vida.

A mi madre Casta Flórez y a mi padre Salvador Guerra por creer siempre en mí, por brindarme su gran apoyo incondicional para realizar una y cada una de las metas propuestas, por sus consejos, su educación y ganas de sacar sus hijos adelante.

A mis hermanos, Jesús David y María Angelica por su afecto, apoyo, por ser ejemplos de vida y porque cada uno tiene una historia diferente por contar. Este triunfo es de ustedes también.

A mi compañera de vida Daniela Judith, por su gran afecto, por estar siempre ahí apoyándome desde el inicio de mi carrera, porque siempre crees en mí y te apasionas igual que yo por cumplir mis metas.

A mi tía Olga y familia por el apoyo brindado al inicio de mi carrera en Barrancabermeja.

A mi compañera de tesis Jhurany Alejandra por su trabajo en equipo, por su paciencia y dedicación para la culminación de este proyecto, lástima que siempre te dormías a las 10:00pm.

Jorge L Guerra Flórez.

Dedicatoria

A quien me dió la vida.

A mis padres Emilse Orozco Hernández y Raúl Villarreal Villarreal quienes con mucho esfuerzo y sacrificio me brindaron esta oportunidad, gracias por su apoyo incondicional, comprensión y motivación a salir adelante.

A mis hermanos Shirly Tatiana y Raúl David por ser mis compañeros y amigos, por la paciencia, ejemplo de grandes personas e inspiración a ser mejor.

Gracias a Jorge Guerra por su dedicación y compromiso.

Y por último a mi familia y amigos que durante mi carrera de una u otra forma me brindaron una mano amiga, fueron un soporte en mi formación profesional desde los inicios a esta aventura especialmente a Adis Orozco, Fabian D., Elizabet Piscioti, Jose Manuel Orozco.

¡Gracias totales!

Jhurany Villarreal.

Agradecimientos

A Néstor Saavedra por su paciencia, disponibilidad y tiempo invertido en la orientación de este proyecto.

Al Grupo de Investigación de Estabilidad de Pozos por la gestión, compromiso y apoyo.

Al personal del laboratorio de lodos y cementos en el ICP por su asesoría y supervisión durante la realización de las pruebas de laboratorio.

A la Universidad Industrial de Santander, a la escuela de Ingeniería de Petróleos y a sus docentes por darnos una formación de calidad.

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
2. Estado del Arte.....	19
2.1 Fluidos de perforación	19
2.1.1 Composición de los fluidos de perforación.	20
2.1.1.1 Fase líquida.	20
2.1.1.2 Fase sólida.....	21
2.1.1.3 Fase química.	21
2.1.2 Propiedades fisicoquímicas de los fluidos de perforación.	22
2.1.2.1 Reología.	22
2.1.2.1.1 Viscosidad aparente.	22
2.1.2.1.2 Viscosidad plástica.....	23

2.1.2.1.3 Punto cedente.....	23
2.1.2.1.4 Resistencia de gel.....	23
2.1.2.1.5 Pérdida del filtrado.....	23
2.1.2.1.6 Resistividad.....	23
2.1.2.1.7 pH del lodo.....	24
2.1.2.1.8 Alcalinidad.....	24
2.1.2.1.9 Densidad.....	24
2.1.3 Densidad y su importancia durante la perforación.....	24
2.2 Densificantes.....	26
2.3 Generalidades de la barita.....	27
2.3.1 Tipos de depósito.....	29
2.3.1.1 Rellenos de venas y cavidades.....	29
2.3.1.2 Depósitos estratificados.....	29
2.3.1.3 Depósitos residuales.....	30
2.4 Proceso productivo de barita.....	31
2.4.1 Extracción.....	31
2.4.2 Trituración.....	31
2.4.3 Molienda.....	31
2.4.4 Concentración.....	32
2.4.5 Secado.....	32

2.4.6 Envase.....	32
2.5 Estudio técnico.....	33
2.5.1 Trituración.....	34
2.5.2 Molienda y Flotación.....	35
2.6 Usos de la barita.....	37
2.7 Mercado Internacional de barita.....	38
2.8 Precios barita en el continente americano.....	39
3. Barita en Colombia.....	40
3.1 Municipio De La Paz.....	43
3.2 Municipio de Bolívar.....	43
3.3 Municipio de Jesús María.....	43
3.4 Municipio de Barichara.....	43
3.5 Municipio de Los Santos.....	44
3.6 Municipio de Charta.....	44
3.7 Municipio de Girón.....	45
3.8 Municipio de Zapatoca.....	45
3.9 Municipio La Guaca.....	45
3.10 Municipio de La Aguada.....	45
3.11 Usos de la barita en Colombia.....	51
3.12 Identificación de la demanda actual de la Barita, Consumidores y Usos.....	52

3.13 Localización de centros de consumo de barita	52
3.14 Títulos mineros otorgados por la ANM para el mineral barita.	54
4. Pruebas de laboratorio para verificar el cumplimiento de los requerimientos físicos y químicos de las minas seleccionadas.....	57
4.1 Determinación de la densidad.....	59
4.2 Presencia de metales alcalinotérreos solubles en agua tales como calcio o magnesio.	61
4.3 Residuo mayor de 75 micras.....	63
4.4 Partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente.....	64
5. Análisis financiero elemental de costos de producción y precios de barita.....	65
5.1 Método del valor presente neto.....	65
5.1.1 Escenario N°1: producción de barita a partir de mineral con densidad entre 3.8 – 4.19 gr/cm ³	66
5.1.2 Escenario N°2: producción de barita con densidad mayor o igual a 4.2 gr/cm ³	70
5.1.3 Escenario N°3: producción de barita a partir de la compra de mineral molido con densidad menor a 4.2 gr/cm ³	73
5.2 Valor Presente Neto	75
5.3 Indicadores Financieros	76
5.4 Análisis de matriz DOFA.....	79
6. Rendimiento y la economía de la barita nacional frente la importada.....	81
7. Análisis de resultados	84

8. Conclusiones	85
9. Recomendaciones	87
Referencias Bibliográficas	88
Apéndices.....	91

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones mínimas de barita para lodos de perforación norma API 13 A.....	20
Tabla 2. Densificantes usados en lodos de perforación.	26
Tabla 3. Densidades alcanzadas luego del proceso de concentración a partir de mineral bruto. .	32
Tabla 4. Producción y reservas del mineral Barita	38
Tabla 5. Distribución de precios a nivel del continente americano.	39
Tabla 6. Distribución de los depósitos de barita en el departamento Norte de Santander.....	46
Tabla 7. Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Cesar.....	46
Tabla 8. Distribución de los depósitos de barita en el departamento de Santander.....	47
Tabla 9. Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Cauca.....	48
Tabla 10. Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Tolima.	48
Tabla 11. Distribución de los depósitos de barita en el departamento de Cundinamarca.	49
Tabla 12. Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Huila.....	49
Tabla 13. Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.	51
Tabla 14. Títulos mineros otorgados por la ANM en territorio colombiano.	55
Tabla 15. Información de las muestras adquiridas para el análisis de laboratorio.	58
Tabla 16. Cualificación y cuantificación de los minerales presentes en las muestras.....	58
Tabla 17. Densidad calculada para la muestra seleccionadas.....	61
Tabla 18. Contenido de calcio y magnesio en partes por millón presente en las muestras.	62

Tabla 19. Porcentaje en peso del residuo mayor a 75 micras para la muestra N°4, Muestra Comercial N°1 y N°2.....	63
Tabla 20. Porcentaje en peso de las partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente.....	64
Tabla 21. Costo de tratamiento de barita por tonelada.....	66
Tabla 22. Costos de equipos y maquinaria Escenario N°1.....	67
Tabla 23. Indicadores financieros para el proyecto.....	69
Tabla 24. Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°1.....	69
Tabla 25. Flujo de caja anual Escenario N°1.....	70
Tabla 26. Costos de equipos y maquinaria Escenario N°2.....	71
Tabla 27. Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°2.....	72
Tabla 28. Flujo de caja anual Escenario N°2.....	73
Tabla 29. Costos de equipos y maquinaria Escenario N°3.....	74
Tabla 30. Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°3.....	75
Tabla 31. Indicadores financieros para los escenarios del proyecto.....	77
Tabla 32. Formulación del lodo base.....	82
Tabla 33. Pesos de lodos obtenidos en el rendimiento de las muestras.....	83
Tabla 34. Resultados de los requerimientos Fisicoquímicos para las muestras de barita.....	84

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Roca de barita.	28
Figura 2. Esquema del método tumba sobre carga.	29
Figura 3. Esquema general del proceso productivo de barita.	33
Figura 4. Sección de Trituración de barita.	34
Figura 5. Sección de Molienda y Flotación de barita.	35
Figura 6. Ubicación geográfica de las manifestaciones de barita en el departamento de Santander.	42
Figura 7. Distribución de yacimientos de barita a nivel nacional.	50
Figura 8. Demanda de barita 2016.	53
Figura 9. Matraz de Lechatelier con Diesel para la Muestra N°2(Cesar), repetición 4.	60
Figura 10. Obtención del filtrado de lodo para la Muestra N°4 (Guajira).	62
Figura 11. Valor de inversión inicial, USD\$ 78	78
Figura 12. Ingresos anuales, USD\$..... 79	79
Figura 13. Matriz DOFA..... 81	81
Figura 14. Aspecto físico del lodo base usado para el rendimiento de las muestras.	82
Figura 15. Tonalidad de los lodos obtenidos y balanza de lodo usada.	83

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Procedimiento para la validación de diseño experimental definido por shirakov V. P. 1985.	91
Apéndice B Procedimiento para la determinación de las propiedades físicas y químicas de la barita norma API 13A “Specification for Drilling-Fluid Materials”	95
Apéndice C. Cálculos y mediciones obtenidas para la determinación de la densidad.	105

Introducción

Colombia es un país que cuenta con grandes riquezas minerales, estos han aumentado su importancia durante las últimas décadas debido a la demanda en el mercado mundial como materia prima para las diferentes industrias; La Barita; es un mineral que se encuentra naturalmente en ambientes geológicos ígneos, sedimentarios y metamórficos; este material es importado en grandes cantidades de otros países, en ocasiones por el desconocimiento de las características de barita nacional y del potencial que Colombia posee para la posible explotación de sus minas incrementando la importación del material;

Hasta el momento ha sido poco el avance en el estudio que busque adelantar programas de prospección del uso de las minas de barita en Colombia para la formulación de lodos de perforación, que permita tener las dimensiones del recurso con que cuenta el país, conjuntamente la principal demanda de la barita en Colombia se encuentra en la industria del petróleo como agente densificante de lodos de perforación; según la información brindada por la Agencia Nacional de Minería, el Servicio Geológico Colombiano y otras tesis relacionadas con el tema.

Es así, que a través de esta investigación se expone la calidad con que el mineral se encuentra presente en algunas minas seleccionadas en el territorio colombiano, realizando análisis de laboratorio basados en las normas API 13A, API RP 13B-1 y API RP 13K. Contrastando cada muestra con los requerimientos mínimos que debe poseer la barita para ser implementada en lodos de perforación. Se adquirieron muestras de barita para la determinación de las propiedades físicas y químicas según las especificaciones apartadas en la API como lo son; densidad, metales alcalino – térreos solubles en agua tales como el calcio, residuo mayor de 75 micras, partículas menores de

6 micras en el diámetro esférico equivalente, finalmente un análisis financiero elemental de costos para la implementación de una planta de producción de barita.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de yacimientos de barita de Colombia hacia la formulación de lodos de perforación a través de análisis de laboratorio aplicando las normas API con el fin de establecer sus propiedades para su posible explotación y comercialización en la industria.

1.2 Objetivos específicos

- Establecer los depósitos de barita en Colombia y caracterizar las muestras de barita obtenidas.
- Determinar las propiedades API de barita mediante pruebas de laboratorio para verificar el cumplimiento de los requerimientos físicos y químicos de las minas seleccionadas.
- Realizar un análisis financiero elemental de costos de producción y precios de barita.
- Contrastar el rendimiento y la economía de la barita nacional frente la importada.

2. Estado del Arte

2.1 Fluidos de perforación

Los fluidos de perforación están compuestos por una mezcla de aditivos químicos que proveen las condiciones tanto químicas como físicas, necesarias para las condiciones de perforación en una formación geológica.

Desempeñan numerosas funciones que buscan un desarrollo exitoso de la perforación. Entre estas están la de transportar y mantener en suspensión los recortes que se generen en la perforación, enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación, ayudar a suspender el peso de la sarta y del revestimiento del pozo, dar sostén a las paredes del pozo al recubrirlas con una torta (cake) impermeable, controlar las presiones subterráneas, reducir cualquier efecto adverso sobre las formaciones perforadas, asegurar la máxima información de las formaciones perforadas, transmitir la fuerza hidráulica del motor a través de la sarta a la broca, remoción de los detritos, entre otras. Una de las funciones principales de un lodo de perforación es garantizar el control de las presiones encontradas a medida que la perforación avance, el proporcionar una columna hidrostática que se adecúe a las necesidades del programa de diseño de las tuberías y a la formación geológica.

A través de los años, diferentes materiales se han empleado como agentes densificantes. Un densificante es un compuesto que interactúa con las partículas de un fluido y por medio de fuerzas electrostáticas promueve el acercamiento entre partículas; por ello se obtiene un estado más denso, más concentrado, generalmente se emplean para este fin algunos densificantes como el óxido de hierro, carbonato de calcio, la barita, arcillas, la sílice amorfa.

El sulfato de bario es uno de los más utilizados recientemente, ya que logra incrementar el peso del lodo sin aumentar significativamente la viscosidad de este; además de que posee carácter químico inerte, suavidad y es de relativamente bajo costo.

La Tabla 1 dicta los lineamientos mínimos que debe tener la barita para ser implementadas en lodos de perforación. Estas especificaciones se describen en la norma API SPEC 13A “Especificación para los materiales fluidos que se utilizan en la perforación”.

Tabla 1.

Especificaciones mínimas de barita para lodos de perforación norma API 13 A.

Grado de uso en lodos de perforación	
Densidad	4.2g/cm ³ min.
Metales alcalinotérreos	250ppm máx.
Residuos >75μ	3% en peso, % máx.
Partículas >6μ en diámetro esférico equivalente	30% en peso, % máx.

2.1.1 Composición de los fluidos de perforación. La composición de los fluidos de perforación se puede clasificar en tres fases las cuales son, fase líquida, la fase sólida, fase química; dependiendo de su implementación se optará por una fase líquida con diferentes contenidos de sólidos y aditivos químicos.

2.1.1.1 Fase líquida. Constituye al elemento de mayor proporción que mantendrá en suspensión los diferentes aditivos, siendo la fase continua del lodo, esta puede ser agua dulce o salada; también agua y aceite formando una emulsión. Dependiendo en las proporciones que la emulsión se encuentre se puede clasificar como continua o discontinua.

Según los requerimientos de la operación de perforación, generalmente la base de la composición de los fluidos pueden ser aire o gas cuando se trata de zonas con rocas duras e impermeables, petróleo para reacondicionamiento de pozos o terminación de este, solo agua cuando son zonas no sensitivas, lodos base agua cuando se busca controlar formaciones complejas e inestables, combinaciones entre agua y aceite para generar emulsiones que presentan gran estabilidad cuando son expuestos a altas temperaturas.

2.1.1.2 Fase sólida. Esta fase la constituye principalmente el agente densificante, así como los sólidos no deseables presente en el lodo como lo son las arenas y recortes de perforación, estos últimos pueden aumentar la inestabilidad del lodo a medida que su porcentaje en volumen se eleva. Algunos químicos pueden aumentar la capacidad de tolerar los sólidos presentes en el lodo de perforación, sin embargo, estos representan un costo adicional a la operación.

La fase sólida se puede clasificar de dos maneras, la primera que consta la denominada sólidos activos la cual está compuestas por partículas que se hidratan o que tienen numerosas cargas eléctricas; la segunda fase se constituye por partículas inertes presentes en el lodo como puede ser la barita u otro densificante en lodos base agua

El tamaño de partícula de esta fase es de gran importancia ya que tamaños de partículas pequeños (menores a 74 micrómetros) generan abrasividad que da como resultado el desgaste de las herramientas y equipos en general.

2.1.1.3 Fase química. Se considera fase química a las sustancias e iones que se encuentran en solución que se encargan de controlar el comportamiento de las partículas sólidas activas para

mantener el fluido bajo los requerimientos del diseño. Estas sustancias pueden ser controladores de filtrado, dispersantes, sólidos disueltos, emulsificantes, entre otros.

2.1.2 Propiedades fisicoquímicas de los fluidos de perforación. Evaluar las propiedades fisicoquímicas del lodo durante la perforación juega un papel de suma importancia para el control y el éxito de la operación. Estas propiedades deben ser controladas de tal forma que se garantice las condiciones óptimas del lodo para un trabajo eficiente. El monitoreo de estas busca mantener el nivel deseado de cada propiedad, solucionar los problemas ocasionados y así poder garantizar el control de la operación.

Las propiedades generales del lodo de perforación son (Fluidos de Perforación, PDVSA, 2002):

2.1.2.1 Reología. Se relaciona con los esfuerzos cortantes generados por el lodo y la suspensión de recortes mientras se encuentra fluyendo, además las fuerzas estáticas cuando este se encuentra detenido, es decir la manera en que se deforma y fluye la materia; entre las propiedades reológicas se encuentra:

2.1.2.1.1 Viscosidad aparente. La viscosidad de un fluido medida a una determinada velocidad de corte y a una temperatura fija debido a las fuerzas de adhesión y cohesión producida por la interacción entre las moléculas. Para que una medición de la viscosidad sea significativa, la velocidad de corte debe ser expresada o definida.

2.1.2.1.2 Viscosidad plástica. Es una medida absoluta de la resistencia a fluir causada por la fricción mecánica, entre los sólidos en el fluido o entre los sólidos y el agua. Está determinado por el tamaño forma y cantidad de sólidos.

2.1.2.1.3 Punto cedente. Es la resistencia inicial al flujo de un fluido o el esfuerzo requerido para hacer que el fluido se mueva. Simplemente se puede afirmar que el Punto Cedente es la fuerza atractiva entre las partículas coloidales del fluido de perforación.

2.1.2.1.4 Resistencia de gel. Es la medida de las fuerzas inter-particulares en el fluido a condiciones estáticas, la medida debe ser suficientemente alta para mantener los sólidos en suspensión cuando el fluido se encuentra en reposo.

2.1.2.1.5 Pérdida del filtrado. Cierta proporción de la fase líquida del lodo es filtrada a través de las paredes del pozo debido a que la presión hidrostática ejercida por la columna de fluido es mayor a la presión de la formación. Se genera un revoque o torta en la parte exterior del pozo existen dos tipos de filtrado en el pozo: el estático, en donde el lodo está en reposo y el espesor de la torta aumenta con el tiempo y el filtrado dinámico cuando el lodo está en movimiento, la torta es más delgada pero la pérdida de fluido es mayor.

2.1.2.1.6 Resistividad. Es la resistencia que tiene el fluido al paso de corriente eléctrica, con la cual se puede determinar la estabilidad de los lodos en emulsión, y es requerida para determinar la veracidad de los resultados de los registros eléctricos.

2.1.2.1.7 pH del lodo. Es el valor que representa la concentración de hidrógeno en un líquido y se usa para indicar la acidez o alcalinidad del lodo de perforación. El pH se representa en un valor numérico (0-14), indica si el lodo es ácido o básico. La mayoría de los fluidos base acuosa son alcalinos y trabajan con un rango de pH entre 7.5 a 11.5. Cuando el pH varía de 7.5 a 9.5, el fluido es de bajo pH y cuando varía de 9.5 a 11.5, es de alto pH.

2.1.2.1.8 Alcalinidad. Se define como la concentración iónica soluble en agua que pueden neutralizar ácidos. Una medida de la cantidad total de iones hidroxilo en una solución, determinada mediante la titulación con ácido normalizado.

2.1.2.1.9 Densidad. Es la relación entre el peso del fluido en un volumen expresado en unidad de masa sobre unidad de volumen es una propiedad requerida por el lodo determinada por el gradiente de presión de la formación se encarga de mantener en sitio los fluidos de la formación y las paredes del pozo.

2.1.3 Densidad y su importancia durante la perforación. La densidad en los fluidos de perforación toma importancia principalmente en el manejo de las presiones durante el proceso de perforación del pozo. Si no se controla este parámetro se incurriría en problemas operacionales como amagos de reventón o patadas de pozo. Este control se logra con el mantenimiento de una presión hidrostática ejercida por el lodo de perforación, la presión hidrostática es directamente proporcional a la densidad y a la altura de la columna de fluido. Se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$Ph = 0.052 * h * \rho$$

Donde:

Ph: es la presión hidrostática ejercida por la columna de fluido, psi.

h: es la altura vertical del fluido, pies.

ρ : es la densidad del lodo de perforación, lpg (libras por galón).

Usualmente se busca que la presión hidrostática ejercida por el lodo sea ligeramente mayor a la presión de la formación, con el fin de evitar que los fluidos de la formación fluyan hacia el pozo.

Algunas de las ventajas y desventajas de la densidad en el fluido de perforación son:

Ventajas

- El peso del lodo ayuda al control de las presiones ejercidas por las formaciones, los derrumbes de las paredes y la invasión de fluidos.
- Permite mantener en suspensión algunos recortes del proceso de perforación para luego ser transportados a superficie.
- Mayor alcance de perforación con el mismo peso del lodo.

Desventajas

- Si la presión hidrostática ejercida por la densidad del lodo al momento de la perforación es mayor a la presión de fractura de la formación, se generarán fracturas e inducirán daño a las arenas.
- Si la densidad es muy baja, la presión generada por la formación puede llegar a ser mayor a la presión hidrostática, lo cual significa un riesgo para el personal y el medio ambiente, por casos de reventones.
- Una baja densidad de lodo podría generar un atascamiento de la broca al momento de perforar, debido a la mala limpieza de los recortes.

2.2 Densificantes

Un densificante es aquel compuesto no tóxico de alta gravedad específica que se utiliza para incrementar la densidad de un fluido de perforación y su consistencia, controlando la presión hidrostática y posibles derrumbes de la formación. La manera en la que actúa un densificante es permitiendo que las partículas del fluido se atraigan o interactúen entre sí por medio de fuerzas electrostáticas y así obtener un fluido más denso y concentrado.

Los densificantes más usados en la industria petrolera se encuentran en la tabla 2:

Tabla 2.

Densificantes usados en lodos de perforación.

Densificante	Compuesto	Gravedad específica
Galena	Sulfuro de plomo	7.4 – 7.7
Hematita	Cloruro de potasio	4.9 – 5.3
Magnetita	Óxido de Hierro	5.0 – 5.2
Barita	Sulfato de bario	4.2 – 4.5
Siderita	Siderita	3.7 – 3.9
Dolomita	Carbonato de calcio y magnesio	2.8 – 2.9
Calcita	Carbonato de calcio	2.6 – 2.8

La barita es usada en zonas productoras cuando se requieren densidades mayores a 12 Lbs/gal, en caso de no ser así, se usará Carbonato de Calcio o sales inorgánicas, esto dependiendo de la densidad requerida por las condiciones de la formación. (Fluidos de Perforación, PDVSA, 2002).

2.3 Generalidades de la barita

La Barita; es un mineral que se encuentra naturalmente en ambientes geológicos ígneos, sedimentarios y metamórficos, con edades que oscila entre el precámbrico al terciario formado por masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas cuya composición química es $BaSO_4$ (sulfato de bario) siendo el mineral de bario más común, con características como; lustre vítreo, dureza, 3; la gravedad específica, 3.5-4.5, este último hace de la barita un agente ideal para fluidos de perforación, ya que le añade gran parte del peso a la lechada. Se considera que es de fácil diferenciación por la tendencia del material para dividirse a lo largo en forma de paralelepípedos, su insolubilidad y falta de efervescencia en los ácidos. (UPME, 2014)

Este mineral representa aproximadamente el 40% de los constituyentes de estos lodos. Los usos se extienden, además, a los adhesivos, bolas de tenis, materiales de fricción, pinturas, plásticos, caucho, papel, vidrio, como absorbente de la radiación gamma en los complejos nucleares, cerámicos y electrónica (Barriga & Ramirez, 1994).

La barita se manifiesta en grandes cantidades como vetas o capas; también como mineral de ganga (mineral secundario) en varias vetas cristalinas y grupos de cristales. Generalmente está asociada con minerales de plomo, cobre, hierro, zinc, plata, níquel, cobalto, manganeso, etc. También se encuentra asociado con la fluorita, cuarzo, calcita, dolomita, siderita, etc.



Figura 1. Roca de barita.

La barita presenta un tipo de extracción subterránea utilizando un sistema de tumbe sobre carga en donde el mineral de extracción que se lleva a cabo a través de contrapozos a niveles de acarreo, en donde el acarreo a interior de la mina es por medio de tolvas en donde se conduce en carro minero hasta el tiro de extracción general a superficie. Del mineral quebrado o tumbado se extrae solamente una tercera parte, quedando el resto para continuar con el tumbe del bloque. El mineral quebrado restante se extrae hasta que los cortes lleguen al nivel superior, como se aprecia en la figura 2. En su presentación como extracción se da por cristales comúnmente tabulares, también en forma globular, fibrosa o laminar, penachuda; burdamente laminada, parecida al mármol blanco y terrosa, colores algunas veces en bandas como en la estalagmita. (Barriga & Ramirez, 1994).

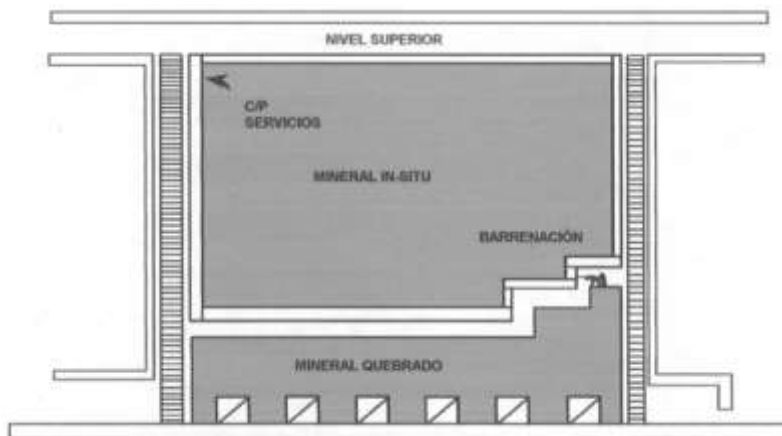


Figura 2. Esquema del método tumba sobre carga. Adaptado de: Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

2.3.1 Tipos de depósito. Según el informe anual de minerales no metálicos de INGEOMINAS, 2002 La barita se manifiesta en grandes cantidades como vetas o capas; también como mineral de ganga en varias vetas minerales en cristales y grupos de cristales. (Camacho J. A., 2002)

Camacho las distribuye de la siguiente forma:

2.3.1.1 Rellenos de vetas y cavidades. La barita transportada por fluidos hidrotermales por aguas profundas es comúnmente depositada en fallas, diaclasas, planos de estratificación, zonas de brecha, canales de solución y otras estructuras. Las vetas pueden tener varios centenares de metros de longitud y varios decímetros a varios metros de espesor, y está usualmente acompañada de fluorita, pirita, plomo, zinc, sulfuros de cobre y minerales de las tierras raras.

2.3.1.2 Depósitos estratificados. La barita ocurre como parte de cuerpos pertenecientes a una secuencia de rocas estratificadas, como componente principal o como agente cementante, o

asociado con depósitos estratiformes de sulfuro masivo. Los depósitos sedimentarios típicamente están asociados con chert, shale y limolita. La barita, usualmente de grano fino y oscura, ocurre en forma masiva a capas laminadas hasta de 30 m de espesor y posiblemente se extiende hasta varios kilómetros cuadrados. Los depósitos estratificados de barita representan una alternativa de gran significado económico, debido a sus altas reservas y a las modernas técnicas de minería y el alto grado de simplificación en el beneficio. Basados en la sucesión estratigráfica, en la posición tectónica y en la geoquímica, los depósitos negros estratificados de barita en rocas silíceas pueden ser divididos en dos tipos: (a) Barita en rocas clásticas de grano grueso asociadas con corrientes turbidíticas y depositadas en rifts intracratónico, asociadas a rocas volcánicas, generalmente basaltos alcalinos. Los depósitos están a menudo asociados con sulfuros metálicos formados por exhalaciones volcánicas submarinas. (b) Barita interestratificada con chert y rocas siliciclásticas formadas en cuencas oceánicas pequeñas localizadas entre una margen pasiva continental y una zona de subducción. Estos depósitos no se asocian con depósitos de sulfuros, y pueden tener un origen biogénico.

2.3.1.3 Depósitos residuales. La producción comercial de barita residual viene de depósitos superficiales, en los cuales la barita está en la forma de fragmentos embebidos en una arcilla residual. Tanto la barita como la arcilla se derivan de la meteorización de las rocas supra yacentes, generalmente dolomita.

2.4 Proceso productivo de barita

El proceso productivo de la barita se puede resumir generalmente en 5 procesos principales que se dominan: extracción, trituración, concentración, secado, molienda y envase. Donde básicamente se lleva la barita en rajón (roca extraída de mina) hasta obtener el mineral con las especificaciones para la implementación en lodos de perforación. (Barriga & Ramirez, 1994).

2.4.1 Extracción. Se realiza por minado subterráneo utilizando el sistema de tumbe sobre carga. La extracción de mineral se lleva a cabo a través de contrapozos a niveles de acarreo. El acarreo interior en mina después de tolvas se conduce en carro minero hasta el tiro de extracción general a superficie. Del mineral quebrado o tumbado se extrae solamente una tercera parte, quedando el resto para continuar con el tumbe del bloque. El mineral quebrado restante se extrae hasta que los cortes lleguen al nivel superior

2.4.2 Trituración. Se realiza con trituradoras de quijada y/o cono y usualmente se utilizan cribas vibratorias en el circuito, en parte para maximizar la eficiencia de la trituración y para reducir la producción de ultrafinos. Se tiene también un circuito de trituración secundaria con el propósito de homogeneizar los tamaños de partícula antes de la separación gravimétrica.

2.4.3 Molienda. La molienda del mineral se realiza mediante molino de martillos, para tener un mejor control del tamaño de la partícula. Por otra parte, la molienda también es útil para ajustar el tamaño a las necesidades y especificaciones del cliente.

2.4.4 Concentración. El mineral triturado y molido se clasifica en mesas concentradoras donde se diferencian concentrados (mineral con alto contenido de BaSO_4), medios y colas (residuos), el cual puede ser repetido hasta tres veces. Los concentrados pasarán a un secador rotatorio; los medios por las mesas concentradoras y al final también al secador rotatorio, las colas a desecadores y posteriormente al área de terreros para su disposición.

El proceso de concentración de barita tiene como objetivo principal el aumento del peso específico del mineral eliminando impurezas implementando celdas de concentración que de acuerdo con el contenido de sulfato de bario se puede incrementar su densidad en los rangos expuestos en la tabla 3:

Tabla 3.

Densidades alcanzadas luego del proceso de concentración a partir de mineral bruto.

Densidad mineral bruto [g/cm^3]	Densidad de barita concentrada [g/cm^3]
3,61 – 3,69	4,09 – 4,15
3,70 – 3,80	4,16 – 4,20
3,81 – 3,99	4,21 – 4,22
4,0 – 4,08	4,23 – 4,24

2.4.5 Secado. Se realiza mediante secador rotatorio, en el cual se introducen tanto los medios como los concentrados con el objeto de reducir la humedad y asegurar el libre flujo de material en los pasos subsecuentes.

2.4.6 Envase. El mineral molido se almacena en silos para ser cargado en tractocamiones de aproximadamente 28 toneladas y realizar el embarque a granel, o por medio de una ensacadora que permite el llenado de sacos de 50 kilos. (Dirección General de Desarrollo Minero, 2014).

2.5 Estudio técnico

El estudio técnico permite conocer las herramientas y equipos necesarios para la explotación de barita, sin embargo, el requerimiento de estos equipos está fundamentado en la calidad del material a procesar. En este estudio se tomó como base el proceso proporcionado por la empresa “911 metallurgist” donde detalla el proceso productivo para el procesamiento de barita sin agregados de fluorita o zinc. La figura 3 se detalla el proceso generalizado para el tratamiento de barita luego de su extracción.

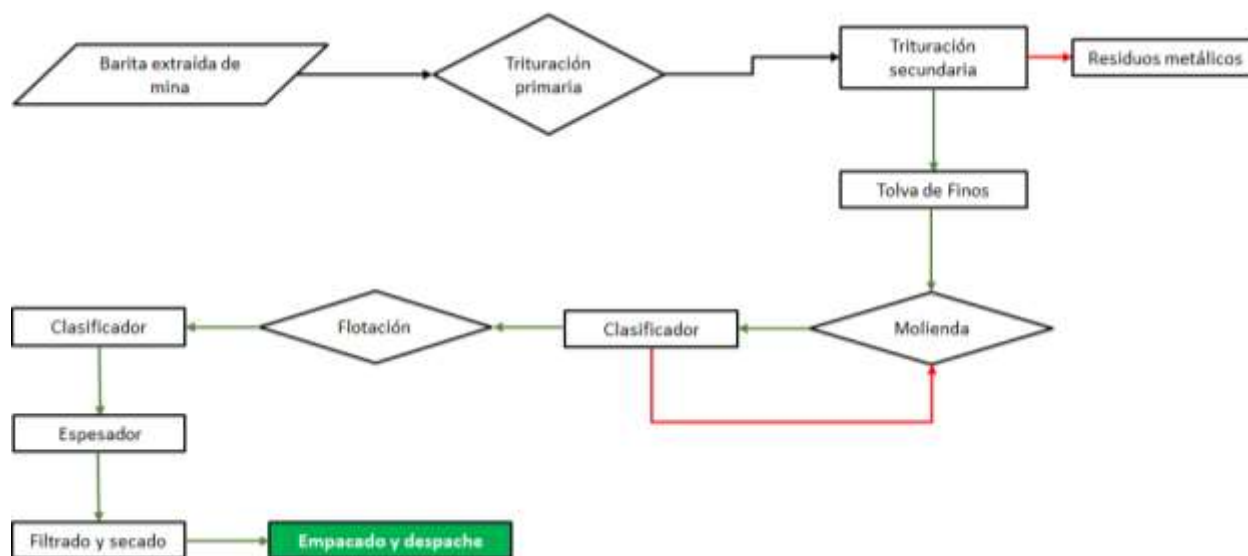


Figura 3. Esquema general del proceso productivo de barita.

El proceso adjunta dos partes fundamentales, la trituración y la concentración por flotación que tienen como objetivo final llevar el material a los requerimientos mínimos para su uso en los lodos de perforación. El producto de salida posee una finura menor a 5% sobre la malla 325; Gravedad específica de 4.2 con un porcentaje de 90% o más de sulfato de bario (BaSO_4).

La etapa principal del proceso es el chancado y trituración donde la finalidad es disminuir el tamaño de las rocas para posteriormente ser llevadas a la flotación, como se describe en la figura 4.

2.5.1 Trituración

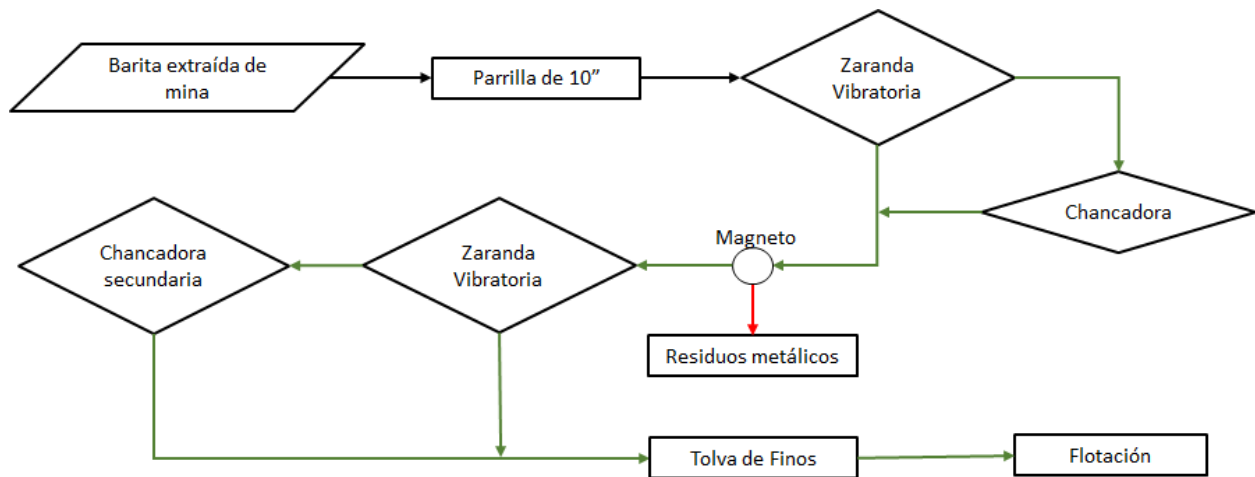


Figura 4. Sección de Trituración de barita.

El proceso inicia con el control del ingreso del material a través de una parrilla de 10 pulgadas evitando la entrada de material grueso al sistema. El material admitido es llevado a una zaranda vibratoria con velocidad variable que controla la alimentación de la chancadora o trituradora de mandíbula que reduce el material de 10" a 1.5", el flujo de salida de la zaranda y de la chancadora se unen para ser llevados por medio de una correa transportadora a una zaranda secundaria. En el proceso un magneto instalado encima de la correa transportadora sustrae las partículas metálicas que puedan estar presentes en el mineral. La segunda zaranda vibratoria clasifica la materia prima llevando el material que no posee el tamaño adecuado a una chancadora secundaria (chancadora cónica), teniendo como resultado un mineral con tamaño que oscila entre 105 y 74 micrones (malla

140 - 200). El material es llegando a una tolva de finos para posteriormente seguir al proceso de flotación.

2.5.2 Molienda y Flotación

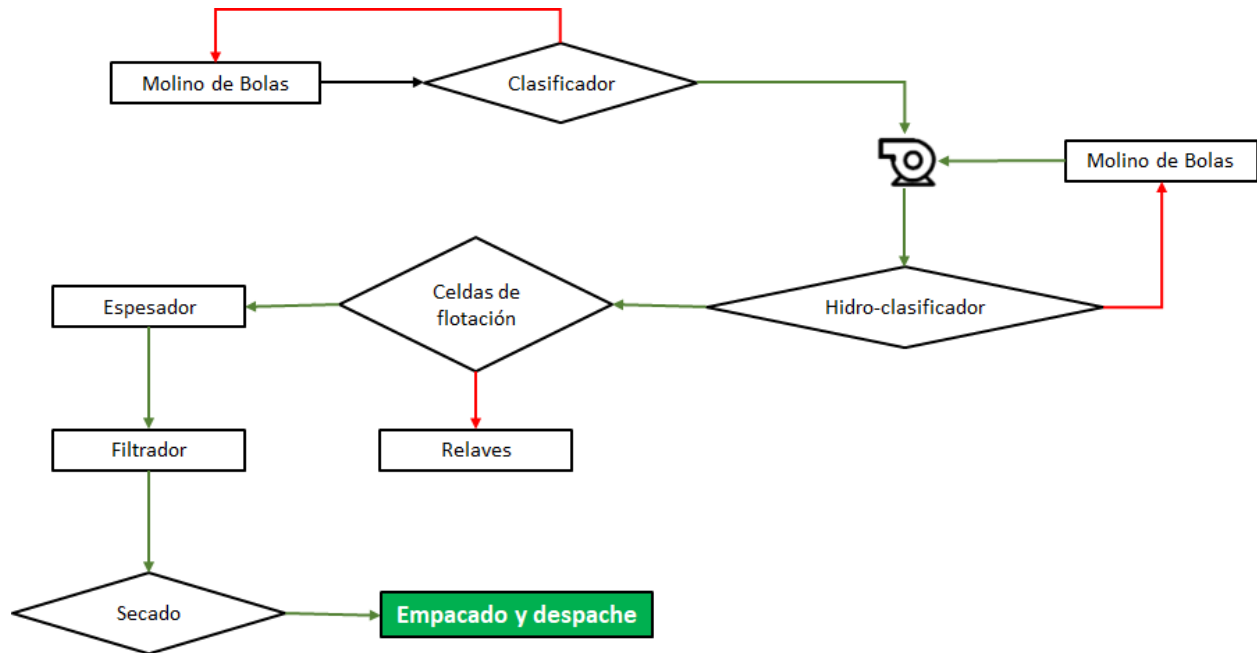


Figura 5. Sección de Molienda y Flotación de barita

La barita triturada que sale de la tolva de finos que cumple con la función de dosificar el caudal de alimentación dirigido al molino de bolas cuya descarga reduce el material a un tamaño de 44 micrómetros (malla 325), el mineral molido pasa a un clasificador donde el material grueso es recirculado al molino de bolas, como se presenta en la figura 5.

Antes de enviar el material a flotación es llevado a un tanque acondicionador o hidroclasificador en donde se llevará a cabo la concentración, la fracción gruesa presente en la descarga inferior del hidroclasificador se envía a un molino de bolas (de menor tamaño que el

principal) cargado con bolas de acero. El producto re-molido es enviado nuevamente al hidroclasificador para efectuar el proceso de clasificación nuevamente.

Esta molienda de dos etapas permite una mayor flexibilidad en el control de la molienda. Algunos minerales requieren que la alimentación acondicionadora tenga un mayor contenido de sólidos, lo que a veces elimina el efecto de las sales solubles y efectivamente controla la densidad de la pulpa en el acondicionador y circuitos de flotación. La flotación a veces puede ser hecha en el 40-50% de sólidos; sin embargo, la flotación en mayor porcentaje en sólidos produce un producto más acabado en celdas de flotación, por lo que esta clasificación en espesador suele aplicarse.

El rebose del hidroclasificador es acondicionado con reactivos necesarios para flotación. Si no se añade la sosa cáustica en el molino de bolas, se añade con carbonato sódico al acondicionador para tener un pH desde 8,0 a 10,0. Silicato de sodio se agrega a veces para liberar limos; mientras que el colector es generalmente un ácido graso refinado o un producto similar que puede añadirse al acondicionador o en etapas.

Una celda de Flotación para no metálicos equipada con impulsores forrados y con placas actuando como difusores produce concentrados de flotación. La calidad de estos concentrados se mejora por dos fases de limpieza. Cada etapa consta de 3 a 6 celdas. El nivel de la pulpa de cada celda puede ser controlado por medio de placas. Los relaves (trazas de material con alta concentración de químicos) de flotación se muestrean por un muestreador automático. Los relaves se bombean por medio de una bomba SRL hacia el depósito de relaves.

En la etapa de limpieza la espuma del concentrado se mueve de la etapa de flotación primaria a la secundaria por gravedad, y los productos intermedios son retornados al acondicionador.

El concentrado final de flotación es enviado a un espesador. El producto del espesador se envía a una etapa de filtración equipada con un filtro de discos.

El producto filtrado alimenta a un secador, y el producto seco es transportado hasta una tolva de concentrado de donde se alimenta a un sistema de ensacado, o en todo caso se apila en silos para luego ser despachados en camiones.

2.6 Usos de la barita

Cerca del 90% de la producción de la barita en forma de polvo fino se emplea junto a arcillas y agua como agente densificante en los fluidos de perforación. Se lo utiliza en la producción de agua oxigenada, en la fabricación de pigmentos blancos y, como carga mineral, en pinturas y en la industria del caucho. Se lo emplea especialmente en la producción del litopón, una combinación de sulfuros y sulfatos usados para recubrimientos. Se lo usa también en la industria de los frenos, del vidrio y como recubrimiento en las salas de radiactivas.

En la industria química sirve de materia prima para la obtención de diferentes sales, para curtidos (depilación de cueros), para la industria Azucarera, la fabricación de papel de fotografía, esmaltes de cerámicas, producción de vidrios especiales de elevado índice de refracción.

En la medicina, el sulfato de bario es la píldora que se ingiere previamente a la observación de nuestro aparato digestivo para las radiografías.

En la industria cauchera y papelera, en calidad de relleno o espesador. En la industria de pintura y barnices.

El elevado número atómico del Bario permite la utilización de la barita como absorbente de radiaciones, se lo usa como componente principal del enlucido de las paredes de los laboratorios

de rayos X, para proteger al personal contra los efectos nocivos de dichos rayos y en la construcción de refugios nucleares.

La principal demanda de la barita en Colombia se encuentra en la industria del petróleo como agente densificante de lodos de perforación; en las perforaciones profundas de pozos para la exploración de depósitos minerales y en perforaciones para toma de muestras de rocas para ensayos geotécnicos, combinado fundamentalmente con agua y bentonita (arcilla). En otras industrias los productos elaborados a partir de barita son importados. La producción de barita nacional en la década de los años 90 tuvo su valor máximo en 1995 con 21.300 toneladas; para los demás años cifras son menores a 10.000 toneladas.

2.7 Mercado Internacional de barita

Basado en información tomada de USGS (U.S. Geological Survey), los países líderes en producción y exportación de barita son China, India, entre otros. En la tabla 4 se puede observar los mayores exportadores de barita hacia Estados Unidos junto a sus reservas. Fuentes de importación (2013-2016): China, 69%; India, 13%; México, 9%; Marruecos, 7%; y otros, 2%.

Tabla 4.

Producción y reservas del mineral Barita

País	Producción de Barita			Reservas
	2016	2017	2018	
Estados Unidos	240	334	480	N/A
China	2.800	3.200	3.200	36.000
India	1.050	1.560	2.000	51.000
Irán	480	550	550	24.000

Producción de Barita				
País	2016	2017	2018	Reservas
Kazajistán	482	620	620	85.000
México	197	360	400	N/A
Marruecos	669	950	1.000	N/A
Pakistán	107	106	110	30.000
Rusia	434	221	220	12.000
Tailandia	223	148	150	18.000
Turquía	170	200	290	35.000
Otros países	470	418	460	29.000
Mundial (aprox.)	7.320	8.760	9.500	320.000

Nota: Adaptado de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2019

2.8 Precios barita en el continente americano.

El panorama de precios de barita a nivel del continente americano es muy fluctuante, este mineral con calidad de implementación para lodos de perforación tiene un rango de precios desde 103 a 196,5 dólares por tonelada métrica dependiendo el país de comercialización. La tabla 5 especifica el precio por tonelada de barita puesta en Colombia teniendo en cuenta aranceles, impuestos nacionales más \$3 USD promedio por transporte marítimo (Fuente: Precios de transporte en barco – Quiminet.com), sin embargo, a este precio de le deberá agregar el costo de transporte terrestre dentro del territorio colombiano.

Tabla 5.

Distribución de precios a nivel del continente americano.

País	Ciudad	Precio (USD/Ton-métrica)
Perú	Lima	171

País	Ciudad	Precio (USD/Ton-métrica)
México	Manzanillo	164
	San Luis	190
	Veracruz	196,5
	Guadalajara	171
Panamá	Panamá	103
Chile	Valparaíso	119
Guatemala	Guatemala	165
Estados Unidos	Houston	165,5
Colombia	Bogotá	175
	Cesar	173

3. Barita en Colombia

En Colombia existen dos sectores donde se encuentran manifestaciones y minas de barita: el primero en el Departamento de Norte de Santander, Santander y Cesar, y el segundo en los departamentos de Huila y Tolima. Las mineralizaciones de barita se originaron a través de procesos hidrotermales encajados en rocas ígneas y en calizas, formando depósitos de sulfatos lenticulares, venas y filones. En Santander las mineralizaciones se encuentran en forma de venas filones en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, asociada a la fluorita y a minerales de plomo, con respecto a la magnitud de de las mineralizaciones en Santander, se trata de filones de un kilómetro de longitud, sobre diques con espesor entre 0,4 y 1.2 metros y una diferencia de cota de 80 metros. En el Tolima los yacimientos se encuentran asociados a rocas volcano-sedimentarias y las mineralizaciones son rellenos de cavidades por fluidos hidrotermales (filones) de barita, cuarzo y

minerales accesorios. En el Huila, las mineralizaciones son de origen hidrotermal (filones), por relleno de cavidades, asociadas a rocas ígneas y sedimentarias. (UPME, 2012)

Las manifestaciones más conocidas puntualmente de barita en Colombia se encuentran en la mina de Santa Isabel, Municipio de Chiriguaná (Cesar) y prospectos en Río de Oro. En Curumaní y San Alberto (Cesar) se encuentran tres minas y cerca de Ayacucho (Cesar) se encuentran también manifestaciones del mineral (Carvajal, 1987). La barita se encuentra relleno de fracturas y cavidades, y forma venas entrelazadas de pocos centímetros de espesor en la Formación La Quinta (Miller, 1962), compuesta por conglomerados de color rojo en una matriz tobácea rica en biotita, interestratificados con arenitas conglomeráticas blancas, y hacia la parte superior dominan arenitas rojas y cuarzoarenitas. En el Municipio de Belalcázar (Cauca) hay manifestación de barita en bolsones de hasta 50 cm de espesor, interestratificados en rocas calcáreas del período Cretácico, explotados localmente.

En La Guajira aparece una manifestación vetiforme de barita en la Serranía de Cocinas dentro de dacitas y lavas porfíricas del Cretácico; en Gachalá y Ubalá (Cundinamarca) aparece en calizas y lodolitas calcáreas cretácicas, en forma de venillas enrejadas con un patrón irregular de distribución.

En Tarqui (Huila) aparece manifestación de barita en rocas sedimentarias del Cretácico. (Camacho, 2002)

Adicionalmente como información de yacimientos en Colombia tenemos como principales yacimientos a Ataco (Tolima) como lugar con licencia de explotación de minerales especiales, y como yacimientos adicionales los departamentos de Cundinamarca, Santander, Cesar y Cauca, Nariño. (UPME, 2012)

La Barita con interés económico en Santander, es principalmente la barita de depósitos de fisura y relleno de cavidades pertenecientes a calizas de la formación Rosablanca.

En el estudio realizado en el año 2005 enfocados en la investigación de la génesis de la barita en el área localizada al sur de la provincia de Vélez Santander detallan algunos de los afloramientos más importantes y las características que las manifestaciones presentan de esta región.

Según Saavedra (2005), la barita en Santander se encuentra generalmente en forma de venas y filones en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con diferente grado de pureza, cristalinidad y peso específico asociada a fluorita y a minerales de plomo.

Las manifestaciones más conocidas en este departamento están ubicadas en el área de La Paz, Bolívar, Jesús María, Barichara, Los Santos, Charta, Girón, Zapatoca, Guaca y La Aguada. La figura 6 ubica geográficamente las manifestaciones de barita en el mapa del departamento de Santander.



Figura 6. Ubicación geográfica de las manifestaciones de barita en el departamento de Santander.

3.1 Municipio De La Paz

La mineralización se manifiesta en venas de Barita blanca, bien cristalizada a veces ligeramente amarillenta con algo de fluorita y manchas de malaquita, cortando calizas del formación Rosablanca, ligeramente dolomitizadas y alteradas.

3.2 Municipio de Bolívar

Se reporta barita en la mina El Pulpito y Motua, Mina Platanillo y Mina Monteoscura, con similar mineralización de Barita blanca a ligeramente rosada con presencia de calcita y siderita de la Formación Rosablanca con espesores que varían entre 10 - 40cm.

3.3 Municipio de Jesús María

Se reporta la mina de La Belleza (Abandonada) ubicada en el corregimiento de la Belleza. En donde se presentan filones y venas de barita blanca, cuyo espesor es de 80 cm, atravesando calizas margas de la Formación Rosablanca.

3.4 Municipio de Barichara

Mina Las Juntas Sur. Localizada al SW de la confluencia de los ríos Suarez y Chicamocha. Filones de barita con calcita, un poco de galena y manchas de malaquita se presentan en un área de más de ¼ de Km cuadrado. Filones verticales en la Formación Rosablanca.

3.5 Municipio de Los Santos

En este se encuentran las minas Prima I, Prima II (abandonadas) cuya mineralización es de barita blanca asociada con calcita en filones que cortan calizas grises fosilíferas de la parte superior de la Formación Rosablanca; El filón principal tiene una longitud de 25m y un espesor variante de 5-1.90m., asimismo las minas Quebrada Ranchería, Quebrada Pomarroso en donde la mineralización Se presentan bloques de barita blanca; además se encuentra el afloramiento La Purnia donde se observan rellenado de venas en forma irregular dentro de areniscas de la formación giron, también la mina Los Montes Un filón de 12cm de espesor de barita blanca, de la Formación Jordan. La longitud de los filones varía de 1-3m y el espesor de 5-12cm, ubicados paralelamente., y las minas en las Quebradas, Montelargo con espesores de 1.70-1.10m llegando hasta 6m en un lugar de ramificación., igualmente Chivatera filón abandonado tiene un espesor de 70 cm. La mineralización de estas últimas consta de Barita blanca brechada y cementada por carbonato rojizo, granos de calcopirita.

3.6 Municipio de Charta

Se encuentra la mina Loma La Ovejera. El afloramiento consta de una mineralización de barita blanca y rosada con pequeños cristales de galena, rellenando fracturas y brechas dentro de cuarzomonzonita de grano medio, con xenolitos de esquisto cuarzo-feldespático.

3.7 Municipio de Girón

Se encuentra la mina de Vadohondo (abandonada), donde la mineralización es de barita blanca en filones y venillas, dentro de areniscas rosadas de grano fino, con contenido de feldespatos y moscovita.

3.8 Municipio de Zapatoca

Hay manifestaciones de barita en la Quebrada La Cañada. La mineralización es de barita blanca cristalina en venas que cortan calizas y arcillas pizarrosas grises de la Formación Rosablanca. La barita alcanza un espesor de 50cm y una longitud de aproximadamente 10m. y en Las Juntas norte. Aflora un filón de barita de tonalidad blanca de 45cm de espesor y 2m de longitud, este se encuentra cortando areniscas y shales de Formación Tambor.

3.9 Municipio La Guaca

En este se encuentra la Mina el Portillo. Donde la barita se encuentra en filones y lentes irregulares con un espesor de hasta 80 cm, la roca encajante es caliza y dolomita de la Formación Diamante.

3.10 Municipio de La Aguada

La mina se ubica en la Vereda San Martín la cual se encuentra abandonada. En esta la mineralización es de barita blanca con calcita y en menor proporción fluorita en filones, la roca encajante es caliza.

Estudios previos realizados en el año 1994 por el geólogo Modesto Portilla la distribución de los depósitos de barita en Colombia se distribuían como se detallan en las siguientes listas por departamentos, con información precisa de municipios y estados de las minas.

Tabla 6.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento Norte de Santander.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
NORTE DE SANTANDER				
Abrego	Las Monas			Quebrada Latal Finca Limoncito
	Palmira		El Cerote	
	La Sierra			
Hacarí	El paraíso		Castrillón	Los Conucos
	Astillero		Valentín	
			San José del Tarra	
El Carmen	El Cuaré			Quebrada Astillero
Villacaro	El Roble			Rio Tarra
Cáchira				Monte Negro
San Calixto				Quebrada -Urama La Puerta

Tabla 7.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Cesar.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
CESAR				
Chiriguana		Santa Isabel		
San Alberto	Rosa			
	Blanca			

Tabla 8.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento de Santander.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
SANTANDER				
La Paz - Bolívar	Monte			
	Oscuro			
	La belleza			
	San Martín			
	Amarillo			
	El Pulpito y			
	Motua			
	Platanillo			
	Los			
	Sanabrios			
	La Aguada			
	El tigre			
Barichara, Los santos		Prima 1		La Purnia
		Prima 2		Confluenciaríos
		Quebrada		Chicamocha y Suarez
		Ranchería		
		Quebrada		
		Pomarroso		
	Las juntas- Sur.			
Guaca		El Portillo		Baraya
Charta		Loma de Ovejeras		
Girón		Vadohondo		
Zapatoca				Quebrada La Canada
				Las Juntas
				Norte

Tabla 9.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Cauca.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
CAUCA				
				La Paila
				El Rodeo
Rio Negro	La Florida			El Bordo
				El Guabo
				La Meseta
				Rio Negro

Tabla 10.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Tolima.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
TOLIMA				
		Posedonia Alta		El Totumal
Ataco	La Palestina	La Granada		La Providencia
				Mendarco
		Meches		
		Agua Fría		
		Balsillas		
		Santa Rita		
		El Jaguo		
Coyaima	La Coya	Nilarco		Chiparco
		Quilocas		
		Buenos Aires		
		Las Yucas		
		El Salado		
		Motual		
		Anape		

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
		Chaquirco		
Natagaima		Copesal		
Chaparral		Los Cacaos		
Rovira Valle de San Juan	Los Colorados	Los Delirios		Alto Bonito La Secreta
Planadas			Rio Claro	

Tabla 11.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento de Cundinamarca.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	Manifestación
CUNDINAMARCA				
Ubalá	Quebrada el Diviso			
Gachalá	Gachalá			

Tabla 12.

Distribución de los depósitos de barita en el departamento del Huila.

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	manifestación
HUILA				
	La Hondura	La Pringamosa	Salamina	
	Volcán colorado	La Esperanza	La Hoyada	
Nataga	El Alto	Gallinazo		
	Túnel antiguo			
Tesalia	Palo Desnudo	La Cumbre		
		El Burro		
El Pital	El Runcho	El Cauchal		
		El Socorro		
		La Venta		

Municipio	Activas	Abandonadas	Prospecto	manifestación
Paicol				
Palermo				Los Guacimos
Iquiara				Planadas
				Betania
Argentina				Ricabrisa
				Plata Vieja

La información de las minas de barita en las tablas 6 - 12 se presenta en el mapa de la figura 7, siendo el detallado de la distribución por departamentos para el año 1994 en el territorio colombiano.



Figura 7. Distribución de yacimientos de barita a nivel nacional.

La investigación se concentró en el municipio de La Paz - Bolívar en el departamento de Santander donde se desarrolló el estudio geológico para la comercialización del mineral barita de

la región anticlinal de La Paz. Específicamente de las minas Los Sanabrios, La Aguada, El Tigre, El Amarillo, San Martín. De las cuales obtuvieron una muestra de mineral de cada una enumeradas de 1 a 5 respectivamente. Cuyos resultados en el análisis de barita del yacimiento para la implementación en lodos de perforación fueron favorables, evidenciando que cumple con los requerimientos físicos y químicos pautados por la norma API SPEC 13A. La siguiente tabla detalla los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para todas las muestras.

Tabla 13.

Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.

Propiedad	Densidad	Ppm Calcio	Partículas >75 Micras	Partículas <6 Micras	Material Radiactivo
Muestra #1	4.21	0.0	0.17%	26.56%	no hay
Muestra #2	4.21	0.0	0.39%	22.08%	no hay
Muestra #3	4.27	0.0	0.74%	19.14%	no hay
Muestra #4	4.23	0.0	1.25%	6.77%	no hay
Muestra #5	4.26	0.0	1.29%	18.22%	no hay

3.11 Usos de la barita en Colombia

La principal demanda de la barita en Colombia se encuentra en la industria del petróleo como agente densificante de lodos de perforación; en las perforaciones profundas de pozos para la exploración de depósitos minerales y en perforaciones para toma de muestras de rocas para ensayos geotécnicos, combinado fundamentalmente con agua y bentonita (arcilla). en otras industrias los productos elaborados a partir de barita son importados. La producción de barita nacional en la década de los años 90 tuvo su valor máximo en 1995 con 21.300 toneladas; para los demás años cifras son menores a 10.000 toneladas.

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) publicó un estudio efectuado en el año 2016 el cual busca realizar una caracterización del mercado interno de minerales de uso industrial que permitiera identificar los encadenamientos productivos, comerciales y las características de uso de estos en el cual se despliega la siguiente información:

3.12 Identificación de la demanda actual de la Barita, Consumidores y Usos.

Según la UPME para el año del 2016 por medio de realización de encuestas se obtuvo información que afirma que los sectores industriales que consumen barita ya sea como materia prima ó secundaria son:

- Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores;
- Fabricación de productos de la refinación del petróleo
- Fabricación de sustancias y productos químicos básicos
- Fabricación de otros productos químicos n.c.p.
- Fabricación de vidrio y productos de vidrio
- Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana
- Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.
- Fabricación de equipo de irradiación y equipo electrónico de uso médico y terapéutico

3.13 Localización de centros de consumo de barita

El estudio de la UPME encontró 341 empresas que estaban operando para el año de estudio y las cuales utilizaban la barita como materia prima principal o secundaria, los principales demandantes se encontraron distribuidos en los siete departamentos de estudio de la siguiente forma:

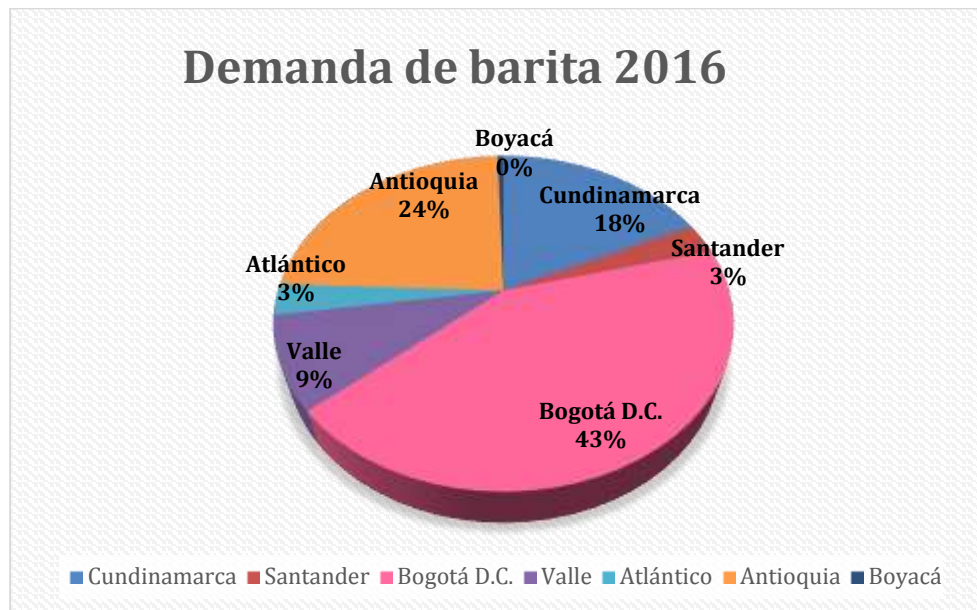


Figura 8. Demanda de barita 2016. Adaptado de Caracterización del mercado interno de minerales de uso industrial. UPME, 2016

Como se observa en el gráfico anterior la demanda está mayormente concentrada en Bogotá, con un 43% seguido por los departamentos de Antioquia 24%, Cundinamarca 18%, Valle 9%, Santander y Atlántico 3% y Boyacá 0,5%.

Según el diario La opinión Hacerí una mina de barita en Norte de Santander ha sido cerrada hacia el 2016 los dueños afirman que “al parecer, la barita está siendo importada de China y ya no es negocio.”. En junio del 2018 Colombia recibió un cargamento de 77.100 toneladas de barita; fue importada de la India el cual ha sido el cargamento más pesado recibido en el país lo que evidencia el desplazamiento de la explotación de barita por la barita importada de otros países.

3.14 Títulos mineros otorgados por la ANM para el mineral barita.

La Agencia Nacional de minería, dispone públicamente por medio del catastro minero información de los títulos mineros otorgados con el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo de acuerdo con el Código de Minas, para el mineral barita entre otros datos se destacan nombre de titular quien es la persona natural o jurídica que solicita el título, la modalidad de contrato. Entre los títulos de barita se encuentran la modalidad del contrato de concesión el cual indica un contrato administrativo celebrado entre el Estado (Ministerio de Minas y Energía, como representante de la Nación) y un particular (persona natural o jurídica) para efectuar, por cuenta y riesgo de éste, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en la legislación vigente al momento de su celebración. Comprende dentro de su objeto las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales y cierre o abandono de los trabajos y obras correspondientes. (Ministerio de minas y energía, 2015). Modalidad de Licencia de explotación es el derecho que tiene el titular de la licencia de exploración que ha sido clasificado en forma definitiva como de pequeña minería para convertir su título en licencia de explotación.

En la tabla 14 se recopila la información de los títulos mineros otorgados por la Agencia Nacional de Minería en el territorio colombiano, donde la modalidad “LE” hace referencia a licencia de explotación y “CC” contrato de concesión.

Tabla 14.

Títulos mineros otorgados por la ANM en territorio colombiano.

N°	Fecha	Titular	Modalidad	Ubicación
1	13-ago-97	Cementos Argos S. A	LE	Abrego-Norte Santander
2	25-jul-94	William Barrera Diaz	LE	Aipe-Huila
3	02-dic-05	Víctor Julio Ariza Loaiza	LE	Ataco-Tolima; Aipe-Huila
4	06-sep-02	William Orlando Mora Rojas	LE	Tesalia -Huila
5	17-ago-90	Exploración y Explotación De Minerales Colombianos Ltda.	LE	Nátaga -Huila
6	03-may-90	Minera Acosta Ortiz Ingenieros Asociados	LE	Ataco-Tolima
7	22-jul-97	Minerales Industriales De Norte De Santander	LE	Villa Caro-Norte Santander
8	02-sep-09	Álvaro Rosales Beltrán	CC L685	Chimichagua - Cesar
9	04-jun-08	María Patricia Vega Daza	CC L685	Valledupar - Cesar
10	09-oct-07	Luis Alfonso Bernier Cera	CC L685	Chimichagua - Cesar
11	24-may-05	Sociedad Minera Las Jotas Ltda.	CC L685	Coyaima - Tolima
12	10-abr-07	Amin Carlier Rojas Mineral Ltda. Amcaro Mineral Ltda.	CC L685	Hacarí-Norte Santander
13	30-ago-07	Yecid Andrés Yanet Sánchez	CC L685	Abrego-Norte Santander
14	11-jul-07	Sebastián Jafet Ardila Hurtado	CC L685	El Copey, Valledupar - Cesar
15	20-sep-06	María Cristina Almanza Palacios	CC L685	Ubalá- Cundinamarca
16	04-abr-07	Floriberto González González	CC L685	Valle De San Juan - Tolima
17	05-oct-07	Flaminio Cárcamo Núñez	CC L685	Chimichagua - Cesar

N°	Fecha	Titular	Modalidad	Ubicación
18	05-oct-07	Minerals Discovery Ltda.	CC L685	La Paz- Santander
19	20-mar-07	Jaime Barreto Bermejo	CC L685	Coyaima - Tolima
20	09-may-07	Optimus Minerals And Metals S.A.S	CC L685	Curumaní, Chimichagua-Cesar
21	31-dic-09	Ricardo Arturo Hernández García	CC L685	San Martin - Cesar
22	09-jul-07	Gestión Minera Ltda.	CC L685	Curumaní, Chimichagua-Cesar
23	14-nov-12	N/A	CC L685	Uribia-Guajira
24	08-nov-06	G.I. Georecursos S.A	CC L685	Natagaima -Huila
25	09-abr-03	Luis Gerardo Melo Santamaria	CC L685	Aguada, El Guacamayo-Santander
26	09-mar-07	Libardo Amado Quiroga	CC L685	Aguada-Santander
27	26-sep-06	Carmen Hailey Sánchez Mesa	CC L685	Hacarí-Norte Santander
28	10-abr-07	Imdico Ltda.	CC L685	Abrego-Norte Santander
29	08-may-07	Gestión Minera Ltda.	CC L685	Curumaní-Cesar
30	24-abr-07	Juan Pablo Curvelo Rodríguez	CC L685	Valledupar - Cesar
31	04-oct-02	Minerals Discovery Ltda.	CC L685	La Paz, Aguada- Santander
32	23-nov-06	Efraím Peña Ariza	CC L685	Sucre - Santander
33	23-ago-05	Ingeminera S.A.S.	CC L685	Los Santos - Santander
34	28-jul-05	Miguel Arias Rivera	CC L685	Chimichagua, Curumaní - Cesar
35	02-nov-06	Minerales Y Metales Del Sol Tres S.A.S.	CC L685	Curumaní - Cesar
36	08-may-07	Gestión Minera Ltda.	CC L685	Curumaní - Cesar
37	03-dic-09	Hugo López Saavedra	CC L685	Ataco - Tolima
38	11-abr-07	Luis Gerardo Holguín Guecha	CC L685	Hacarí-Norte Santander

N°	Fecha	Titular			Modalidad	Ubicación
39	09-jul-07	Julia Hernández	Elvira	Posada	CC L685	Valledupar - Cesar
40	07-feb-06	Sebastián Hurtado	Jafet	Ardila	CC L2655	Valledupar - Cesar
41	17-may-06	Julia Hernández	Elvira	Posada	CC L2655	Valledupar - Cesar
42	08-jun-06	Copper Rock Minerals and Metals S.A.S.			CC L2655	El Copey, Valledupar - Cesar
43	23-jun-06	Luis Daniel Ochoa Berbesi			CC L2655	Villa Caro-Norte Santander

4. Pruebas de laboratorio para verificar el cumplimiento de los requerimientos físicos y químicos de las minas seleccionadas

Para el análisis del laboratorio, se recopilaron un total de 7 muestras de barita las cuales están compuestas por cuatro muestras en rajón obtenidas de diferentes minas colombianas, una muestra adquirida de la planta de procesamiento de barita colombiana ubicada en el municipio de Ciénaga, Magdalena y por último, dos muestra de barita comercial usada generalmente en la industria del petróleo. A cada una de estas, se le realizó dos pruebas fundamentales para validar las propiedades físicas y químicas necesarias para la implementación en lodos de perforación las cuales son: determinación de la densidad y la presencia de metales alcalinotérreos tales como calcio y magnesio, sin embargo, existen dos estudios adicionales enfocados a determinar la calidad de la trituración y pulverización en plantas de procesamiento, las cuales se le realizó a la muestra que

se adquirió pulverizada y a la barita de origen comercial. La tabla 15 detalla la procedencia, estado en el que se adquirió e identificación que se le designó a cada una de las muestras.

Tabla 15.

Información de las muestras adquiridas para el análisis de laboratorio.

Procedencia de la muestra	Estado en el que se adquirió	Identificación
Los santos, Santander	Barita en rajón	Muestra N°1
Caracolí, Cesar	Barita en rajón	Muestra N°2
Caracolí, Cesar	Barita triturada	Muestra N°3
Guajira, planta de tratamiento de barita en Ciénaga, Magdalena	Barita molida, lista para lodos	Muestra N°4
Gachalá, Cundinamarca	Barita en rajón	Muestra N°5
Empresa comercial, importada	Barita molida, lista para lodos	Muestra Comercial N°1
Empresa comercial, importada	Barita molida, lista para lodos	Muestra Comercial N°2

Con la finalidad de caracterizar las muestras, se llevó a cabo el análisis cualitativo y cuantitativo de los minerales presentes en la roca por medio de difracción de Rayos X; en la cual, se ratificó la presencia y el porcentaje en que se encuentra el sulfato de bario (BaSO₄) y otros compuestos presentes en las muestras como se observa en la tabla 16.

Tabla 16.

Cualificación y cuantificación de los minerales presentes en las muestras.

	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Muestra N°4	Muestra N°5	Muestra Comercial N°1
Barita	100 %	94,9 %	84,7 %	81,8 %	47,1 %	72,6 %
Cuarzo	N. P.	1,8 %	5,3 %	8,5 %	N.P.	12,1 %
Calcita	N. P.	2,4 %	3,7 %	2,0 %	< 1,0 %	N. P.

	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Muestra N°4	Muestra N°5	Muestra Comercial N°1
Fluorita	N. P.	< 1,0 %	6,3 %	N. P.	N.P.	N. P.
Dolomita	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	52,1 %	N. P.
Albita	N. P.	N. P.	N. P.	4,4 %	N. P.	5,6 %
Microclina	N. P.	N. P.	N. P.	2,8 %	N. P.	6,5 %
Calcita Magnesiana	N. P.	N. P.	N. P.	N. C.	N. P.	N. P.
Pirita	N. P.	N. P.	N. P.	< 1,0 %	N. P.	1,0 %
Norsethita “Carbonato de bario y magnecio”	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	1,1 %
Kutnohorita Magnesiana	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	N. C.
Moscovita	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	N. P.	<1,0%

Donde,

N. P. = No está presente.

N. C. = No pudo ser cuantificado.

A continuación, se despliega el desarrollo de las pruebas de laboratorio para verificar el cumplimiento de los requerimientos físicos y químicos de las muestras seleccionadas.

4.1 Determinación de la densidad

Para la determinación de la confiabilidad y validación de las mediciones obtenidas en el laboratorio, se efectuaron 8 repeticiones para la prueba de densidad a la Muestra Comercial

N°1(importada). La validación se llevó a cabo por medio de la serie de parámetros estadísticos-matemáticos definidos por Shirakov V. P. en Análisis Experimentales, 1985. Obteniendo como resultado que se deben realizar 4 repeticiones de la prueba por muestra para ratificar que los resultados alcanzados tengan por lo menos un 95% de confiabilidad y un error relativo permisible de 0.5% en la variabilidad de los datos. (Ver Apéndice A).

El análisis de densidad en las muestras de barita se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma API 13A “Specification for Drilling-Fluid Materials” (ver apéndice B). La prueba se efectuó por medio del matraz de Lechatelier adicionando aproximadamente un volumen inicial de 200 ml de Diesel, el cual se desplaza a un volumen final luego de agregar 80 ± 0.5 g de barita seca, con temperatura constante de 32 grado Celsius. Sabiendo que la densidad es la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, para este caso, es la cantidad de Diesel desplazado por la barita agregada al matraz. La figura 9 muestra la lectura del volumen final del Diesel en el matraz de Lechatelier para la Muestra N°2(Cesar), repetición 4.



Figura 9. Matraz de Lechatelier con Diesel para la Muestra N°2(Cesar), repetición 4.

La tabla 17 detalla las densidades obtenidas en cada una de las repeticiones realizadas. Para las Muestras N°3 (Cesar) y N°5 (Cundinamarca) se realizó un total de 3 repeticiones debido a la cantidad de material disponible, los cálculos y las mediciones se copilan en el apéndice C.

Tabla 17.

Densidad calculada para la muestra seleccionadas

	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Muestra N°4	Muestra N°5
Repetición 1	4.39	4.37	4.35	4.29	4.25
Repetición 2	4.35	4.37	4.34	4.27	4.25
Repetición 3	4.33	4.35	4.34	4.28	4.26
Repetición 4	4.36	4.35	----	4.27	----
Promedio	4.35	4.36	4.34	4.27	4.25

4.2 Presencia de metales alcalinotérreos solubles en agua tales como calcio o magnesio.

Los problemas de contaminación causado por iones de calcio, ocurre normalmente en sistemas de lodo de a base de agua dulce, agua de mar y otros sistemas de lodos de baja salinidad y dureza. El calcio puede flocular arcillas coloidales y precipitar polímeros aniónicos grandes que contienen grupos carboxilato, tal como el polímero de acrilato. (Contaminación por calcio, Oilfield Glossary). Además, puede provocar el aumento de algunas propiedades del lodo tales como el pH, punto de gel, pérdida de filtrado, entre otras. Por otra parte el magnesio induce a que el rendimiento del lodo no sea el adecuado ya que con la presencia de este contaminante los productos pueden no solubilizarse provocando que la pérdida de filtrado sea más difícil de reducir este usualmente causa los mismos efectos del calcio en el lodo.

Según la norma API 13 A el procedimiento para análisis de la presencia de calcio y/o magnesio se realiza a través de la titulación del filtrado del lodo, implementando el reactivo Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA) como se adjunta en el apéndice B. En la práctica de laboratorio asistida, este reactivo no se encontró disponible por su toxicidad aguda, razón por la cual, el análisis se llevó a cabo mediante el estudio de espectroscopía de masas para determinar el contenido de Calcio y Magnesio. Se preparó un lodo base añadiendo 100 gramos de barita de la Muestra N°4 (Guajira) a 100 mililitros de agua desionizada, posteriormente se filtró la suspensión en un embudo con papel filtro como lo muestra la figura 10. El filtrado fue recolectado y rotulado para el análisis de espectrometría. Los resultados obtenidos se evidencian en la tabla 18.

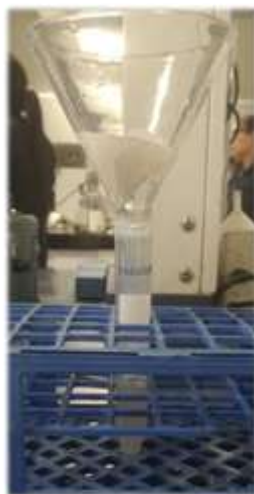


Figura 10. Obtención del filtrado de lodo para la Muestra N°4 (Guajira).

Tabla 18.

Contenido de calcio y magnesio en partes por millón presente en las muestras.

Muestra	Calcio [ppm]	Magnesio [ppm]
Muestra N°1	26,2	2,9
Muestra N°2	31,4	2,6

Muestra	Calcio [ppm]	Magnesio [ppm]
Muestra N°3	29,1	2,5
Muestra N°4	88.5	26,3
Muestra N°5	9,8	3,4
Muestra Comercial N°1	23	6
Muestra Comercial N°2	148	11

4.3 Residuo mayor de 75 micras

En esta prueba se calculó el porcentaje de partícula mayores a 75 micras para la muestra N°4 (Guajira), la cual fue obtenida luego de la trituración y molienda, por lo que se tiene con esta una referencia del tamaño de partícula obtenido después del proceso realizado en una planta de tratamiento de barita colombiana. Después de ser homogenizada la muestra, una cuarta parte se implementó para el procedimiento descrito en la API 13 A (procedimiento y cálculos ver apéndice B, C); se mezcló la barita y el dispersante Hexametáfosfato en agua desionizada, luego se dispuso a través del tamiz standard malla 200 y las partículas que no atravesaron el tamiz fueron recolectadas por medio de un rociador y secadas en el horno para calcular su masa total. En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos para la muestra N°4 (Guajira) de origen nacional y para la comercial.

Tabla 19.

Porcentaje en peso del residuo mayor a 75 micras para la muestra N°4, Muestra Comercial N°1 y N°2.

Muestra	Porcentaje en peso del residuo mayor a 75 micras.
Muestra N°4	2,70 %
Muestra Comercial N°1	1,19 %

Muestra	Porcentaje en peso del residuo mayor a 75 micras.
Muestra Comercial N°2	1,98 %

4.4 Partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente.

La prueba para determinar el porcentaje de partículas con diámetro esférico equivalente menor a 6 micras se realizó a la Muestra N°4 (Guajira) debido a el estado en el que esta se adquirió (pulverizada por la planta de tratamiento) y a la Muestra Comercial N°2 (importada) con la finalidad de realizar una comparación ecuánime. Se preparó un litro de solución dispersante compuesta por Hexametaphosphato de sodio y Carbonato de Sodio para posteriormente ser incorporada a la mezcla de cada una, como lo indica en el procedimiento estipulado por la API (ver apéndice B para procedimiento y cálculos de la prueba). Para cada una de la mezclas se tomaron las mediciones con hidrómetro a los tiempos 0.0, 10, 20, 30 y 40 minutos. La tabla 20 representa el porcentaje de partículas obtenidas en cada una de las muestras.

Tabla 20.

Porcentaje en peso de las partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente.

Muestra	% en peso de partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente
Muestra N°4	21,54 %
Muestra Comercial N°2	29,90%

5. Análisis financiero elemental de costos de producción y precios de barita

Al momento de evaluar las propiedades fisicoquímicas de la barita puede dar como resultado condiciones favorables para su aprovechamiento, sin embargo, la factibilidad de un proyecto está sujeta a la viabilidad económica. Por lo tanto, a continuación se presenta el análisis económico para la implementación de barita de minas colombianas en la formulación de lodos de perforación. En los lodos de perforación los densificantes representan un porcentaje significativo en los costos de su composición, siendo así, se realizó el análisis de ingresos y egresos para la producción de barita como agente densificante.

5.1 Método del valor presente neto

El análisis financiero se efectuó mediante el método del Valor Presente Neto (VPN) o también conocido como el valor actualizado neto, el cual es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado flujo de caja futuro originado por una inversión, es decir podemos ver si los ingresos son mayores a los egresos a un determinado tiempo a pesos de hoy evidenciando si el proyecto generará ganancias o por lo contrario presentará pérdidas.

Para la evaluación del proyecto se tuvieron en cuenta tres escenarios los cuales se diferencian por la calidad y estado (molido o en rajón) del material adquirido, es decir si el material ya cuenta con las condiciones mínimas en cuanto a densidad, tamaño de grano y composición para el uso en el ámbito petrolero en conformidad con las normas API. El primer escenario consta de la obtención del mineral con un peso mínimo de 3.8 gr/cm^3 en el cual se es necesario la implementación del

proceso de flotación o concentración para obtener la densidad mínima de requerida por medio de la remoción de impurezas, el segundo se basa en recibir un material optimo con densidad mayor o igual a 4.2 gr/cm³ el cual solo requiere el proceso de trituración y molienda para posteriormente ser empacado. Por otra parte, se encuentra el tercer escenario el cual consta de la compra del mineral molido con densidad que oscila entre 3.8 – 4.19 gr/cm³ que entrará directamente a la concentración por flotación para mejorar su calidad.

5.1.1 Escenario N°1: producción de barita a partir de mineral con densidad entre 3.8 – 4.19 gr/cm³. El proceso de flotación o concentración permite aprovechar aquellos materiales que por calidad se descartan debido a que presentan características físicas que se consideran inadecuadas, a continuación se detalla la evaluación económica estimada para este escenario.

Para la análisis financiero se estimó un precio de compra de barita en rajón de 75 USD/TON, un costo de tratamiento de 23.15 USD/TON detallado en la tabla 21 y un precio de venta para la barita procesada de 170 USD/TON.

Tabla 21.

Costo de tratamiento de barita por tonelada.

Proceso	Costo USD/TON
Trituración y molienda	9,74
Concentración y flotación	5,94
Empacado	7,47
Costo total de tratamiento	23,15

Modificado de: Armendáriz, M., Diagnóstico para el desarrollo de una estrategia de incremento en la producción de 300 a 500 tpd en la Unidad Minera La Huiche de la compañía Baramin, S.A. de C.V., Mexico, 2016.

La inversión inicial está compuesta por la adquisición de la maquinaria, terreno y equipos para el tratamiento del mineral más el capital de trabajo. Los costos de los equipos están basados en el diseño seleccionado para la planta de barita que posee una capacidad de procesamiento entre 16 a 110 toneladas de mineral bruto al día, siendo este arreglo versátil para el manejo de diferentes caudales de procesamiento ajustándose a la fluctuación del mercado.

La tabla 22 especifica el nombre, la cantidad y el precio estimado por equipo requerido para el procesamiento del mineral. Se estimó una inversión de USD\$416.750,43 para la planta y maquinaria seleccionada, además de sus precios se debe tener en cuenta un arancel del 10% y el IVA corresponde al 19% sobre la suma del valor sumado al arancel para un total de 29% por impuestos de entrada de la mercancía al país, ya que la maquinaria cotizada es suministrada por la empresa Henan Vipeak Smart Mining Machinery Co., Ltd ubicada en Zhengzhou, China.

Tabla 22.

Costos de equipos y maquinaria Escenario N°1.

Equipo	Cantidad	Precio unitario USD
Molino de principal	1	48.710
Filtro de polvos a pulso	1	
Trituradora de mandíbula	1	5.030
Elevador	1	4.850
Tolva	1	N/A
Separador magnético	1	900
Alimentador	1	1.330
Gabinete de control eléctrico para toda la planta	1	5.030

Equipo	Cantidad	Precio unitario USD
Celdas de flotación	1	20.000
Filtro de discos	1	31.818
Secador rotativo	1	139.999
Cargador frontal de ruedas 1.8 TON	1	35.000
Planta eléctrica	1	10.000
Flete de transporte a Buenaventura	---	36.360
Arancel + IVA (29%)	---	74.723,4
Flete transporte Nacional	---	3.000
Total	13	416.750,4

Entre los costos variables se encuentra la compra y tratamiento de la barita en rajón (mineral en boca de mina), teniendo en cuenta el proceso de flotación y/o concentración de barita, para la producción de 40 toneladas diarias para la venta. Se debe procesar cerca de 60 toneladas diarias de materia prima con precio unitario por tonelada de USD\$60 más USD\$15 extra por transporte de la misma de acuerdo con el proveedor consultado Minerales del Caribe S.A. cuya ubicación se encuentra en el departamento del Magdalena, por lo tanto, el precio total por unidad es \$75 USD/TON. Lo que implica que la inversión total diaria por compra y transporte del mineral será de USD\$4.500. Se estimó un costo de tratamiento por tonelada del mineral de USD\$23,15. Resultando como un costo de USD\$1.389 totales diarios. Todo esto contemplado a que la planta operará 246 días laborales al año.

Si bien, los gastos principales del proyecto están asociados a la inversión inicial en adquisición de maquinaria, equipos y la compra del mineral a tratar, existen otros factores que se deben tener en cuenta al momento de realizar el estudio económico del proyecto, entre estos factores se encuentran los impuestos, depreciación del dinero, tasa de descuento, entre otros.

La normatividad colombiana estipula un 19% de impuestos sobre el valor agregado (IVA) a los productos comercializados, es así, que se calcula un pago aproximado de USD\$18.05 por tonelada de barita distribuida. Por otra parte, para el año 2018 la depreciación del peso colombiano frente al dólar fue de 8.91% anual (Revista Dinero, 2019) y se concertó una tasa de descuento de 12% anual. La tabla 23 presenta los indicadores financieros para el estudio.

Tabla 23.

Indicadores financieros para el proyecto.

Indicadores Financieros	
Precio de venta de Barita USD/Ton	170
Impuestos (IVA)	19%
Tasa de descuento	12%
Depreciación del dinero anual	8.91%

Para calcular las ganancias obtenidas bajo este escenario, la tabla 24 describe de manera detallada los factores que intervienen en el análisis financiero y así poder calcular el valor presente neto como soporte de la viabilidad de la inversión en esta opción.

Tabla 24.

Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°1.

Factores de producción Escenario N°1	Tiempo	
	Diario	Anual
Producción [TON]	40	9.840
Precio de venta [USD/ton]	170	170
INGRESOS TOTALES [USD]	6.800	1'672.800
Costos variables		

	Tiempo	
Suministro de barita [TON]	60	14.760
Total costo suministro [USD]	4.500	1'107.000
Tratamiento [USD]	1.389	341.694
Impuestos [USD]	722	177.612
TOTAL COSTOS VARIABLES [USD]	6.611	1'626.306
INVERSION TOTAL [USD]	---	416.750,4
Depreciación	---	37.132,5
EBIT (Utilidad antes de impuestos e intereses)	911	223.106
UTILIDAD NETA (EBIT - IMPUESTOS) [USD]	189	46.494

El flujo de caja anual se presenta a continuación basados datos suministrados en la tabla 25.

Tabla 25.

Flujo de caja anual Escenario N°1.

FLUJO DE CAJA	USD Año 1	USD Año 2	USD Año 6
EBIT	\$223.106	\$446.212	\$1'338.636
Depreciaciones	\$37.132,5	\$74.265	\$222.795
Ebitda (EBIT + depreciaciones)	\$260.238,5	\$520.477	\$1'561.431
Impuestos	-\$177.612	-\$355.224	-\$1'065.672
Inversión inicial	-\$416.750,4	---	---
Flujo de caja libre del proyecto	\$82.626,5	\$165.253	\$495.759
Flujo de caja acumulado	-\$334.123,9	-\$251.497,4	\$79.008,6

5.1.2 Escenario N°2: producción de barita con densidad mayor o igual a 4.2 gr/cm³ A diferencia del escenario anterior donde se procesa mineral que no cumple con las condiciones mínimas para la aplicación en la industria del petróleo, existe la posibilidad de adquirir barita con

una densidad igual o superior a 4.2 que para llevarla a punto bastaría con pasarla por el proceso de trituración y molienda para su posterior empaque.

Como bien se ha dicho que el mineral con estas condiciones solo se debe triturar y moler, la inversión inicial para este escenario consta de la obtención de la planta de trituración, maquinaria y equipo para el cargue/descargue de material más el capital de trabajo que se debe invertir. Al igual que el Escenario N°1, la planta tendrá una capacidad de procesamiento entre 16 a 110 toneladas de mineral bruto al día y funcionará a un caudal de producción de 40 TON/día. La tabla 26 describe el nombre, la cantidad y el precio estimado por equipo requerido para el trituración y molienda del mineral.

Tabla 26.

Costos de equipos y maquinaria Escenario N°2.

Equipo	Cantidad	Precio unitario USD
Molino de principal	1	48.710
Filtro de polvos a pulso	1	
Trituradora de mandíbula	1	5.030
Elevador	1	4.850
Tolva	1	N/A
Separador magnético	1	900
Alimentador	1	1.330
Gabinete de control eléctrico para toda la planta	1	5.030
Flete de transporte a Buenaventura	---	6.360
Cargador frontal de ruedas 1.8 TON	1	35.000
Planta eléctrica	1	10.000
Arancel + IVA (29%)	---	19.096,5

Equipo	Cantidad	Precio unitario USD
Flete transporte Nacional	---	3.000
Total [USD]	10	\$139.306,5

El precio de compra por tonelada para barita con peso igual a superior a 4.2 g/cm^3 es de USD\$95 más USD\$15 por flete de transporte de acuerdo con el proveedor Minerales del Caribe Ltda, en total el precio por tonelada de mineral para tratar es de USD\$110. Esto implica que la inversión diaria para la producción de 40 toneladas por día de material procesado será de USD\$4.400.

Por otro lado, el costo por triturar y moler es de USD\$9,74 por tonelada, lo que infiere un costo operacional diario de USD\$389.6. El precio de venta por tonelada se mantiene en USD\$170 y la planta funcionará 246 días al año.

En la tabla 27 se especifican los factores de producción para el Escenario N°2, los cuales serán de utilidad para el cálculo del valor presente neto de la inversión total.

Tabla 27.

Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°2.

Factores de producción Escenario N°2	Tiempo	
	Diario	Anual
Producción [TON]	40	9.840
Precio de venta [USD/ton]	170	170
INGRESOS TOTALES [USD]	6.800	1'672.800
Costos variables		
Suministro de barita [TON]	40	9.840
Total costo suministro [USD]	4.400	1'082.400

Tratamiento [USD]	389,6	95.841,6
Impuestos [USD]	456	112.176
TOTAL COSTOS VARIABLES [USD]	5.245,6	1'290.417,6
INVERSION TOTAL [USD]	---	139.306,5
Depreciación	---	12.412,2
EBIT (Utilidad antes de impuestos e intereses)	2.001,4	492.344,4
UTILIDAD NETA (EBIT - IMPUESTOS)	1.554,4	382.382,4

Tabla 28.

Flujo de caja anual Escenario N°2.

FLUJO DE CAJA ESCENARIO N°2	USD AÑO 1
EBIT	\$492.344,4
DEPRECIACIONES	\$12.412,2
EBITDA (EBIT + DEPRECIACIONES)	\$504.756,6
IMPUESTOS	-\$112.176
INVERSION INICIAL	-\$139.306,5
FLUJO DE CAJA LIBRE DEL PROYECTO	\$392.580,6
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	\$253.274,1

5.1.3 Escenario N°3: producción de barita a partir de la compra de mineral molido con densidad menor a 4.2 gr/cm³ Luego de plantear los escenarios anteriores, una combinación de estos proporciona alternativas como la compra de barita molida con baja calidad para mejorar su densidad por medio de la concentración de mineral por flotación. Bajo estas condiciones, la inversión inicial para este escenario se constituye por la adquisición de maquinaria y equipos necesarios para el proceso de mejora de material.

Al igual que el Escenario N°1 (compra de barita en rajón con baja calidad) para producir un total de 40 TON/día de densificante, se debe procesar 60 TON/día de mineral molido con un valor de USD\$ 102 por tonelada. La siguiente tabla detalla el nombre, la cantidad y el precio estimado por equipo requerido para la concentración, secado y empaçado del mineral.

Tabla 29.

Costos de equipos y maquinaria Escenario N°3.

Equipo	Cantidad	Precio unitario USD
Celdas de flotación	1	20.000
Filtro de discos	1	31.818
Secador rotativo	1	139.999
Cargador frontal de ruedas 1.8 TON	1	35.000
Planta eléctrica	1	10.000
Flete de transporte a Buenaventura	---	16.210
Arancel + IVA (29%)	---	55.626,9
Flete transporte Nacional	---	3.000
Total	5	311.653,9

Los costos variables para este escenario se componen de la compra y tratamiento de la barita molida (pulverizada), para ser llevada al proceso de flotación y/o concentración de barita.

Se requiere 60 toneladas diarias de materia prima molida con precio unitario por tonelada de USD\$87 más USD\$15 extra por transporte, el precio total por unidad es \$102 USD/TON. Lo que implica que la inversión total diaria por compra y transporte del mineral será de USD\$6.120. Se estimó un costo de tratamiento por tonelada del mineral de USD\$13,41. Resultando como un costo de USD\$804,6 totales diarios. De igual forma la planta operará 246 días laborales al año.

Tabla 30.

Rentabilidad diaria y anual de la planta Escenario N°3.

	Tiempo	
	Diario	Anual
Factores de producción Escenario N°3		
Producción [TON]	40	9.840
Precio de venta [USD/ton]	170	170
INGRESOS TOTALES [USD]	6.800	1'672.800
Costos variables		
Suministro de barita [TON]	60	14.760
Total costo suministro [USD]	6.120	1'505.520
Tratamiento [USD]	804,6	197.931,6
Impuestos [USD]	516,8	127.132,8
TOTAL COSTOS VARIABLES [USD]	7.441,4	1'830.584,4
INVERSION TOTAL [USD]	---	311.653,9
Depreciación	---	27.768,3
EBIT (Utilidad antes de impuestos e intereses)	-124,6	-30.651,6
UTILIDAD NETA (EBIT - IMPUESTOS) [USD]	-641,4	---

Con los datos suministrados por la tabla 30 donde se aprecia que el valor de los egresos supera a los ingresos del proyecto lo que implica que la tasa de retorno será negativa tornándose inviable la producción de barita por medio de este escenario.

5.2 Valor Presente Neto

Para determinar el VPN del proyecto se utilizó la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t} - I_0$$

Donde:

VPN = Valor presente neto del proyecto, USD\$.

V_t = Flujo de caja libre en cada periodo de tiempo, USD\$.

K = Tasa de descuento.

I_0 = Varlos del desembolso inicial de la inversión, USD\$.

Evaluando el valor presente neto a un periodo de 9 años para cada uno de los escenarios será:

Escenario N°1: producción de barita a partir de mineral con densidad entre 3.8 – 4.19 gr/cm³.

$$VPN = \sum_{t=1}^9 \frac{82.626,5}{(1+0.12)^t} - 416.750,4 = \text{USD\$ } 23.504,23$$

Escenario N°2: producción de barita con densidad mayor o igual a 4.2

$$VPN = \sum_{t=1}^9 \frac{392.580,6}{(1+0.12)^t} - 139.306,5 = \text{USD\$ } 1'952.461$$

5.3 Indicadores Financieros

A partir de los resultados obtenidos en el método del valor presente neto se puede estimar la viabilidad del proyecto por medio de los principales indicadores financieros, aplicados a los tres escenarios planteados. La tabla 31 resume los indicadores financieros para cada uno de los proyectos de producción de barita para fluidos de perforación.

Tabla 31.

Indicadores financieros para los escenarios del proyecto.

INDICADORES FINANCIEROS	ESCENARIO	ESCENARIO	ESCENARIO
	N°1	N°2	N°3
Tasa de descuento	12%	12%	12%
Valor Presente Neto, USD\$	23.504,23	1'952.461	----
Tasa interna de retorno, TIR	13,47%	281,81%	----
Valor de la inversión inicial, USD\$	416.750,4	139.306,5	311.653,9
Ingresos anuales, USD\$	82.626,5	392.580,6	0
Periodo de Recuperación de la Inversión (años)	5,04	0,35	----

La Tasa Interna de Retorno TIR se utiliza como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; es uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. En el Escenario N°1, la TIR es 13,47 %, al ser mayor que la tasa de descuento concertada del 12%; el proyecto para este escenario es rentable. Como se mencionó anteriormente, el análisis se estipuló para los primeros 9 años de funcionamiento, sin embargo, es posible una mayor rentabilidad luego de este periodo.

Para el Escenario N°2 resulta una TIR del 281,81% lo cual nos indica su factibilidad y la generación de muy buenas ganancias. El proyecto bajo este escenario es más rentable, ya que la capacidad de producción será la misma para los dos escenarios mientras que en el Escenario N°1 los costos son más altos y se requiere mayor inversión. A continuación, en la figura 11 se representa la inversión inicial para los tres escenarios.

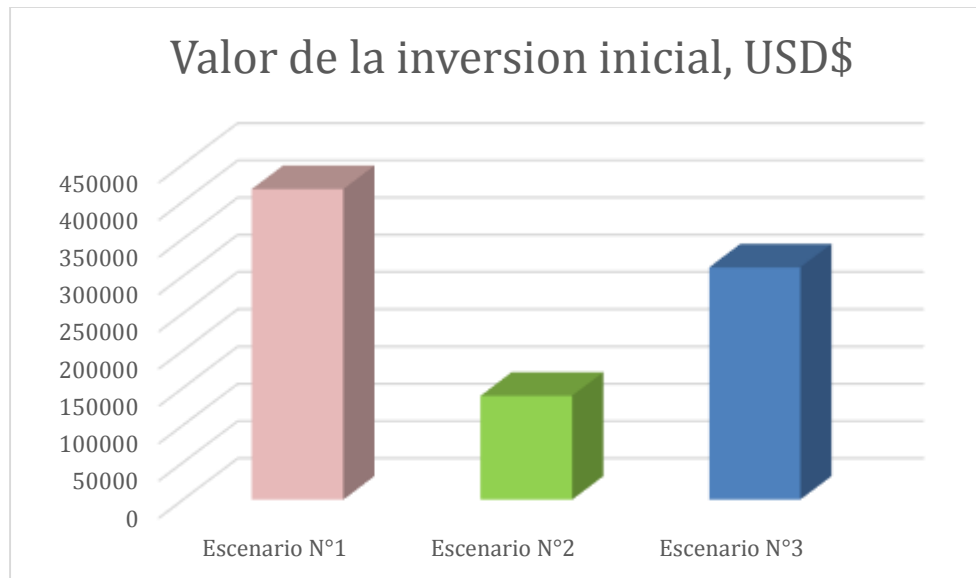


Figura 11. Valor de inversión inicial, USD\$

El periodo de recuperación de la inversión - PRI - es considerado un indicador que mide el tiempo que toma el retorno del capital utilizado para la adquisición de maquinaria y los elementos necesarios para la ejecución del proyecto. Para el Escenario N°1 tenemos un periodo de recuperación de 5,04 años por otro lado el Escenario N°2, fueron 0,35 años, lo que significa 4 meses y 8 días. El escenario N°3 no presenta una recuperación de la inversión inicial ya que no se obtienen ganancias.

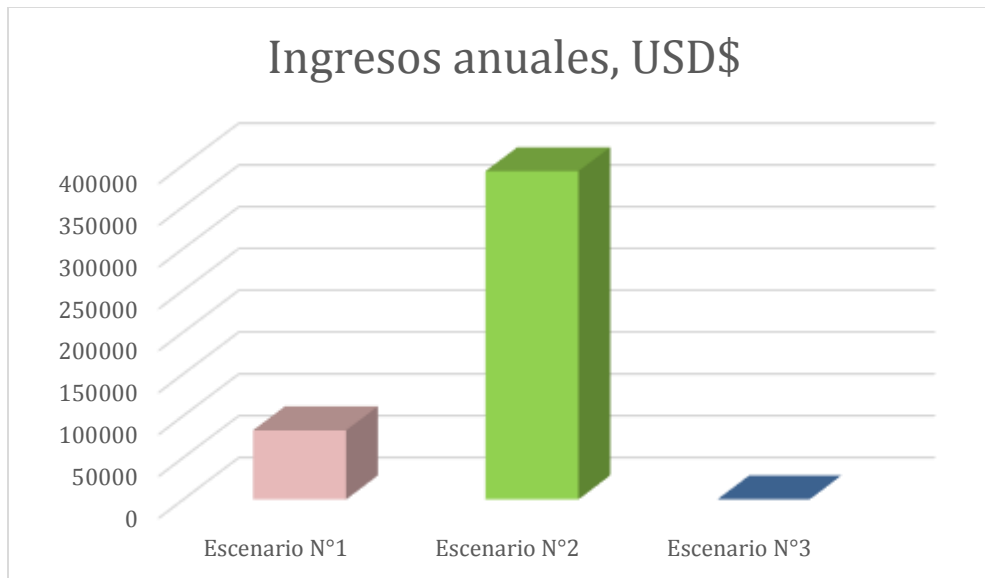


Figura 12. Ingresos anuales, USD\$

5.4 Análisis de matriz DOFA

La matriz DOFA es un método de planificación básico de gran utilidad para la toma de decisiones en organizaciones o negocios en apertura, ya que permite tener los enfoques claros de cuáles son los aspectos positivos y negativos al momento de realizar las planeaciones administrativas, mercadeo o en la etapa de desarrollo de un producto con el fin de proyectar la mejor estrategia comercial.

DOFA proviene del acrónimo para Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. También se conoce como FODA o SWOT según sus siglas en ingles. Los parámetros definidos en esta matriz usualmente tienen influencia en la fase de planeación de proyectos, sin embargo, también es utilizado como herramienta de control cuando el negocio lleva tiempo en funcionamiento y presenta algunas fallas que no se han identificado con claridad.

Así mismo, la matriz DOFA permite definir los aspectos internos y externos que favorezcan o inhiban el buen funcionamiento de la empresa, la matriz se desglosa de la siguiente manera:

(D) Debilidades: se refiere a los aspectos internos que de alguna u otra manera no permitan el crecimiento empresarial o que frenan el cumplimiento de los objetivos planteados.

(O) Oportunidades: se refiere a los acontecimientos o características externas al negocio que puedan ser utilizadas a favor del empresario para garantizar el crecimiento de su empresa.

(F) Fortalezas: son las características internas del negocio que permitan impulsar al mismo y poder cumplir las metas planteadas y por ultimo.

(A) Amenazas: son los acontecimientos externos del negocio en la mayoría de las veces incontrolables por el dueño y personal de la empresa analizada.

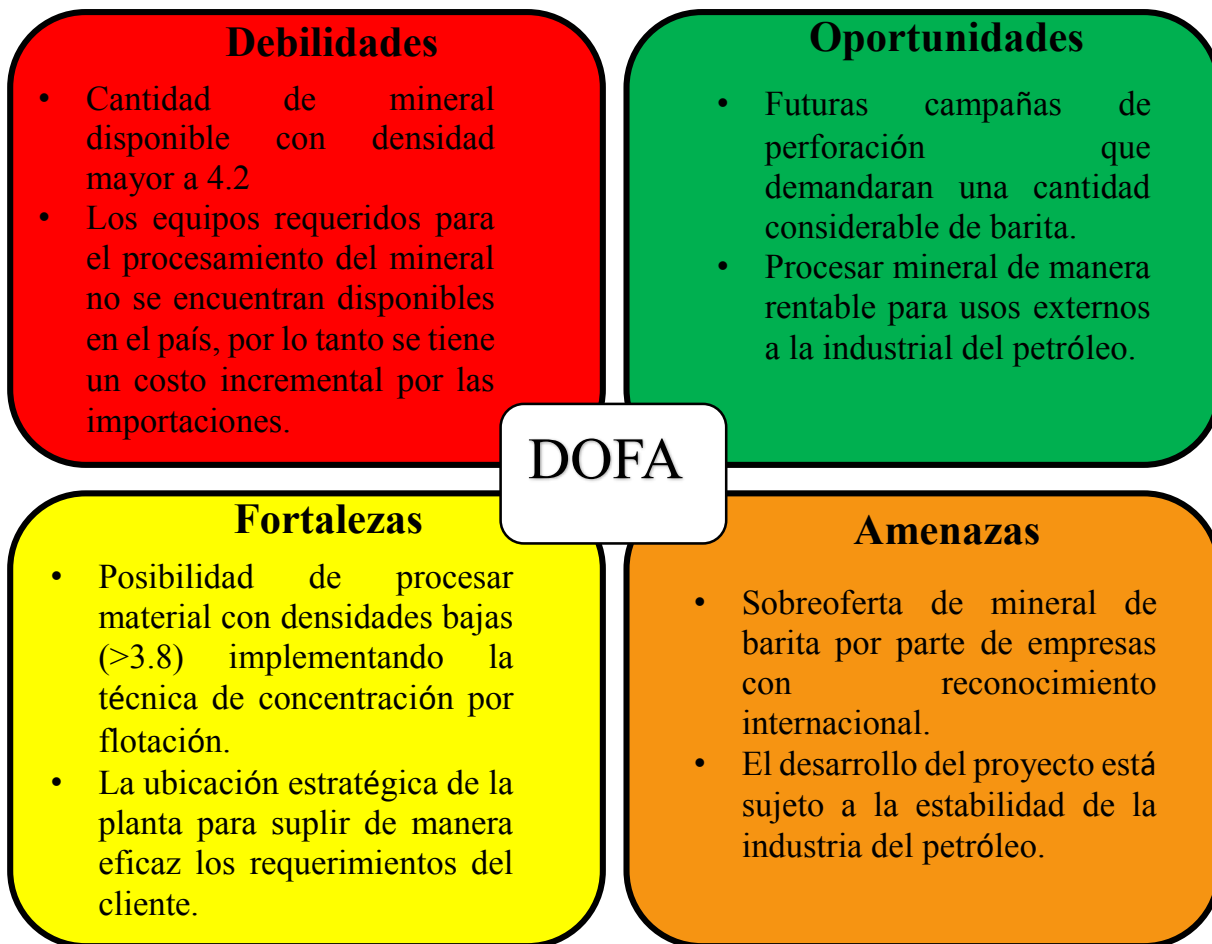


Figura 13. Matriz DOFA

6. Rendimiento y la economía de la barita nacional frente la importada

En busca de contrastar el rendimiento de las muestras obtenidas frente a la barita comercial al momento de ser implementados en los fluidos de perforación, se estipuló preparar un lodo por cada muestra de barita, adicionando la misma cantidad de mineral en un lodo base cuya composición se

describe en la tabla 32 y su aspecto físico en la figura 14. La finalidad de este procedimiento fue comparar el peso del lodo final logrado por cada una de las muestras.

Tabla 32.

Formulación del lodo base.

Componente	Concentración
Pack	1 lb/bbl
Almidón	2 lb/bbl
Goma	1 lb/bbl



Figura 14. Aspecto físico del lodo base usado para el rendimiento de las muestras.

Se realizó la preparación de 4 barriles equivalentes de lodo base para posteriormente ser fraccionado por un barril equivalente para cada muestra, la cual se añadió la proporción de 100 Lb\Bbl de barita. Las muestras N°1, N°2 y N°4 fueron seleccionadas para el estudio por parte de la barita nacional debido a la cantidad de material con la se contaba. La figura 15 muestra la tonalidad del lodo y la balanza empleada para medir el peso, los resultados conseguidos se presentan en la tabla 33 en conjunto a los obtenidos con la barita comercial.



Figura 15. Tonalidad de los lodos obtenidos y balanza de lodo usada.

Tabla 33.

Pesos de lodos obtenidos en el rendimiento de las muestras.

Muestra	Peso del lodo obtenido [ppg]
Muestra N°1	10,3
Muestra N°2	10,2
Muestra N°4	10,1
Muestra Comercial N°2	9,9

Los resultados obtenidos son proporcionales a la calidad de la densidad determinada en el capítulo anterior. Como se evidencia en la tabla 33 las muestras nacionales otorgaron un mayor peso en el fluido de perforación que a nivel económico resulta en una reducción de los costos, puesto se requiere menor cantidad del densificante para alcanzar una densidad objetivo.

Teniendo en cuenta los precios de barita en el continente americano (tabla 5), la compra de mineral proveniente de países como Panamá o Chile (USD\$ 103 y 119 respectivamente) será mas rentable que comprar o producir una tonelada en Colombia, sin embargo, a este precio se le debe incrementar el transporte terrestre desde el puerto de descarga hasta el destino final, con un costo promedio de USD\$ 15 por tonelada de material.

7. Análisis de resultados

Luego de realizar un estudio bibliográfico basados en la información otorgada por La Agencia Nacional de Minería (ANM), el Servicio Geológico Colombiano y tesis de investigación nacional e internacionales se puede concretar que los depósitos de barita en Colombia se encuentran principalmente en los departamentos Norte de Santander, Cauca, Cesar, Santander, Huila, Cundinamarca y Tolima.

De las 7 muestras analizadas en este estudio, la totalidad supera los requerimientos mínimos de densidad y contenido de calcio y/o magnesio estipulados por la API para la implementación en lodos de perforación como se muestra en la tabla 34. Además se determinó que la Muestra N°4 cumple con la totalidad de los requerimientos dados en el proceso de trituración y molienda, sin embargo, las Muestras N°1, N°2, N°3 y N°5 dependerán de la calidad del procesamiento al que sean sometidas para ser usadas como densificantes en lodos de perforación. Por otro lado, la Muestra Comercial N°1 luego de efectuar 8 repeticiones para determinar la densidad del mineral, en ninguna de las repeticiones de las pruebas se logró un densidad de 4,2 g/cm³, valor mínimo pautado por la norma como requisito.

Tabla 34.

Resultados de los requerimientos Fisicoquímicos para las muestras de barita.

Propiedad	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Muestra N°4	Muestra N°5
Densidad [g/cm ³]	4,35	4,36	4,34	4,27	4,25

Propiedad	Muestra N°1	Muestra N°2	Muestra N°3	Muestra N°4	Muestra N°5
Metales alcalinotérreos	Ca 34 ppm Mg 8 ppm	Ca 75 ppm Mg 5 ppm	Ca 89 ppm Mg 9 ppm	Ca 9,1 ppm Mg 3 ppm	Ca 70 ppm Mg 4 ppm
Residuo mayores a 75 micras	---	---	---	2,70%	---
Partículas menores a 6 micras de diámetro esférico equivalente	---	---	---	21,54 %	---
Porcentaje de sulfato de bario presente	100 %	94,9 %	84,7 %	81,8 %	47,1 %

8. Conclusiones

Los departamentos con mayor presencia de barita ya sea como mineral principal del depósito o como secundario en compañía de cuarzo, lodolita o esmeralda son: Norte de Santander, Cauca, Cesar, Santander, Huila, Cundinamarca y Tolima.

La caracterización de las muestras por medio del análisis con Rayos X determinó que las provenientes del departamento de Santander, Cesar y Guajira cuentan con un contenido de sulfato de bario superior al 80%, implicando una buena concentración del mineral y poca abundancia de

minerales contaminantes, sin embargo, la de origen importado y la obtenida en Cundinamarca cuentan con un 72,6% y 47.1% respectivamente.

En el sector muestreado y analizado puede coexistir barita de distintas densidades y composiciones, no obstante, este estudio se puede tomar como línea base para identificar la zona como un buen prospecto a explotar.

El análisis financiero elemental realizado para de barita arroja como resultado una implementación factible en los Escenarios N°1 y N°2, en el que se predice un periodo de recuperación de la inversión de 5,04 años para la Escenario N°1 (procesamiento con flotación) y 0,35 años para la Escenario N°2 (procesamiento con molienda), sin embargo, en el Escenario N°3 (compra de barita molida de baja calidad) el proyecto no es rentable ya que se evidenció que el valor de los egresos supera a los ingresos.

El estudio realizado para el rendimiento de barita colombiana frente a la importada arrojó como resultados pesos de lodos mayores con la barita nacional, esto debido a que las muestras obtenidas poseen una mayor densidad frente a la barita importada, lo que implica que se requiere menor cantidad de densificante nacional para alcanzar un peso de lodo proyectado.

Durante el desarrollo de la investigación se tuvo la oportunidad de realizar visitas técnicas a plantas de tratamiento de barita, evidenciando que el proceso de concentración por flotación no es implementado en el país para este mineral.

Las entidades oficiales encargadas de los recursos mineros colombianos no cuentan con la información completa y/o actualizada de los depósitos, minas o reservas de barita en el territorio nacional.

9. Recomendaciones

Realizar estudios geológicos como caracterización y cuantificación de reservas por parte de entidades oficiales en el territorio nacional, con la finalidad de determinar la factibilidad de los yacimientos.

La mayor demanda actual del uso de barita en el país se asocia a la industria del petróleo, se sugiere realizar estudios semejantes de demanda y requerimientos de calidad para el sulfato de bario que se desee emplear en otros campos como la fabricación de pinturas, industria de los frenos, vidrios, cauchos, entre otros.

Se recomienda implementar un control de calidad por parte de entes imparciales que verifiquen el cumplimiento de los requisitos mínimos estipulados por la API, con el objetivo de conocer las características reales que posee el mineral.

Este proyecto tuvo como alcance el análisis de depósitos ubicados geográficamente en la región norte y centro del país, se sugiere continuar con la investigación en los sectores localizados hacia el sur del territorio colombiano, además de aquellos donde no se tenga registro de las propiedades del mineral.

Referencias Bibliográficas

American Petroleum Institute, (2006), Specification for Drilling-fluid Materials API 13A. EE. UU.

American Petroleum Institute, (2016), Recommended Practice for Chemical Analysis of Barite API RP 13K. EE. UU.

American Psychological Association. (2018). Manual de publicaciones de la APA . Obtenido de American Psychological Association.

American Psychological Association. (2018). Manual de publicaciones de la APA. Obtenido de American Psychological Association

BAROID. (2000). Manual de fluidos. Houston, E.E.U.U.

Barriga Luquez, C.M., Ramírez Suarez, L.A., (1994), Factibilidad Técnico-Económica del uso de barita de algunas minas colombianas, Bucaramanga, Colombia, trabajo de grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.

Camacho, J. (2002). Mapa de Recursos Minerales de Colombia “minerales industriales”. Bogotá DC, Colombia: INGEOMINAS.

Camacho, J. A. (2002). Mapa de Recursos Minerales de Colombia "Minerales Industriales". Bogotá: Ingeominas.

Camacho, J.A., (2002), Mapa de Recursos Minerales de Colombia “minerales industriales”, Bogotá DC, Colombia, INGEOMINAS.

Dirección General de Desarrollo Minero, (2014), Perfil de Mercado de la Barita, México DF, México, Coordinación General De Minería.

Dirección General de Desarrollo Minero. (2014). Perfil de Mercado de la Barita. México DF, México: Coordinación General De Minería.

- Kuehl, R. O. (2001). Diseño de experimentos Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación (Segunda ed.). THOMSON LEARNING.
- Molero, J.C., (2010), Fluidos de Perforación, Primera versión, Venezuela.
- Molina, J.M., (2008), Colombia Minera, Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Montgomery, D. C. (2004). Diseño y análisis de experimentos (segunda ed.). Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores.
- PDVSA. (2002). Fluidos de Perforación. Caracas, Venezuela.
- Saavedra Pimiento, D.Y. (2005), Génesis de las manifestaciones de barita-calcita y barita-fluorita en los municipios Sucre y Bolívar (Departamento de Santander), Bucaramanga, Colombia, trabajo de grado (Geóloga). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología.
- Secretaría de Economía, (2003), Exploración del petróleo - barita empleada en fluidos de perforación, terminación y mantenimiento de pozos petroleros - especificaciones y métodos de prueba (cancela a la nmx-l-159-1996-scfi), México.
- Shirakov, V. P. (1985). Manual de Hilandería (Análsis Experiemntales). Moscú, Rusia.
- U.S. Geological Survey, (2018), Mineral Commodity Summaries 2018, Estados Unidos, USGS SCIENCE FOR A CHANGING WORLD.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2012). Estudio para el establecimiento de los precios de los minerales en boca de mina y cálculo de los costos unitarios de producción. Colombia, INCOPLAN Ingeniería Consultoría y Planeación.
- Viteri Galora, M.G., (1999), Estudio experimental mediante normas API de un yacimiento de Barita de la Provincia de Morona Santiago para su uso en fluido de perforación, Guayaquil, Ecuador, Trabajo de Grado (Ingeniero de Petróleos). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ciencias de la Tierra.

Apéndices.

Apéndice A. Procedimiento para la validación de diseño experimental definido por Shirakov V. P. 1985.

A) Media Aritmética de los Resultados ($\bar{\mu}$) o (\bar{y})

Ha de señalarse que estos parámetros representan la media de una propiedad evaluada durante los experimentos.

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}$$

B) Desviación Media Cuadrática o Desviación Estándar de la Media (S) o (σ)

$$S = \frac{R}{d_2}$$

donde:

R – Diferencia entre el valor más alto y el más bajo de las medias en las corridas experimentales (n)

d2 – Factor de desviación (Tabla 1)

Tabla 1.

Factor de desviación para la desviación estándar estimada en el rango del número de pruebas.

Tamaño de la Muestra (n)	Factor de Desviación (db)	(1/db)
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

C) Desigualdad Cuadrática o Variabilidad del Procedimiento de Ensayo (V)

A este parámetro también se le conoce como Coeficiente de Variación; se da en %.

$$V = \frac{s}{\bar{y}} \cdot 100$$

El tamaño de la muestra (n) se puede determinar como:

$$n = \left(1.96 \cdot \frac{V}{e}\right)^2 \text{ para un nivel del 95\% de confianza}$$

donde: e – Error permisible de la muestra o muestreo

Tabla 2. Tamaño mínimo aceptable de la muestra (n) para un 95% de confianza.

Coeficiente de Variación V (%)	Error Relativo permisible de la muestra e_p (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	
1	4	1								
2	16	4	2	1						
3	35	9	4	3	2	1				
4	62	16	7	4	3	2	2			
5	96	24	11	6	4	3	2	2	1	
6		35	16	9	6	4	3	2	2	
7		47	21	12	8	6	4	3	2	
8		62	28	16	10	7	5	4	3	
9		78	35	20	13	9	7	5	4	
10		96	43	24	16	11	8	6	4	

Determinación del numero de repeticiones por prueba.

Tabla 3.

Densidades obtenidas en las 8 repeticiones de la prueba con Muestra Comercial N°1.

Repetición	Densidad [g/cm ³]
N° 1	4,16
N° 2	4,15
N° 3	4,12
N° 4	4,13
N° 5	4,14
N° 6	4,18
N° 7	4,18
N° 8	4,15

Determinación de la media

$$\bar{y} = \frac{4,16 + 4,15 + 4,12 + 4,13 + 4,14 + 4,18 + 4,15}{8} = 4,15$$

Media Cuadrática

$$S = \frac{4,18 - 4,12}{2,847} = 0,0210$$

Desigualdad Cuadrática

$$V = \frac{0,0210}{4,15} * 100$$

$$V = 0,506$$

Determinación del número de repeticiones

$$n = \left(1,96 \cdot \frac{0,506}{0,5}\right)^2$$

$$n = 3,93 \sim 4 \text{ repeticiones}$$

Con un error permisible del 0,5% y un 95% de confianza en los datos, se deben realizar 4 repeticiones para la determinación de la densidad en cada una de las muestras.

Apéndice B Procedimiento para la determinación de las propiedades físicas y químicas de la barita norma API 13A “Specification for Drilling-Fluid Materials”

Determinación de la densidad de la barita.

El fundamento se basa en la definición de densidad, masa por unidad de volumen.

Se hace uso del matraz de Le Chatelier que posee una escala que permite determinar el volumen de aceite diésel desplazado por una cantidad específica de barita, bajo condiciones de temperatura controlada.

Reactivos y materiales

Reactivos: Aceite diésel

Materiales:

- Charola de aluminio o recipiente adecuado
- Brocha de acero suave
- Desecador con CaCl o equivalente
- Embudo para polvos;
- Pipeta de 5 cm
- Espátula.

Equipos

- Balanza analítica
- Estufa con control de temperatura, regulada a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- Balanza granataria, con exactitud de 0,1 g

- Baño de temperatura constante, regulado a $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- Matraz Le Chatelier
- Termómetro de vidrio, rango de 20°C a 150°C , con exactitud de 1°C , o similar, y Termómetro de vidrio, rango de 0°C a 45°C , con exactitud de $0,2^{\circ}\text{C}$, o similar.

Preparación y acondicionamiento de la muestra.

Se determina la masa de 85 g aproximadamente de barita en la balanza granataria (en una charola de aluminio o recipiente adecuado) y se seca en la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (NMX-L-159-SCFI-20039/24) durante dos horas; se enfría la muestra en el desecador y manténgala ahí para su posterior utilización.

Procedimiento

- a. Se llena un matraz Le Chatelier, limpio y seco, con diésel hasta aproximadamente 22 ml por debajo de la marca de cero, tápelo.
- b. Se coloca, sumerge y asegura la verticalidad del matraz en un baño de temperatura controlada a $32^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; cubrir la graduación máxima, manteniendo lo bajo estas condiciones durante una hora
- c. Se registra el volumen inicial, como V_i , con exactitud de $\pm 0,05 \text{ cm}^3$, sin sacar el matraz del baño.
- d. Se saca el matraz del baño y con ayuda del embudo se adiciona lentamente y en pequeñas cantidades $80 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ de barita seca, se registra como “m” evitando que ésta obstruya el cuello del matraz. Se usa una brocha para transferir cualquier residuo de barita dentro del matraz.
- e. Se tapa el matraz y se agita con cuidado girándolo sobre su base, para eliminar el aire que pueda tener ocluido la muestra de barita y al mismo tiempo para asegurar que no quede ninguna partícula de la misma en el cuello del matraz.

f. Regrese el matraz al baño manteniéndolo en éste durante una hora; después de lo cual se lee el volumen final con exactitud de $\pm 0,05 \text{ cm}^3$, registre como Vf.

Expresión de resultados

$$D = \frac{M}{V_f - V_i}$$

Donde:

D: es la densidad, en g/cm^3

M: es la masa de la muestra, en g

Vf: es el volumen final, en cm^3

Vi: es el volumen inicial, en cm^3

Metales alcalino – térreos solubles en agua tales como el calcio.

Equipo

- a. Balanza con precisión de 0.01g.
- b. frasco de Erlenmeyer: capacidad nominal 250cm³ equipado con un tapón.
- c. Cilindro graduado TD: 100- cm³ de capacidad con graduaciones de 1 cm³.
- d. Solución acuosa de EDTA: 3.72 ± 0.01 g de sal de sodium ethylenedintrilo tetracetic (CAS# 6381-92-6) diluido al volumen final de 1000cm³ con agua desionizada de un frasco volumétrico.
- e. Solución Buffer= 67.5 ± 0.01 g cloruro de Amonio (CAS # 12125-02-09) y $570 \pm 1 \text{ cm}^3$ 15N Hidróxido de Amonio (CAS # 1336-21-6) solución final diluida de 1000 cm³ con agua desionizada en un frasco volumétrico.
- f. Solución indicadora de Dureza: 1 ± 0.01 g. Calmagite (CAS#3147-14-6), o equivalente diluido al volumen final de 1000cm³ con agua desionizada en un frasco volumétrico.
- g. Vaso de titulación: de capacidad de 100 a 150 cm³.
- h. Pipetas o buretas graduadas de 0.01cm³.

- i. Pipetas volumétricas de 10cm^3 , o equivalente.
- j. Agua desionizada.
- k. Filtro prensa: como referencia API Especificación 13 A. Las especificaciones para fluido de perforación en la sección 1.8 b o en un embudo de destilación.
- l. Papel filtro: Whatman 50 o equivalente.
- m. Recipiente pequeño.
- n. Envase de agitación opcional.
- o. Frasco volumétrico de 100 cm^3 .
- p. Varilla agitadora.

Procedimiento

- a. Pesar $100\pm 0.05\text{g}$ de Barita colocar en el frasco de Erlenmeyer y agregar $100 \pm 1\text{ cm}^3$ de agua desionizada tapar y agitar en algún aparato de agitación mecánica por aproximadamente 30 minutos.
- b. Después de agitar filtrar la suspensión a baja presión en el embudo o filtro prensa usando doble papel de filtro. Recoger el filtrado en un recipiente apropiado.
- c. Usando la pipeta con 10 cm^3 de filtrado en el frasco de titulación y diluir $50 \pm 1\text{ cm}^3$ de agua desionizada adicionar 2 cm^3 de dureza buffer y agitar en el remolino.
- d. Agregar suficiente indicador de dureza y mezclar. Un color azul indica ninguna dureza de calcio y la prueba es completada. Un color rojo desarrollara si calcio y/o magnesio este presente.
- e. El punto final de la titulación es cuando al adicionar EDTA produce el cambio del punto rojo al Azul el volumen usado de EDTA para producir el color Azul se usará en el cálculo.

Nota: si el punto final no es alcanzado se realizarán otras pruebas, metodología y resultados de otras pruebas se registrarán.

Cálculo.

$A_s = 400(\text{Volumen de EDTA, cm}^3/\text{volumen de la muestra cm}^3) - C_c$. Donde C_c para esta prueba es -8.

Residuo mayor de 75 micras**Equipo**

- a. Horno de regulación 220 ± 5 °F (105 ± 3 °C)
- b. Desecador con sulfato de calcio (CAS#7778-18-9) desecador equivalente.
- c. Balanza de precisión de ± 0.01 g.
- d. Hexametaphosphato de sodio (CAS#10124-56-8)
- e. Mixer 11000 ± 300 rpm.
- f. Recipiente: las dimensiones aproximadas son 180 mm de alto, 97 mm de diámetro interno en el tope; 70 mm de diámetro interno de fondo (e. Copa Hamilton Beach Mixer No. M110-d, o equivalente)
- g. Un cedazo de 75 micras: las dimensiones aproximadas son 3 pulgadas desde la cima del marco a la malla.
- h. Boquilla para rociar.
- i. Agua con regulador de presión capacidad de presión 10 ± 0.1 psi.
- j. Plato de evaporación.
- k. Botella para lavar.

Procedimiento

- a. Tomar aproximadamente 50 g de barita seca y colocarla en el desecador.
- b. Tomar la muestra y añadir 350 cm^3 de agua que contenga sobre 0.2 g hexametaphosphate de sodio agitar en el Mixer por 5 minutos.

- c. Transferir la muestra al cedazo usando la boquilla de rocío por dos minutos.
- d. Transferir el residuo desde el cedazo al plato de evaporación.
- e. Secar el residuo en el horno registrar el peso del residuo y el tiempo de secado total.

Cálculos.

% del peso del residuo mayor a 75 micras = $100 \left(\frac{\text{peso del residuo g.}}{\text{peso del muestreo}} \right)$

Las partículas menores de 6 micras en el diámetro esférico equivalente.

Equipo – Método de Sedimentación.

- a. horno regulado a 220 ± 5 °F (105 ± 3 °C)
- b. Desecador (desecar con sulfato de calcio) (CAS #7778-18-9) o equivalente.
- c. Balanza: con precisión de 0.01 g.
- d. Mixer: 11000 r.p.m. \pm 300.
- e. Copa Hamilton Beach para Mixer N° M110 – D, o equivalente.
- f. Solución dispersante 40 ± 0.1 g de Hexametaphosphate de sodio y 3.60 ± 0.1 g de carbonato de sodio se usa para ajustar el pH de la solución a aproximadamente 9.0.
- g. Vaso a cilindro de sedimentación: 18 plg. (457 mm) de alto y 2.5 plg. (63 mm) de diámetro, marcado para un volumen de 1000cm^3 (ASTM D – 422-63).
- h. Tapón de goma.
- i. Baño de agua o mantener la temperatura en el laboratorio a 75 ± 10 °F (24 ± 5 °C)
- j. Termómetro: $60-90 \pm 1$ °F (16.32 ± 0.5 °C).
- k. Hidrómetro: ASTM 151H. Graduado para leer gravedad específica de suspensión.
- l. Cronometro mecánico o digital, de precisión de 0.1 minutos

Procedimiento – Método de Sedimentación

- a. Pesar 80 ± 0.1 g de barita seca y colóquelo en recipiente para mezclar.

- b. Agregar $125 \pm 0.5 \text{ cm}^3$ de solución dispersante diluir con aproximadamente 400 cm^3 de agua deionizada lave con todas las partículas adheridas.
- c. Agitar 5 ± 0.5 minutos en el Mixer.
- d. Transferir la suspensión al cilindro de sedimentación. Lavar el recipiente con agua desionizada para asegurar que todas las partículas de muestreo se transfieren al cilindro de sedimentación
- e. Agregar 1000 cm^3 de agua destilada, mezclar el contenido invirtiendo el recipiente por aproximadamente 60 ± 5 segundos. Mientras se cierra el cilindro con un tapón # 13 de goma.
- f. Colocar el cilindro en el baño de agua (o de lo contrario mantener la temperatura constante) y simultáneamente cronometrar, Colgar el termómetro en la suspensión.
- g. Tomar el hidrómetro leer a intervalos de 10, 20, 30, y 40 ± 0.1 minutos (el hidrómetro debe quitarse inmediatamente después de cada lectura para eliminar resultados erróneos. Todas las lecturas el hidrómetro deben hacerse con un mínimo de perturbación de fluido para conservar el equilibrio de la suspensión).
- h. Tabular tiempo de registro en minutos (T), temperatura $^{\circ}\text{F}(t)$ y la lectura del hidrómetro (H) en la hoja de datos.
- i. Por cada intervalo de tiempo, determine profundidad efectiva de hidrómetro (L) y la viscosidad del agua (ν) desde las tablas de calibración.

TABLE 2
VALUES OF EFFECTIVE DEPTH
BASED ON READINGS ON HYDROMETER
NO. 161H USED IN SPECIFIC
SEDIMENTATION CYLINDER

Uncorrected Hydrometer Reading	Effective Depth L. cm	Uncorrected Hydrometer Reading	Effective Depth L. cm
1.000	16.3	1.020	11.0
1.001	16.0	1.021	10.7
1.002	15.8	1.022	10.5
1.003	15.5	1.023	10.2
1.004	15.2	1.024	10.0
1.005	15.0	1.025	9.7
1.006	14.7	1.026	9.4
1.007	14.4	1.027	9.2
1.008	14.2	1.028	8.9
1.009	13.9	1.029	8.6
1.010	13.7	1.030	8.4
1.011	13.4	1.031	8.1
1.012	13.1	1.032	7.8
1.013	12.9	1.033	7.6
1.014	12.6	1.034	7.3
1.015	12.3	1.035	7.0
1.016	12.1	1.036	6.8
1.017	11.8	1.037	6.5
1.018	11.5	1.038	6.2
1.019	11.3		

j. Registre en la hoja de datos.

Calculo – Procedimiento de Sedimentación.

a. Factores de calibración del hidrómetro: Mc por inclinación = 0.144 y Bc por intersección = 18.08.

b. Calcular la constante de muestreo Ks de la tabla #3

TABLE 3
SAMPLE CONSTANT (Ks) OR
80 g SAMPLE WT.

Sample Density	Sample Constant
4.20	1.741
4.21	1.840
4.22	1.839
4.23	1.837
4.24	1.836
4.25	1.836
4.26	1.834
4.27	1.833
4.28	1.831
4.29	1.830
4.30	1.829
4.31	1.827
4.32	1.827
4.33	1.825
4.34	1.824
4.35	1.823
4.36	1.822
4.37	1.821
4.38	1.820
4.39	1.819
4.40	1.818

c. Para cada intervalo de tiempo Calcular y tabular en la hoja de datos el diámetro equivalente esférico (de) para cada vez como se indica a continuación.

$$de = 17.5 \sqrt{\frac{L}{T(D - 1)}}$$

dónde: d_e = Diámetro esférico equivalente (micras).

η = Viscosidad del agua (centi - poise).

D = Densidad de la muestra (g/cm^3).

T = Tiempo (minutos).

L = Profundidad efectiva (cm).

d. Calcular y tabular en la hoja de datos los porcentajes acumulativos más finos para el diámetro equivalente de la partícula (d_e) inmediatamente más grandes de 6 micras (SH) y el diámetro equivalente de la partícula (d_e) inmediatamente menor de 6 micras (SL) como se indica a continuación.

$$S = K_s * [(M_c * t) - B_c + (H - 1) * 1000] .$$

Donde:

S = Porcentaje acumulativo más fino

K_s = Constante de muestreo

M_c = Corrección de hidrómetro por inclinación

T = Temperatura de la suspensión, °F

B_c = Corrección del hidrómetro por Intersección.

H = Lectura del hidrómetro.

e. Calcular y tabular en la hoja de datos los porcentajes acumulativos menores de 6 micras (S_6) como se indica a continuación:

SH-SL

$$S_6 = \left[\left(\frac{SH - SL}{dH - dL} \right) (6 - dL) + SL \right]$$

Donde:

S_6 = Porcentaje acumulativo menores de 6 micras.

SH = Porcentaje acumulativo para el punto inmediatamente mayor de 6 micras.

SL = Porcentaje acumulativo para el punto inmediatamente menor de 6 micras.

dH = Diámetro equivalente de partícula inmediatamente mayor de 6 micras.

dL = Diámetro equivalente de partícula inmediatamente menor de 6 micras.

Apéndice C. Cálculos y mediciones obtenidas para la determinación de la densidad.

Muestra N°1.

Determinación de la densidad partir del volumen desplazado por la masa de barita.

$$D = \frac{M}{V_f - V_i}$$

Donde:

D: es la densidad, en g/cm^3

M: es la masa de la muestra, en g

V_f : es el volumen final, en cm^3

V_i : es el volumen inicial, en cm^3

CALCULOS

$$D = \frac{80 \text{ g}}{(18,3 - 0,1) \text{ cm}^3} = 4,39 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 1.

Resultados obtenidos para la determinación de la densidad en la muestra N°1.

Repetición	N°1	N°2	N°3	N°4	Promedio
Masa [g]	80	80,05	80,04	80,1	4,35
Volumen inicial [cm ³]	0,1	0,4	0,4	0,2	
Volumen final [cm ³]	18,3	18,8	18,9	18,6	
Densidad [g/cm ³]	4,39	4,35	4,33	4,36	

Muestra N°2.

Tabla 2.

Resultados obtenidos para la determinación de la densidad en la muestra N°2.

Repetición	N°1	N°2	N°3	N°4	Promedio
Masa [g]	80,09	80,05	80,05	80,05	4,36
Volumen inicial [cm³]	0,7	0,9	- 0,2	0,4	
Volumen final [cm³]	19	19,2	18,2	18,8	
Densidad [g/cm³]	4,37	4,37	4,35	4,35	

Muestra N°3.

Tabla 3.

Resultados obtenidos para la determinación de la densidad en la muestra N°3.

Repetición	N°1	N°2	N°3	Promedio
Masa [g]	80,6	81,28	80,8	4,34
Volumen inicial [cm³]	0,5	0,6	0,4	
Volumen final [cm³]	18,9	19,3	19	
Densidad [g/cm³]	4,35	4,34	4,34	

Muestra N°4.

Tabla 4.

Resultados obtenidos para la determinación de la densidad en la muestra N°4.

Repetición	N°1	N°2	N°3	N°4	Promedio
Masa [g]	79,96	80,03	80,5	80,3	4,27
Volumen inicial [cm ³]	0,1	0,3	0,5	0,2	
Volumen final [cm ³]	18,7	19,1	19,3	19	
Densidad [g/cm ³]	4,29	4,27	4,28	4,27	

Muestra N°5.

Tabla 5.

Resultados obtenidos para la determinación de la densidad en la muestra N°5.

Repetición	N°1	N°2	N°3	Promedio
Masa [g]	80,14	80,03	80,1	4,25
Volumen inicial [cm ³]	0,25	0,9	0,3	
Volumen final [cm ³]	19,1	19,8	19,1	
Densidad [g/cm ³]	4,25	4,25	4,26	

CALCULOS Y MEDICIONES OBTENIDAS PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PESO DEL RESIDUO MAYOR A 75 MICRAS.

Peso vaso precipitado vacío = 119,42 g

Peso vaso precipitado con barita seca = 120,77 g

Barita muestreada = 50 g

$$\% \text{ de peso del residuo mayor a 75 micras} = \frac{\text{Peso vaso precipitado con barita} - \text{peso vaso vacío [g]}}{\text{Barita muestreada [g]}} *$$

100

% de peso del residuo mayor a 75 micras para la muestra N°4

$$= \frac{120,77 - 119,42 \text{ [g]}}{50 \text{ [g]}} * 100$$

% de peso del residuo mayor a 75 micras para la muestra N°4 = 2,7 %

CÁLCULOS Y MEDICIONES OBTENIDAS PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS MENORES DE 6 MICRAS EN EL DIÁMETRO ESFÉRICO EQUIVALENTE EN LA MUESTRA N°4.

Cálculos:

$$M_c = 0.144$$

$$B_c = 18.08$$

$$K_s = 1,633 \text{ @ densidad de barita} = 4,27 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Temperatura} = 84,2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Determinación de la profundidad efectiva de hidrómetro (L) para cada tiempo con la tabla del inciso i del procedimiento. (Columna N°4 de la tabla X)

Determinación del diámetro esférico equivalente para cada tiempo (Columna N°5 de la tabla X)

$$de = 17.5 \sqrt{\frac{L}{T(D - 1)}}$$

Calcular el valor de SH para cada tiempo (Columna N°6 de la tabla X)

$$SH = K_s * [(M_c * t) - B_c + (H - 1) * 1000]$$

$$SH = 1,633 * [(0,144 * 84,2) - 18,08 + (1,011 - 1) * 1000]$$

$$SH = 8,2381$$

Calcular el valor de SL para cada tiempo (Columna N°7 de la tabla X)

$$SL = Ks * [(Mc * t) - Bc + (H - 1) * 1000]$$

$$SL = 1,633 * [(0,144 * 84,2) - 18,08 + (1,006 - 1) * 1000]$$

$$SL = 0,0731$$

Calcular el valor del porcentaje acumulativo menores de 6 micras S6 (SH – SL) (Columna N°8 de la tabla X)

Tabla 6.

Resultados obtenidos para la determinación del porcentaje de partículas menores a 6 micras de diámetro esférico equivalente en la Muestra N°4.

Tiempo [min]	Lectura del hidrómetro	SG	Profundidad efectiva [cm]	Diámetro de partículas	SH	SL	% de partículas
0	8,4	1,011	13,4	---	8,2381		---
10	8,6	1,010	13,7	11,33	6,6051	---	---
20	8,7	1,009	13,9	8,06	4,9721	---	---
30	9	1,007	14,4	6,7	1,7061	---	---
40	9,2	1,006	14,7	5,86	---	0,0731	21,45 %

Tabla 7.

Resultados obtenidos para la determinación del porcentaje de partículas menores a 6 micras de diámetro esférico equivalente en la Muestra Comercial N°2.

Tiempo [min]	Lectura del hidrómetro	SG	Profundidad efectiva [cm]	Diámetro de partículas	SH	SL	% de partículas
0	8	1,0143	12,6	---	12,02		---
10	8,2	1,0128	12,9	11,09	9,56	---	---
20	8,5	1,0107	13,7	8,08	6,12	---	---
30	8,6	1,0099	13,9	6,64	4,81	---	---
40	8,8	1,0085	14,2	5,81	---	2,5156	29,9 %